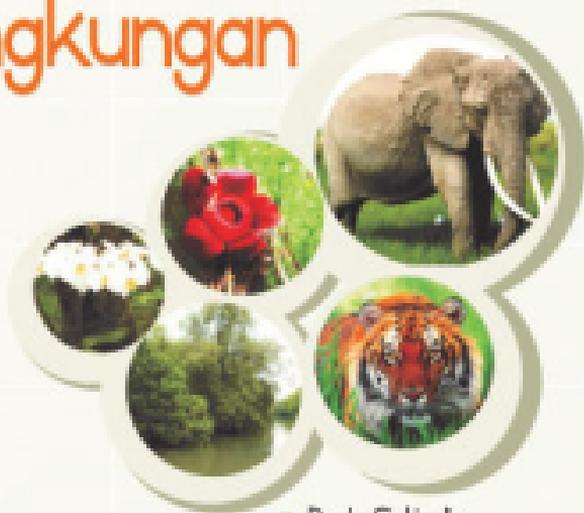




Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan



■ Dede Setiadi

Hak Cipta © dan Hak Penerbitan dilindungi Undang-undang ada pada
Universitas Terbuka - Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan - 15418
Banten – Indonesia

Telp.: (021) 7490941 (hunting); Fax.: (021) 7490147;

Laman: www.ut.ac.id

Dilarang mengutip sebagian ataupun seluruh buku ini
dalam bentuk apa pun, tanpa izin dari penerbit

Edisi Kedua

Cetakan pertama, Februari 2014

Penulis : 1. Prof. Dr. Ir. H. Dede Setiadi, M.S.
2. Dr. Ir. Sulistijorini, M.Si.
3. Dr. Ir. Muhadiono, M.Sc.
4. Ir. Dodit Hadijaya
5. Ir. Imam Santosa, M.S.
6. Ina Rosdiana, S.Si.

Penelaah Materi : Prof. Dr. Ir. Andry Indrawan

Desain Cover & Ilustrator : Suparmi

Lay-outer : Agung BS

Copy Editor : Siti Nurhayati, Brillianing Pratiwi

333.72 MAT	MATERI pokok konservasi sumber daya alam dan lingkungan, 1 - 6/ PEBI4522/ 2sks/ Dede Setiadi [et.al], -- Cet.1; Ed.2 --. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka, 2014. 313 hal; ill. ; 21 cm ISBN: 978-979-011-823-2 I. konservasi I. Setiadi, Dede [et.al].
---------------	--

Daftar Isi

TINJAUAN MATA KULIAH	vii
MODUL 1: PRINSIP DASAR KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM DAN LINGKUNGAN	1.1
Kegiatan Belajar 1: Pengertian dan Sejarah Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan	1.2
Latihan	1.16
Rangkuman	1.17
Tes Formatif 1	1.17
 Kegiatan Belajar 2: Prinsip Ekologi sebagai Dasar Konservasi Sumber Daya Alam(SDA)	1.21
Latihan	1.46
Rangkuman	1.48
Tes Formatif 2	1.49
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	1.52
DAFTAR PUSTAKA	1.53
 MODUL 2: KONSERVASI SUMBER DAYA AIR	2.1
Kegiatan Belajar 1: Sumber Daya Air	2.2
Latihan	2.12
Rangkuman	2.13
Tes Formatif 1	2.14
 Kegiatan Belajar 2: Konservasi Sumber Daya Air	2.17
Latihan	2.35
Rangkuman	2.36
Tes Formatif 2	2.39
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	2.42
DAFTAR PUSTAKA	2.43

MODUL 3: KONSERVASI SUMBER DAYA TANAH	3.1
Kegiatan Belajar 1:	
Sifat Alami Tanah	3.4
Latihan	3.27
Rangkuman	3.29
Tes Formatif 1	3.30
 Kegiatan Belajar 2:	
Konservasi Tanah	3.32
Latihan	3.58
Rangkuman	3.58
Tes Formatif 2	3.59
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	3.62
DAFTAR PUSTAKA	3.63
MODUL 4: KONSERVASI SUMBER DAYA UDARA	4.1
Kegiatan Belajar 1:	
Sumber Daya Udara	4.2
Latihan	4.6
Rangkuman	4.7
Tes Formatif 1	4.7
 Kegiatan Belajar 2:	
Pencemaran Udara dan Konservasi Sumber Daya Udara	4.10
Latihan	4.28
Rangkuman	4.30
Tes Formatif 2	4.30
 KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	4.33
DAFTAR PUSTAKA	4.35
MODUL 5: KONSERVASI SUMBER DAYA ENERGI	5.1
Kegiatan Belajar 1:	
Krisis Energi	5.2
Latihan	5.22
Rangkuman	5.23
Tes Formatif 1	5.24

Kegiatan Belajar 2:	
Konservasi Sumber Daya Energi	5.27
Latihan	5.43
Rangkuman	5.43
Tes Formatif 2	5.44
KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	5.47
DAFTAR PUSTAKA	5.48
MODUL 6: FAKTOR YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN DALAM KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM	6.1
Kegiatan Belajar 1:	
Masalah-masalah Kependudukan	6.5
Latihan	6.17
Rangkuman	6.19
Tes Formatif 1	6.20
Kegiatan Belajar 2:	
Keterkaitan Manusia, Ekonomi, dan Lingkungan	6.23
Latihan	6.41
Rangkuman	6.43
Tes Formatif 2	6.44
KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	6.47
GLOSARIUM	6.49
DAFTAR PUSTAKA	6.57

Tinjauan Mata Kuliah

Mata kuliah Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan (KSDAL) dengan kode PEBI4522 berbobot 2 SKS merupakan materi pengayaan dan penambahan wawasan tentang materi macam kerusakan lingkungan, dampak kerusakan lingkungan dan upaya konservasi lingkungan. Oleh karena itu, materi ini sangat penting Anda pelajari.

Kompetensi yang diharapkan setelah mempelajari mata kuliah KSDAL ini yaitu agar Anda memiliki kemampuan dalam menyimpulkan konservasi sumber daya alam yang harus dilakukan agar sumber daya alam yang ada dapat lestari dan kepedulian masyarakat termasuk guru dan siswa terhadap upaya konservasi semakin meningkat.

Berdasarkan kompetensi yang ingin dicapai tersebut maka materi KSDAL disajikan dalam 6 modul yang pengorganisasiannya sebagai berikut.

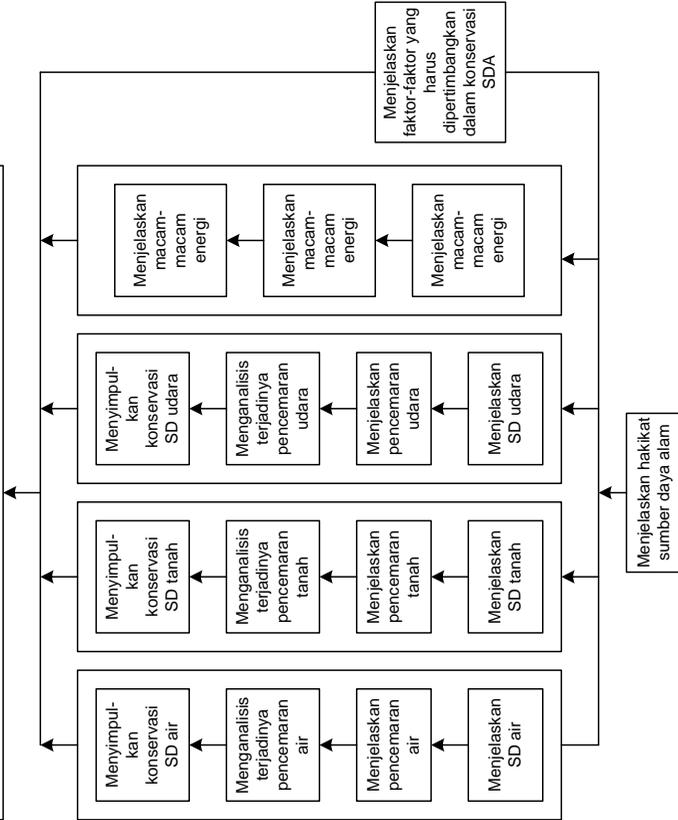
- Modul 1. Prinsip Dasar Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan.
- Modul 2. Konservasi Sumber Daya Air.
- Modul 3. Konservasi Sumber Daya Tanah.
- Modul 4. Konservasi Sumber Daya Udara.
- Modul 5. Konservasi Sumber Daya Energi.
- Modul 6. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam Konservasi Sumber Daya Alam.

Dengan mempelajari setiap modul secara teliti dan cermat sesuai petunjuk yang ada pada setiap modul serta mengerjakan setiap latihan dan tes formatif dengan sungguh-sungguh, Anda akan berhasil mencapai kompetensi yang telah ditetapkan.

Selamat belajar!

Peta Kompetensi
Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan/PEBI4522/2sks

Setelah mempelajari mata Kuliah Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan, mahasiswa diharapkan dapat menyimpulkan upaya-upaya yang harus dilakukan agar sumber daya alam dan lingkungan dapat lestari dan kepedulian masyarakat terhadap upaya konservasi semakin meningkat



Prinsip Dasar Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan

Prof.Dr. Ir. H. Dede Setiadi, M.S.



PENDAHULUAN

Dalam modul ini Anda akan mempelajari Latar Belakang Sumber Daya Alam (SDA) dan Lingkungan, Pengertian, Sejarah Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan serta Prinsip Ekologi yang menjadi dasar dalam melakukan Kegiatan Konservasi SDA dan Lingkungan.

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan memiliki kemampuan untuk dapat menjelaskan prinsip-prinsip dasar konservasi sumber daya alam dan lingkungan.

Secara lebih khusus, setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat menjelaskan:

1. latar belakang terjadinya penurunan sumber daya alam dan lingkungan secara global;
2. pengertian sumber daya alam dan lingkungan;
3. beberapa istilah yang sering digunakan dalam konservasi SDA dan lingkungan;
4. prinsip-prinsip ekologi yang menjadi dasar dalam pengelolaan kegiatan konservasi SDA dan lingkungan.

Agar Anda lebih berhasil dalam mempelajari Modul ini, ikuti petunjuk belajar sebagai berikut.

1. Bacalah dengan cermat bagian Pendahuluan modul ini sampai Anda memahami betul.
2. Bacalah seluruh bagian modul ini dan carilah konsep-konsep yang bersifat prinsip dan penting.
3. Pelajari pengertian-pengertian dari isi modul dengan baik.
4. Mantapkan pemahaman Anda melalui diskusi dengan teman atau dengan kelompok belajar Anda.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1**Pengertian dan Sejarah Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan**

Menurunnya sumber daya alam dan lingkungan disebabkan karena 4 masalah lingkungan global yang utama, antara lain (1) pertumbuhan populasi manusia yang cepat, (2) pencemaran lingkungan, (3) konsumsi sumber daya alam yang berlebihan, (4) penurunan dan perusakan sumber daya lahan.

A. PERTUMBUHAN POPULASI MANUSIA YANG CEPAT

Informasi dari bidang kependudukan menunjukkan adanya peningkatan jumlah penduduk dari tahun 1980 yang berjumlah 4,2 miliar orang menjadi 6 miliar jiwa pada tahun 2000 dan diperkirakan pada tahun 2014 populasi manusia menjadi 8,2 miliar orang. Cepatnya pertumbuhan manusia ini akan menjadi ancaman terhadap planet bumi dan akan mengakibatkan krisis lingkungan secara global, kebutuhan akan sumber daya alam meningkat.

Indonesia sendiri saat ini (tahun 2004) berpenduduk 220 juta orang, nomor 4 setelah Cina, India, dan Amerika.

B. PENCEMARAN LINGKUNGAN

Akibat meningkatkan kegiatan industri di negara-negara yang sedang maju, mengakibatkan berbagai macam pencemaran lingkungan terhadap udara, air dan tanah. Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang mencemari lingkungan ini juga menyebabkan terjadinya krisis lingkungan secara global. Adanya pencemaran udara berupa gas-gas CO, SO, NO, dapat menyebabkan perubahan iklim dunia secara global (*Climate Change Global*). Akibat pencemaran lingkungan global dan perubahan iklim ini menyebabkan kerusakan dan perubahan terhadap keanekaragaman hayati termasuk di dalamnya penurunan sumber daya alam.

C. KERUSAKAN DAN KONSUMSI SUMBER DAYA ALAM YANG BERLEBIHAN

Adanya peningkatan kegiatan industri dan pembangunan menyebabkan peningkatan penggunaan atau konsumsi sumber daya alam yang berlebihan. Penggunaan sumber daya alam yang berlebih ini mengakibatkan kerusakan terhadap SDA dan lingkungan. Antara lain terjadinya kerusakan hutan, penggusuran lahan, perubahan areal hutan menjadi non hutan. Sebagai contoh di daerah Afrika dan negara-negara tropis luas areal hutan yang menjadi non-hutan jumlahnya meningkat pesat. Diperkirakan kerusakan hutan tropis setiap tahun sebesar 4 juta hektar (Anonymous, 2004).

D. PERUSAKAN SUMBER DAYA LAHAN

Masalah perusakan sumber daya tanah ini terjadi sebagai akibat adanya kegiatan-kegiatan yang mengonversi dan mengeksploitasi sumber daya tanah secara berlebihan yang menyebabkan terjadinya perusakan sumber daya lahan. Lahan didefinisikan sebagai suatu lingkungan fisik yang meliputi tanah, iklim, relief, hidrologi, dan vegetasi di mana faktor-faktor tersebut saling mempengaruhi potensi penggunaannya (Hardjowigeno, 1994) Konversi areal hutan menjadi non-hutan, areal pertanian menjadi non-pertanian akan dapat menyebabkan terjadinya erosi tanah, penurunan kesuburan tanah dan hilangnya lahan-lahan subur menjadi daerah kawasan non-pertanian. Adanya penggunaan lahan untuk kegiatan pertanian tanpa melaksanakan upaya konservasi tanah juga menimbulkan penurunan dan perusakan sumber daya tanah.

Untuk mengurangi dan menghindari kerusakan sumber daya alam dan lingkungan itu, khususnya sumber daya lahan maka kita perlu melaksanakan upaya-upaya konservasi tanah, yang di berbagai sektor dan kegiatan di bidang pertanian, transmigrasi, pembukaan wilayah dan perubahan tata ruang dengan tujuan agar dapat tercapai optimalisasi dan efisiensi penggunaan sumber daya alam lahan. Penerapan dan pelaksanaan konservasi tanah ini harus dilakukan secara lintas sektoral.

Permasalahan konservasi sumber daya alam di Indonesia disebabkan karena beberapa hal, antara lain sebagai berikut.

1. Potensi Sumber Daya Alam yang Semakin Menurun

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, seperti hutan, minyak, gas bumi dan tambang lain. Kegiatan pemanfaatan dilakukan terus-menerus dan semakin meningkat. Maka, sekarang dirasakan sumber daya alam tersebut semakin cepat berkurang baik kualitasnya maupun kuantitasnya.

Dikhawatirkan bahwa dalam waktu yang tidak begitu lama persediaan sumber daya alam tersebut akan menjadi langka sehingga diperlukan adanya kegiatan konservasi sumber daya alam.

2. Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk di Indonesia masih cukup tinggi (sampai dengan tahun 1996 pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,3% per tahun) sehingga upaya pemenuhan kebutuhan pokok, seperti sandang, pangan, dan perumahan akan terus meningkat setiap tahun. Hal ini akan menyebabkan permintaan akan sumber daya alam semakin meningkat pula. Kebutuhan akan lahan, baik untuk pertanian dan perumahan, akan menyebabkan perubahan fungsi sumber daya lahan antara lain areal hutan dan lahan-lahan pertanian berubah menjadi areal pemukiman, transmigrasi dan kawasan industri. Berubahnya areal hutan menjadi areal lain akan mengakibatkan perubahan terhadap sumber daya lahan. Akibat penambahan penduduk yang semakin meningkat akan menurunkan sumber daya alam dan lingkungan.

3. Perkembangan Ekonomi yang Tidak Berwawasan Lingkungan

Perkembangan ekonomi yang pesat telah mendorong berkembangnya industri yang menggunakan bahan baku yang berasal dari sumber daya alam (SDA). Akibatnya penggunaan sumber daya alam juga akan meningkat. Oleh karena itu, di masa datang penyediaan sumber daya alam sebagai bahan baku industri akan menjadi masalah bagi negara-negara yang mengelola sumber daya alamnya tidak baik.

Pengambilan sumber daya alam harus tidak merusak lingkungan. Pengambilan sumber daya alam harus memperhatikan prinsip kontinuitas keberadaan sumber daya alam tersebut dengan memperhatikan kepentingan generasi yang akan datang.

Akibat perkembangan ekonomi yang tidak berwawasan lingkungan akan mendorong perlunya tindakan konservasi dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan.

4. Kemajuan Teknologi dan Pembangunan Harus Berwawasan Lingkungan

Kemajuan teknologi dalam pembangunan dapat meningkatkan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan. Hal ini akan menyebabkan perusakan sumber daya alam yang semakin cepat. Termasuk penggunaan alat-alat berat dalam kegiatan pembangunan akan dapat merusak sumber daya alam terutama tanah dan vegetasi hutan. Dalam rangka pembangunan yang berkesinambungan maka sumber daya alam ini harus selalu tersedia, oleh karenanya kegiatan konservasi perlu dilakukan dalam rangka menunjang kegiatan pembangunan yang menggunakan teknologi yang semakin tinggi. Kemajuan teknologi dalam pembangunan, harus berwawasan lingkungan.

Berdasarkan keempat permasalahan di atas maka disusunlah "strategi konservasi alam" di Indonesia agar dapat menjadi pedoman bagi para pengelola sumber daya alam dalam menggunakan dan memanfaatkan sumber daya alam tersebut untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dalam pembangunan guna kepentingan generasi masa kini dan masa datang.

Tujuan Konservasi Sumber daya Alam yang ingin dicapai di Indonesia adalah terjaminnya kebutuhan dasar material, spiritual dan budaya masyarakat, baik kualitas maupun kuantitasnya secara lestari dan berkesinambungan. Untuk mencapai tujuan konservasi tersebut maka harus dilakukan upaya-upaya sebagai berikut.

- a. Menjamin kelestarian manfaat dari sumber daya alam bagi masyarakat dalam pembangunan yang berkesinambungan.
- b. Menjamin terpeliharanya keanekaragaman jenis dan sumber plasma nutfah.
- c. Menjamin terpeliharanya kelangsungan proses-proses ekologi yang esensial dan sistem pendukung kehidupan.
- d. Meningkatkan peran serta masyarakat dalam upaya konservasi sumber daya alam.

E. DEFINISI DAN PENGERTIAN KONSERVASI

Konservasi berasal dari istilah *Conservation* yang artinya *pengawetan* atau *perlindungan*. Konservasi sumber daya alam dapat didefinisikan sebagai kegiatan yang meliputi perlindungan, pengawetan, pemeliharaan, rehabilitasi, introduksi, pelestarian, pemanfaatan dan pengembangan sumber daya alam (Anonim, 1985).

Selanjutnya dari pengertian di atas, yang dimaksud dengan konservasi sumber daya alam adalah suatu upaya pengelolaan sumber daya alam yang menjamin:

1. perlindungan terhadap proses-proses ekologis dan sistem penyangga kehidupan, seperti perlindungan terhadap siklus udara, siklus air, sistem hidrologis;
2. perlindungan sumber daya alam dan keanekaragaman sumber plasma nutfah, seperti pengawetan tanah, air, flora, fauna;
3. pemanfaatan secara lestari sumber daya alam dan lingkungan, seperti penggunaan lahan pertanian secara terus-menerus untuk suatu kegiatan produksi pertanian tanpa mengurangi potensinya.

Beberapa pengertian dasar dalam masalah konservasi sumber daya alam di Indonesia yang harus diketahui, antara lain sebagai berikut.

1. Sumber daya Alam, adalah unsur lingkungan alam baik fisik(non-hayati) maupun hayati yang diperlukan manusia untuk memenuhi kebutuhannya dan kesejahteraannya (Soerianegara, 1978). Sumber daya alam di Indonesia merupakan kekayaan alam Indonesia yang berdasarkan Undang-undang Dasar 1945 dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk kemakmuran rakyat. Sumber daya alam merupakan unsur dari ekosistem Indonesia.
2. Ekosistem adalah suatu tatanan kesatuan secara utuh menyeluruh antara segenap unsur lingkungan biotik dan abiotik yang saling mempengaruhi.
3. Lingkungan Hidup, sebagai ekosistem adalah suatu kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya yang mempengaruhi kelangsungan perilaku kehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Lingkungan hidup Indonesia meliputi aspek sosial budaya, ekonomi dan fisik terdiri dari lingkungan alam hayati, lingkungan alam non-hayati, lingkungan buatan dan lingkungan sosial.
4. Sumber daya alam, terdiri dari sumber daya alam hayati, sumber daya alam non-hayati, dan sumber daya buatan.
5. Sumber daya alam hayati, merupakan sumber daya alam yang terdiri dari organisme hidup dan dapat diperbaharui, terdiri dari flora dan fauna.
6. Sumber daya alam non-hayati, antara lain tanah, air, udara, bahan tambang, minyak dan gas bumi, bentangan keindahan alam dan sinar matahari, merupakan sumber daya alam yang tidak hidup dan tidak dapat diperbaharui dengan cepat.

7. Sumber daya buatan adalah hasil pengembangan dari sumber daya alam hayati dan non-hayati yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas, kuantitas dan atau kemampuan daya dukung, sebagai contoh: hutan buatan (hti), waduk, jenis unggul.
8. Konservasi Sumber daya alam hayati, meliputi kegiatan perlindungan, pengawetan, pemeliharaan, rehabilitasi, introduksi, pelestarian, pemanfaatan dan pengembangan.
9. Konservasi Sumber daya alam non-hayati, meliputi kegiatan pemanfaatan secara rasional dan bijaksana serta pengembangannya yang memperhatikan kepentingan generasi masa kini dan masa datang.
10. Konservasi Sumber daya buatan, meliputi kegiatan pemanfaatan secara lestari dan berkesinambungan serta pengembangan kemampuan daya dukung lingkungannya.

F. SEJARAH KEGIATAN KONSERVASI

Kegiatan konservasi di Indonesia lebih banyak dipengaruhi oleh kegiatan konservasi di Amerika, Belanda, dan Inggris. Untuk mendapatkan gambaran tentang kegiatan konservasi maka kita melihat perkembangan konservasi yang ada di Amerika, gerakan konservasinya dimulai pada awal abad ke-20 (Alikodra, 1990).

1. Di Amerika Serikat

Perkembangan kegiatan konservasi sumber daya alam pada garis besarnya dapat dikelompokkan ke dalam 3 periode.

- a. Periode I, yaitu pada tahun 1901-1909, di bawah kepemimpinan Theodore Roosevelt.
- b. Periode II, yaitu pada tahun 1933-1941, di bawah kepemimpinan Franklin D. Roosevelt.
- c. Periode III, yaitu antara tahun 1962-sekarang, yang dipelopori oleh kepemimpinan John F. Kennedy.

a. Periode 1 (1901-1909)

Pada tahun 1908, diadakan Konferensi Gedung Putih yang dihadiri oleh para Gubernur, ilmuwan, olahragawan dan pakar yang membahas masalah kelestarian sumber daya alam. Hasilnya dibentuk suatu Komisi Konservasi Nasional (*National Conservation Commission*) yang diketuai oleh Giffort

Pinchot. Komisi ini bertugas untuk melakukan kegiatan inventarisasi sumber daya alam secara terperinci. Berdasarkan hasil konferensi sumber daya alam tersebut, T. Roosevelt dapat melakukan langkah-langkah konkret antara lain melakukan alokasi penggunaan sumber daya alam yang lebih tepat. Mulai saat itu tumbuh kelompok-kelompok masyarakat pencinta alam, terutama dari golongan masyarakat yang bekerja di bidang kehutanan. Mereka bekerja sama mencari berbagai upaya untuk melindungi dan melestarikan sumber daya alam.

Pada Periode I ini diterbitkan peraturan perundangan yang menyangkut pengelolaan sumber daya alam. Dan pada periode ini pertama kali dikembangkan teori sumber daya alam yang dapat dipulihkan (*Renewable Resources*) dan mengembangkan pola pengelolaan untuk mendapatkan hasil yang lestari. Kemudian, ditetapkan sistem perlindungan sumber daya alam dan lingkungan nasional, salah satunya menetapkan luas hutan nasional di Amerika Serikat yang berkembang dari 17 juta ha pada tahun 1902 menjadi 70 juta ha pada tahun 1909.

b. Periode II (1933-1941)

Pada masa kepemimpinan, Franklin D. Roosevelt menciptakan pekerjaan dan memecahkan sejumlah masalah sumber daya alam dibentuk *Public Work Administration* (PWA) pada tahun 1933 yang bertujuan untuk mengembangkan sumber daya alam.

Salah satu program yang diprakarsai oleh PWA pada tahun 1934 adalah *Prairie State Forestry Project*, yang bertugas untuk membina *shelter belt* (pelindung) yang terdiri dari pohon-pohon dan alang-alang yang ditanam mulai dari *Texas Pan Handle* ke perbatasan dengan Kanada, yaitu Dakota Utara. Proyek ini berguna untuk mengurangi pengaruh angin yang merusak dataran pertanian. Pada tahun 1934, juga diselesaikan inventarisasi sumber daya alam nasional II dan melakukan tindakan-tindakan perbaikan sumber daya alam yang mengikutsertakan \pm 2,5 juta anak muda dalam pekerjaan proyek-proyek konservasi. Dibuat barak-barak menempati hutan untuk bekerja membangun alat untuk mencegah timbul dan meluasnya kebakaran hutan, pengendalian hama dan menanam pohon-pohonan. Mereka juga melakukan perbaikan-perbaikan terhadap danau, sungai dan pengendalian banjir. Program ini berdampak positif bagi kelestarian sumber daya alam dan dapat memperbaiki persepsi masyarakat terhadap hutan dan sumber daya alam lainnya.

Pada tahun 1933, Roosevelt juga mendirikan *Soil Erosion Service* yang pada tahun 1935 diganti menjadi *Soil Conservation Service* (SCS). SCS ini

mengadakan demonstrasi percobaan tentang teknik pengendalian erosi. Pada tahun 1936 diadakan seminar membahas pelestarian sumber daya satwa liar, dengan tujuan:

- 1) survei sumber daya satwa liar;
- 2) mengetahui perkembangan usaha-usaha konservasi;
- 3) mengetahui teknik dan kebijaksanaan yang digunakan untuk memecahkan masalah konservasi.

Selanjutnya selama Perang Dunia II, kegiatan pertanian ditinggalkan, karena lebih memusatkan usaha untuk memenangkan perang maka mulai muncul lagi masalah pencemaran udara, erosi tanah, kepunahan satwa liar, pengelolaan hutan yang salah.

c. Periode III (1962-Sekarang)

Periode ini diawali oleh kepemimpinan John F. Kennedy (1961). Pada tahun 1962 diadakan Konferensi Gedung Putih yang dihadiri oleh 500 pakar/ahli dari berbagai negara. Dalam konferensi itu dikemukakan mengenai program konservasi sumber daya alam yang meliputi:

- 1) pengawetan daerah hutan rimba;
- 2) pengembangan sumber daya kelautan;
- 3) pencadangan pantai yang digunakan untuk umum;
- 4) perluasan daerah rekreasi;
- 5) peningkatan penyediaan air tawar melalui desalinisasi;
- 6) melakukan program tata ruang daerah metropolis;
- 7) merumuskan rencana pengembangan sumber daya air dari seluruh daerah aliran sungai;
- 8) meningkatkan pencegahan semua bentuk pencemaran;
- 9) mengorganisasi perkumpulan konservasi untuk dapat melakukan berbagai program.

Program konservasi tersebut dilanjutkan oleh pengganti John F. Kennedy, antara lain oleh Lyndon B. Johnson, Februari 1965. Johnson mengusulkan kepada kongres untuk melakukan pencegahan lebih lanjut terhadap memburuknya lingkungan, antara lain:

- 1) program peningkatan sumber daya manusia;
- 2) pengawasan pencemaran udara dan air;
- 3) pengawetan daerah-daerah hutan rimba beserta lingkungan.

Dua fungsi dari konservasi sumber daya alam dan pemeliharaan serta peningkatan lingkungan hidup manusia dilaksanakan secara baik di bawah pemerintahan Nixon, Ford, Carter dan Reagan. Salah satu usaha dari konservasi sumber daya alam dan pemeliharaan serta peningkatan lingkungan hidup manusia yang dikerjakan pada waktu pemerintahan Nixon adalah membentuk organisasi Badan Perlindungan Lingkungan (EPA = *Environmental Protection Agency*), yang antara lain terdiri dari:

- 1) Badan Pengawasan Pencemaran Udara Nasional (*National Air Pollution Control Agency*); penelitian mengenai pengaruh pencemaran udara; peningkatan kualitas udara.
- 2) Badan Pengawas Mutu Air Federal (*Federal Water Quality Administration*); Penelitian pengaruh pencemaran air terhadap kesehatan, meningkatkan dan menetapkan kualitas air.
- 3) Departemen Dalam Negeri (*Department of Interior*); melakukan penelitian pengaruh pestisida sangat beracun dan sedikit beracun terhadap ikan, satwa liar, binatang-binatang yang kulitnya berbulu serta burung-burung yang suka menyanyi.
- 4) Badan Pengawas Obat dan Makanan (*Food and Drug Administration*); pengawas residu pestisida dalam makanan.
- 5) Badan Pengawas Lingkungan (*Environmental Control Administration*); melaksanakan program pengelolaan limbah padat.
- 6) Program Baku Radiasi Lingkungan (*Environmental Radiation Standard Program*); bertanggung jawab untuk mencegah kerusakan-kerusakan tanaman, satwa liar, ternak dan manusia oleh radiasi sebagai akibat percobaan bom nuklir atau bekerjanya pabrik nuklir.

EPA telah berhasil mengkoordinasi program-program di atas, dan menghapuskan berbagai program duplikasi sehingga penggunaan dana lebih efisien, dan dapat menghapuskan pertikaian antar badan melalui pengadilan. Sejak embargo minyak oleh negara-negara Arab tahun 1973-1974, bangsa Amerika telah menyadari betapa sulitnya perekonomian mereka, sumber energi tradisional (kecuali batu bara) benar-benar sangat terbatas. Pengaruhnya meluas dan sangat serius baik terhadap keadaan ekonomi, maupun politik dan militer.

2. Di Indonesia

Kegiatan konservasi di Indonesia dimulai pada permulaan abad ke-19, diawali dengan berdirinya perkumpulan penggemar alam (*Nederlands-Indische*

Vereniging voor Naturbescherming) yang diketuai oleh Dr. S. H. Koorders. Kegiatan perkumpulan penggemar alam ini menghasilkan bermacam-macam peraturan dan usulan ditetapkannya beberapa kawasan konservasi alam. Di antaranya tahun 1889, hutan Cibodas dilarang diganggu gugat dan kemudian dikenal sebagai Cagar Alam Cibodas, dan terakhir statusnya diubah menjadi Taman Nasional. Tahun 1912 diusulkan lagi beberapa kawasan konservasi alam, salah satu diantaranya yang terpenting adalah Ujung kulon. Sebelumnya telah banyak dilakukan ekspedisi, diantaranya ahli botani yang terkenal F. Junghuhn pada bulan Mei 1846 mengunjungi Ujung kulon. Kemudian, ahli botani dan konservasi alam Dr. S. H. Koorders mengunjungi Ujung kulon pada tahun 1892. Pada bulan September 1864, di Jakarta telah didirikan suatu perkumpulan pencinta flora dan fauna yang dinamakan *Vereniging Platen en Dierentuin Batavia*.

Pada tahun 1990 dibentuk persatuan pemburu satwa liar yang diberi nama *Venatoria*. Kegiatan *Venatoria* selain mengadakan kunjungan sambil melakukan perburuan satwa liar besar, juga sering kali mengajukan usul kepada persatuan penggemar alam yang diketuai Dr. S. H. Koorders untuk menetapkan kawasan-kawasan konservasi. Misalnya, tahun 1921 *Venatoria* mengajukan petisi untuk menetapkan Ujung kulon, seluas 300 km², sebagai suaka alam.

Dalam sejarah konservasi alam di Indonesia, selain Dr. S. H. Koorders sebagai orang pertama, juga dikenal A. Hoogerwerf yang pada tahun 1937 menjabat Asisten Direktur pada Museum Zoologi dan Kebun Raya di Bogor. Di samping pekerjaannya sebagai asisten direktur, A. Hoogerwerf juga menaruh perhatian yang sangat besar terhadap bidang perlindungan alam dan pengelolaan satwa liar. Dalam tahun 1932-1957 sering melakukan penelitian di kawasan-kawasan konservasi alam, salah satu di antaranya yang mendapat perhatian serius adalah Ujung kulon. Bukunya yang sangat terkenal adalah Ujung kulon: *The Land of the Last Javan Rhinoceros*, diterbitkan tahun 1970. Setelah zaman Hoogerwerf perhatian bangsa asing terhadap konservasi alam di Indonesia semakin meningkat. Walaupun masih sangat terbatas, peneliti-peneliti Indonesia juga mulai tertarik untuk mendalami masalah-masalah konservasi satwa liar. Pada mulanya artikel yang ditulis oleh bangsa Indonesia dapat dikatakan hampir tidak ada. Pada tahun 1955, F.J. Appelman seorang rimbawan senior Indonesia menulis artikel tentang konservasi alam di Indonesia dalam majalah kehutanan *Tectona*.

Perhatian pemerintah mulai timbul lagi sejak tahun 1974, diawali oleh kegiatan Direktorat Perlindungan dan Pengawetan Alam yang berhasil

menyusun rencana pengembangan kawasan-kawasan konservasi di Indonesia dengan bantuan FAO/UNDP (*Food and Agriculture Organization/United Nation Development Program*), dan usaha penyelamatan satwa liar yang diancam kepunahan dengan bantuan WWF (*World Wildlife Fund*). WWF adalah badan internasional yang bertugas mencari, menghimpun dan menyalurkan dana untuk kepentingan penyelamatan flora dan fauna yang terancam kepunahan.

Pangeran Benhard sebagai pendiri WWF memberikan perhatian yang sangat besar dan terus mendorong WWF bagi program pelestarian satwa liar Indonesia, seperti Badak Sumatra (*Dirhinocheros sumatrensis*), Badak Jawa (*Rhinocheros sondaicus*), Mawas (*Pongo pygmaeus*) dan Bekantan (*Nasalis larvaeus*). Untuk memperlancar bantuan WWF bagi pelestarian satwa liar di Indonesia, dibentuk IWF (*Indonesian Wildlife Fund*) yang pertama kali diketuai oleh Hamengkubuwono IX.

Pada waktu pertemuan teknis IUCN (*International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources*), suatu badan internasional yang bergerak dalam bidang konservasi alam) ke-7 di New Delhi, India tanggal 25-28 November 1969, Indonesia mengirimkan beberapa orang utusan, di antaranya Ir. Hasan Basjrudin dan Dr. Ir. Rudy C. Tarumingkeng. Pada konferensi tersebut wakil dari Indonesia menyampaikan makalahnya dengan judul "Suaka Alam dan Taman Nasional di Indonesia. "Keadaan dan Permasalahannya" (*Nature Reserves and National Parks in Indonesia: Present Situation and Problems*), dan "Pendidikan Konservasi Alam di Indonesia" (*Nature Conservation Education in Indonesia*). Kedua makalah tersebut mendapat tanggapan positif dari para peserta konferensi sehingga perhatian dunia luar terhadap kegiatan konservasi alam di Indonesia semakin meningkat.

Selama periode 1974-1982, bidang konservasi alam di Indonesia mengalami kemajuan yang pesat. Perhatian para peneliti sudah mulai timbul dan tenaga-tenaga ahli Indonesia yang bekerja di bidang konservasi alam semakin meningkat jumlahnya. Pada tahun 1982, di Bali diadakan Kongres Taman Nasional Sedunia ke-3 yang menghasilkan Deklarasi Bali.

Terpilihnya Bali sebagai tempat kongres mempunyai dampak yang positif bagi pengelolaan Hutan Suaka Alam dan Taman Nasional di Indonesia. Perkembangan kawasan konservasi terus meningkat, hingga tahun 1986 luas kawasan perlindungan dan pelestarian alam mencapai 18,7 juta hektar. Di samping itu, dilakukan pula program perlindungan dan pelestarian terhadap satwa liar dan tumbuhan alam yang keadaan populasi serta penyebarannya mengkhawatirkan ditinjau dari segi kelestariannya. Pada tahun 1978 tercatat

tidak kurang dari 104 jenis telah dinyatakan sebagai satwa liar yang dilindungi. Sampai dengan tahun 1985, keadaan berubah menjadi 95 jenis mamalia, 372 jenis burung, 28 jenis reptil, 6 jenis ikan dan 20 jenis serangga yang dilindungi.

Kemajuan dan kegiatan konservasi alam di Indonesia juga banyak dirangsang oleh adanya *World Conservation Strategy* (Strategi Konservasi Alam Sedunia), SKAS yang telah disetujui pada waktu sidang umum Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tanggal 15 Maret 1979. Pemerintah Indonesia menyambut positif SKAS tersebut, yang dituangkan dalam tanggapan dan petunjuk Presiden Republik Indonesia pada waktu sidang kabinet tanggal 5 Maret 1980, sebagai berikut (Anonim, 1985).

- a. Pemerintah Indonesia mendukung SKAS, seperti disepakati Sidang Umum Perserikatan Bangsa-Bangsa.
- b. Menugaskan setiap menteri menggunakan SKAS sebagai bahan masukan dalam merencanakan dan melaksanakan program pemerintah sesuai dengan Garis-garis Besar Haluan Negara.
- c. Menyebarkan SKAS terhadap masyarakat luas untuk diketahui dan dilaksanakan sesuai dengan semangat dan ideologi Pancasila.

Upaya para cendekiawan merupakan pangkal tolak pengembangan kegiatan konservasi di Indonesia. Melalui upaya pembinaan cinta alam, jiwa gerakan konservasi secara berangsur-angsur mulai tertanam di masyarakat Indonesia terutama golongan masyarakat pendidik, pelajar, mahasiswa, seniman dan wartawan. Muncullah berbagai organisasi pencinta alam terutama yang dipelopori oleh mahasiswa, dan lembaga-lembaga swadaya masyarakat pun mulai memberikan perhatian yang besar terhadap kegiatan konservasi sumber daya alam. Pada tahun 1974 dibentuk ke pengurusan dari kelompok mitra satwa penyu (*Marine Turtle Specialist Group*), yang berdiri sejak tahun 1945.

Pada tahun 1983 dibentuk Departemen Kehutanan sehingga Direktorat Perlindungan dan Pengawetan Alam statusnya diubah menjadi Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam (PHPA) yang wawasan tugas dan tanggung jawabnya semakin luas. Di samping itu, kegiatan koordinasi yang menyangkut permasalahan lingkungan hidup, termasuk satwa liar, secara aktif dilakukan oleh Kantor Menteri Negara dan Kependudukan Lingkungan Hidup (KLH) misalnya *Operasi Tata Liman* pada tahun 1982, berhasil menggiring \pm 240 ekor gajah dari Lebong Hitam ke Padangsugihan (Sumatra Selatan).

Dari segi undang-undang dan peraturan tentang perlindungan alam juga mengalami banyak kemajuan, beberapa undang-undang dan peraturan peninggalan pemerintah Hindia Belanda telah dicabut dan diganti dengan UU No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya. Dalam kaitannya dengan pengelolaan lingkungan hidup telah dikeluarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup yang selanjutnya direvisi menjadi Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 1997. Di samping itu Undang-undang No. 5 Tahun 1967 tentang *Ketentuan Pokok di Bidang Kehutanan* masih tetap dipakai sebagai pegangan para pengelola kawasan konservasi yang selanjutnya direvisi menjadi UU No. 49 Tahun 1999. Perhatian pemerintah terhadap pelestarian sumber daya alam dan lingkungan semakin besar dengan dikeluarkannya Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 1986 tentang *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan* (PP. AMDAL) yang selanjutnya disempurnakan dengan Peraturan Pemerintah No. 51 Tahun 1993 dan direvisi lebih lanjut menjadi Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 1999. Terbitnya PP AMDAL ini diharapkan akan mempunyai peranan yang sangat besar bagi penyelamatan tumbuhan dan satwa liar dari ancaman kepunahan. Di Sumatra telah dilakukan beberapa studi tentang AMDAL satwa liar, misalnya dampak eksploitasi minyak terhadap satwa liar di Suaka Margasatwa Danau Pulau Besar dan Danau Bawah (Riau) (Alikodra, 1985) dan studi AMDAL gajah untuk lingkungan PIR (Perkebunan Inti Rakyat) Takseleri kelapa sawit di PT Perkebunan VI Kabupaten Kampar (Riau) (Anonim, 1987). Beberapa studi AMDAL yang banyak membahas pelestarian dan perlindungan satwa liar telah dilakukan.

Pertumbuhan Kebun Binatang, Taman Burung dan Taman Safari di Indonesia sangat membantu program perlindungan dan pelestarian satwa liar. Oleh karena selain fungsinya sebagai tempat rekreasi dan koleksi binatang, Taman Safari dan Taman Burung juga mempunyai peranan dalam usaha melindungi dan melestarikan satwa liar. Beberapa kebun binatang di Indonesia telah berhasil mengembangbiakkan satwa liar, misalnya Komodo, Jalak Bali dan Anoa. Di samping itu, Kebun Binatang dan Taman Safari secara terbatas juga dapat menampung satwa liar sebagai titipan dari instansi PHPA, misalnya gajah Sumatra atau hewan hasil sitaan. Organisasi Kebun Binatang, Taman dan Taman Safari seluruh Indonesia bersatu di bawah satu perhimpunan, yaitu Perhimpunan Kebun Binatang Se-Indonesia (PKBSI).

Perhatian dunia Internasional terhadap kepentingan perlindungan satwa liar juga sangat besar. Pada saat ini telah ada perjanjian-perjanjian internasional yang membahas masalah konservasi sumber daya alam antara lain (IUCN, 1986):

- a. CITES, *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Perjanjian ini telah diterima sejak tahun 1973 pada konferensi internasional di Washington D.C., Amerika Serikat. Perjanjian ini mulai diperkenalkan untuk mendapatkan anggotanya sejak tahun 1975. Sampai saat ini anggota CITES telah mencapai 90 negara, termasuk Indonesia. Tujuan CITES adalah untuk mengendalikan perdagangan kehidupan liar yang terancam kepunahan. Di dalam lampiran CITES terdapat lebih dari 2000 spesies fauna dan flora yang terancam kepunahan.
- b. CMA, *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*. Perjanjian ini telah diterima pada tahun 1979 pada konferensi internasional di Bonn, Republik Federasi Jerman. Perjanjian ini baru dapat dikembangkan sejak tahun 1983 hingga 1985 yang anggotanya telah mencapai 19 negara. Tujuannya adalah untuk mengembangkan mekanisme kerja sama internasional dalam rangka konservasi dan pengelolaan spesies-spesies yang melakukan migrasi dan untuk melakukan identifikasi adanya spesies-spesies migrasi yang memerlukan perhatian khusus. Perjanjian ini juga berusaha untuk menghimpun dana dan mendistribusikan dana, teknik dan mengembangkan pendidikan serta latihan untuk kepentingan konservasi spesies-spesies migrasi.
- c. Ramsar *Convention on Wetland of International Importance Especially as Waterfowl Habitat*. Perjanjian Ramsar diterima sejak tahun 1971, bertujuan untuk menahan kehilangan daerah rawa-rawa dan melindunginya karena fungsinya yang sangat penting bagi proses-proses ekologi di samping kekayaan flora dan fauna yang tinggi. Sampai dengan tahun 1985 telah terdaftar 300 tempat yang mencapai luas 20 juta hektar sebagai daerah rawa yang mempunyai kepentingan internasional ditinjau dari segi ekologi, botani, zoology, limnologi ataupun hidrologi.
- d. ICRW (*International Convention for the Regulation of Whaling*) atau disebut *Washington Convention* 1946. Perjanjian ini bertujuan untuk melindungi jenis-jenis ikan Paus yang langka dan terancam kepunahan sehingga diperlukan suatu kebijakan, meliputi mengatur beroperasinya kapal-kapal penangkapan ikan Paus, pabrik pengolahan dan cara-cara penangkapan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan masalah lingkungan global yang menyebabkan menurunnya sumber daya alam dan lingkungan!
- 2) Konservasi SDA dan lingkungan di Indonesia dilandasi oleh kepentingan dan masalah lingkungan apa saja? Jelaskan yang dimaksud dengan pertumbuhan penduduk Indonesia merupakan salah satu penyebab penurunan SDA dan lingkungan!
- 3) Apakah tujuan Konservasi Sumber Daya Alam yang ingin di capai Indonesia?
- 4) Apa yang dimaksud dengan pengertian
 - a) Sumber daya alam hayati
 - b) Sumber daya alam non-hayati
 - c) Sumber daya buatan
 - d) Lingkungan hidup
- 5) Kenapa Anda perlu mempelajari sejarah konservasi di Amerika? Dan ceritakan juga sejarah konservasi yang ada di Indonesia!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda baca dan perhatikan lagi latar belakang kenapa perlu adanya kegiatan Konservasi SDA dan lingkungan tersebut!
- 2) Coba Anda lihat kembali latar belakang kegiatan konservasi di Indonesia!
- 3) Anda lihat kembali apa yang dimaksud dengan Strategi Konservasi Alam di Indonesia!
- 4) Anda lihat lagi definisi dan batasan dari istilah-istilah tersebut!
- 5) Untuk menjawab pertanyaan tersebut Anda harus melihat bagaimana sejarah kegiatan konservasi!



RANGKUMAN

Menurunnya kualitas SDA dan Lingkungan disebabkan karena masalah lingkungan global, yaitu pertumbuhan populasi manusia yang cepat, pencemaran lingkungan, konversi fungsi hutan yang berlebihan, penurunan dan perusakan sumber daya tanah.

Konservasi SDA dan Lingkungan dilakukan karena potensi SDA yang semakin menurun, pertumbuhan penduduk yang terlalu cepat, perkembangan ekonomi yang tidak berwawasan lingkungan, kemajuan teknologi dan pembangunan yang tidak berwawasan lingkungan.

Tujuan konservasi alam di Indonesia adalah terjaminnya kebutuhan dasar material, spiritual dan budaya masyarakat baik kualitas maupun kuantitas secara lestari dan berkesinambungan.

Konservasi SDA dan Lingkungan adalah upaya pengelolaan SDA yang menjamin:

- a. perlindungan terhadap proses-proses ekologis dan sistem penyangga kehidupan, seperti perlindungan terhadap siklus udara, siklus air, sistem hidrologis;
- b. perlindungan sumber daya alam dan keanekaragaman sumber plasma nutfah, seperti pengawetan tanah, air, flora, dan fauna;
- c. pemanfaatan secara lestari sumber daya alam dan lingkungan, seperti penggunaan lahan pertanian secara terus-menerus untuk suatu kegiatan produksi pertanian tanpa mengurangi potensinya.

Kegiatan konservasi di Indonesia lebih banyak dipengaruhi oleh kegiatan konservasi di Amerika, Belanda dan Inggris.

Kegiatan Konservasi SDA dan Lingkungan di Amerika Serikat garis besarnya dapat dikelompokkan ke dalam 3 periode, sedangkan di Indonesia kegiatan konservasi telah dimulai pada awal abad ke-19.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Menurunnya SDA dan Lingkungan yang disebabkan oleh 4 masalah lingkungan global yang terdiri dari
 - A. pertumbuhan populasi manusia yang terlalu cepat; pencemaran lingkungan; konversi SDA hutan yang berlebihan; penurunan dan perusakan sumber daya tanah

- B. peningkatan populasi manusia; penggunaan teknologi yang tidak berwawasan lingkungan, pengambilan SDA yang berlebihan, penurunan dan perusakan sumber daya tanah
 - C. pertumbuhan populasi manusia, penggunaan SDA berlebihan, pencemaran lingkungan, pemanfaatan SDA berlebihan
 - D. peningkatan populasi manusia, pencemaran lingkungan, penggunaan SDA yang berlebihan, pengambilan sumber daya tanah
- 2) Pencemar udara yang menyebabkan pencemaran lingkungan adalah
- A. CO, SO, NO
 - B. SO₂, CO, NO_x
 - C. NO₂, CO₂, SO₂
 - D. NO, CO, SO
- 3) Tatanan kesatuan secara utuh menyeluruh antara segenap unsur lingkungan biotik dan abiotik yang saling mempengaruhi disebut
- A. lingkungan
 - B. ekologi
 - C. ekosistem
 - D. ekotipe
- 4) Sumber daya alam yang terdiri dari organisme hidup dan dapat diperbaharui dan terdiri dari flora dan fauna disebut sumber daya
- A. alam non-hayati
 - B. alam hayati
 - C. alam buatan
 - D. alam
- 5) Hasil pengembangan sumber daya alam hayati dan non-hayati yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas, kuantitas dan/atau kemampuan daya dukung lingkungan disebut sumber daya
- A. alam non-hayati
 - B. alam hayati
 - C. alam buatan
 - D. alam
- 6) Periode konservasi yang ke-1 di Amerika terjadi pada saat pemerintahan
- A. Theodore Roosevelt
 - B. Franklin D Roosevelt
 - C. John F Kennedy
 - D. Jimmy Carter

- 7) Konferensi Gedung Putih pada tahun 1962, yang membahas program konservasi sumber daya alam terjadi pada
- A. Periode I
 - B. Periode II
 - C. Periode III
 - D. Periode IV
- 8) Kegiatan konservasi berupa kegiatan perkumpulan penggemar alam di Indonesia dimulai pada abad ke-
- A. 17
 - B. 18
 - C. 19
 - D. 20
- 9) Orang yang pertama kali menjadi ketua dalam kegiatan perkumpulan penggemar alam di Indonesia
- A. Junghuhn
 - B. Koorders
 - C. Hoogerwert
 - D. F.J. Appehnan
- 10) Undang-undang Konservasi SDA Hayati dan Ekosistemnya yang digunakan sebagai pedoman dalam kegiatan konservasi di Indonesia, yaitu
- A. UU No. 23 Tahun 1997
 - B. UU No. 5 Tahun 1990
 - C. UU No. 4 Tahun 1982
 - D. Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 1999

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Prinsip Ekologi sebagai Dasar Konservasi Sumber Daya Alam(SDA)

A. PRINSIP EKOLOGI

1. Ekologi Sebagai Dasar dalam Kegiatan Konservasi SDA dan Lingkungan

Keseimbangan antara kebutuhan sumber daya alam bagi manusia dan sumber daya alam yang ada di alam merupakan prinsip ekologi yang menjadi dasar dalam upaya pengelolaan konservasi SDA dan lingkungan. Kebijakan pemerintah dalam memperhatikan masalah pengelolaan SDA dan lingkungan didasarkan kepada:

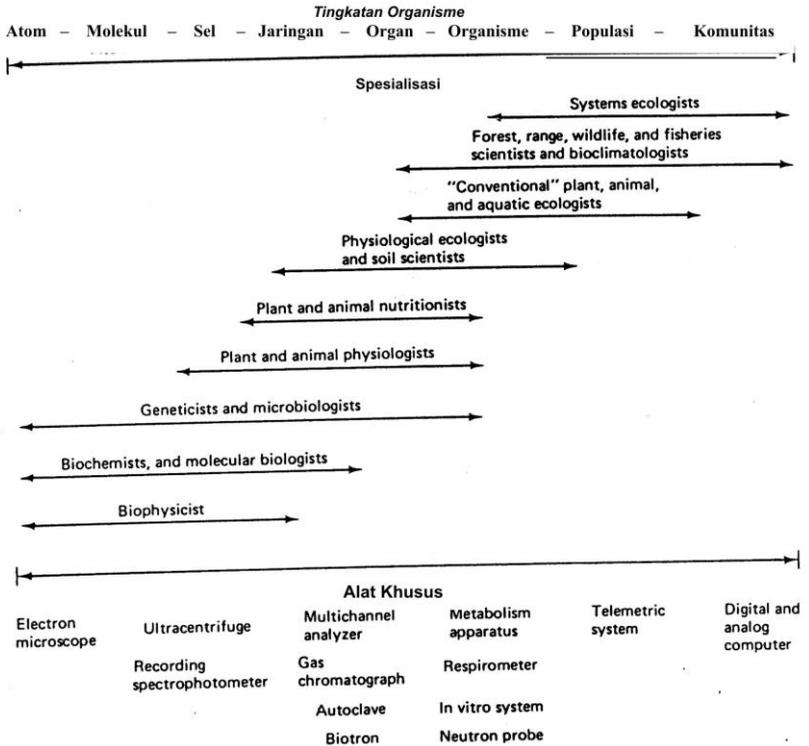
- a. kebutuhan masyarakat akan SDA dan lingkungan;
- b. kepentingan Pemerintah dalam pengelolaan SDA dan lingkungan;
- c. manfaat dari setiap Sumber daya Alam bagi manusia;
- d. inventarisasi penyebaran dan proyeksi penggunaan sumber daya alam dan lingkungan yang ada;
- e. hubungan keterkaitan sumber daya alam yang satu dengan yang lainnya.

Hubungan antara masyarakat dengan sumber daya alam dan lingkungan ini merupakan salah satu kegiatan penting yang dibahas dalam ilmu ekologi. Ekologi dapat didefinisikan sebagai *suatu ilmu yang mempelajari hubungan keterkaitan timbal balik antara organisme dengan organisme lain dan atau antara organisme dengan lingkungannya*. Prinsip dasar ekologi tidak hanya menjadi dasar dalam mengembangkan, memperhatikan atau memecahkan permasalahan lingkungan bagi para *conservationist* dan *environmentalist*, tetapi juga bagi para praktisi, ahli strategi dan ahli hukum untuk menyelesaikan dan mengatasi permasalahan dalam bidang lingkungan.

2. Tingkatan Organisasi Biologi yang Dipelajari dalam Ekologi

Pengetahuan biologi digunakan sebagai dasar untuk mempelajari kehidupan suatu organisme. Di dalamnya mempelajari tingkatan organisasi dari suatu organisme, meliputi atom, molekul, sel, jaringan, organ, sistem organ dan organisme individu. Sedangkan dalam ekologi, cakupan tingkatan organisasinya

di atas organisme, antara lain populasi, komunitas dan sistem ekologi atau ekosistem. Tingkat organisasi biologi dengan spesialisasi keilmuan dan peralatan yang digunakan dalam pekerjaan atau penelitiannya dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1
Tingkatan Organisasi Biologi Dalam Kaitannya dengan Spesialisasi Keilmuannya serta Peralatan yang Digunakan dalam Penelitian

Secara terperinci pengertian dari populasi, komunitas dan ekosistem seperti di bawah ini.

a. *Populasi*

Populasi adalah kumpulan dari individu-individu yang sejenis yang ada pada suatu tempat dan waktu tertentu. Contoh: populasi rusa di Kebun Raya Bogor

Populasi rusa yang ada di Kebun Raya Bogor ada 2450 ekor, populasi pohon *Pinus sp* di hutan Darmaga ada 10.800 pohon.

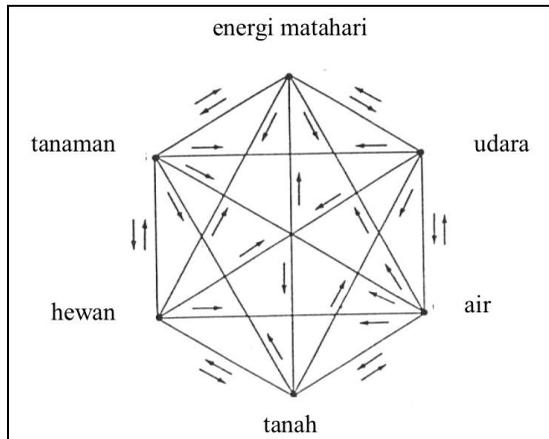
b. *Komunitas*

Komunitas adalah kumpulan dari berbagai populasi-populasi organisme yang ada di suatu tempat pada waktu dan tempat yang tertentu. Contohnya: komunitas hutan, komunitas danau, komunitas gurun, komunitas prairie. Pada komunitas-komunitas tersebut di dalamnya terdapat berbagai populasi berbagai jenis organisme. Contoh: di dalam komunitas hutan di Darmaga terdapat pohon pinus, hewan burung, serangga, ular, dan lain-lain.

Dalam suatu komunitas, populasi organisme yang dijumpai dapat terdiri dari berbagai jenis dengan jumlah yang beraneka ragam .

c. *Ekosistem*

Kumpulan dari komunitas yang saling berinteraksi satu sama lain dengan lingkungan biotik dan abiotik membentuk suatu sistem disebut *Ekosistem* seperti tersebut pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2
Ekosistem

B. PRINSIP-PRINSIP EKOLOGI

Prinsip-prinsip ekologi yang sering digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan kegiatan konservasi, antara lain berikut ini.

1. Siklus Biogeokimia

Sebagai siklus/daur unsur-unsur kimia yang berada di lingkungan alam yang pada waktu tertentu berada dalam organisme hidup (bio), kemudian berada di dalam tanah (geo) dan berulang-ulang selanjutnya terjadi seperti itu membuat siklus yang konstan. Unsur-unsur kimia, termasuk unsur hara, cenderung untuk bersirkulasi dalam biosfer dengan pola tertentu, dari lingkungan ke organisme dan kembali lagi ke lingkungan. Pola ini kurang lebih berbentuk lingkaran dan dikenal sebagai *siklus biogeokimia*. Pergerakan unsur-unsur kimia dan senyawa anorganiknya sangat penting bagi kehidupan organisme (tumbuhan, hewan, mikroorganisme manusia).

Berdasarkan sumbernya di alam, siklus biogeokimia dapat dibagi dalam 2 golongan (tipe), antara lain: (1) tipe gas, di mana sebagai sumber utama dari unsur kimia yang paling besar adalah atmosfer dan lautan (hidrosfer). Contoh: siklus C, H₂O; N dan O₂. (2) tipe sedimen, di mana sumber utama dari unsur tersebut adalah batuan bumi. *Contoh*: siklus P, Ca. Berikut ini contoh.

2. Siklus Tipe Gas

a. Siklus Nitrogen

Siklus Nitrogen (Gambar 1.3) adalah salah satu contoh dari siklus tipe gas yang agak kompleks. Sumber utama nitrogen adalah atmosfer, 80% dari udara mengandung nitrogen, nitrogen dalam bentuk gas oleh kebanyakan organisme tidak dapat dipergunakan sebagai unsur hara, tetapi beberapa jenis jasad renik (beberapa bakteri tertentu dan ganggang biru hijau) dapat memanfaatkan gas nitrogen dari atmosfer tanah. Banyak dari organisme ini hidup bebas dalam tanah. Lainnya adalah bakteri yang bersimbiosis dengan tanaman tertentu (*legume*). Bakteri-bakteri ini terdapat dalam bentuk bintil-bintil pada akar tanaman.

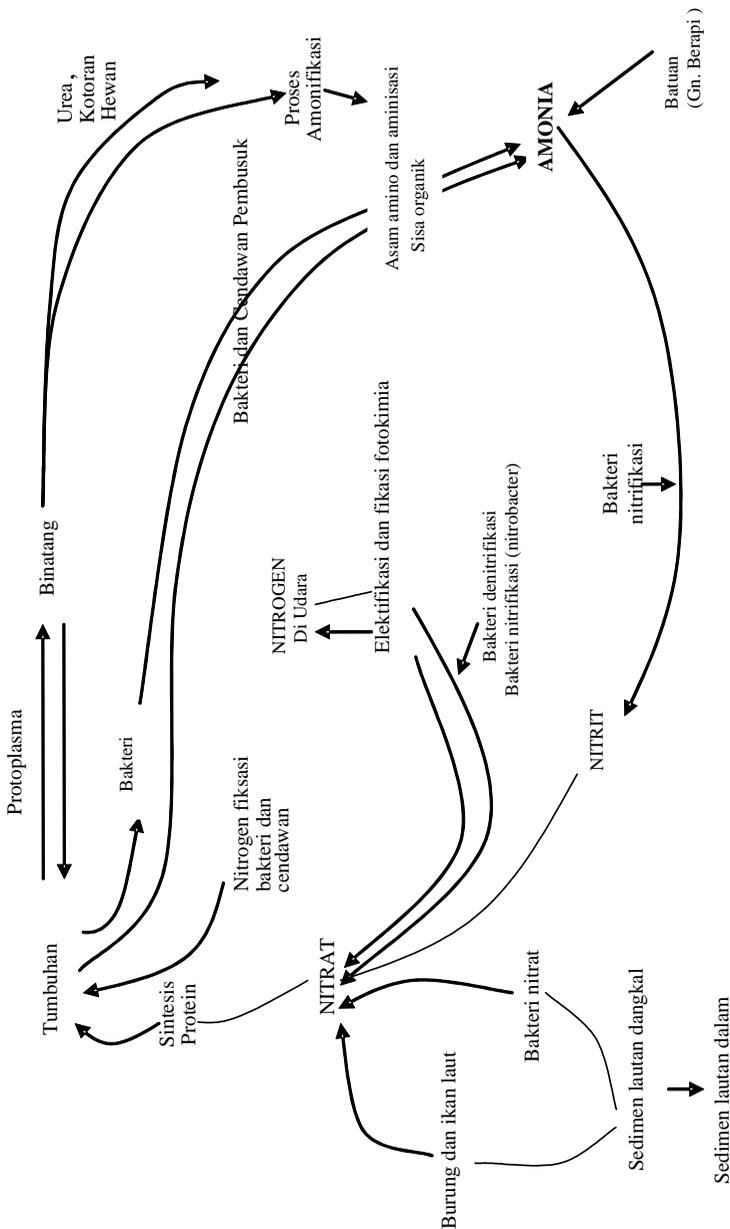
Jadi, nitrogen masuk ke bagian "hidup" dari ekosistem melalui dua cara (1) nitrogen dari atmosfer melalui fiksasi jasad renik; (2) nitrat atau kadang-kadang amonia tersedia dalam tanah sebagai hasil dari suatu kerja bakteri dekomposer. Nitrat adalah bentuk akhir dari nitrogen dan tersedia bagi tumbuhan. Di samping melalui fiksasi jasad renik, nitrogen dari atmosfer dapat juga masuk ke dalam sistem karena halilintar (kilat).

Perubahan nitrogen dari protein (bahan organik mati) menjadi ammonia (NH_3) dilakukan oleh bakteri dan cendawan pembusuk. Dari ammonia ke bentuk nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*. Nitrit ini kemudian dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri dari genus *Nitrobacter*. Kedua langkah terakhir (bentuk ammonia ke bentuk nitrat) disebut *nitrifikasi*.

Beberapa jenis jasad renik yang dapat mengikat nitrogen dari udara adalah sebagai berikut.

- 1) Bakteri yang hidup bebas, antara lain *Azotobacter* (aerobik) dan *Clostridium* (anaerobik).
- 2) Bakteri yang bersimbiosis membentuk bintil pada tanaman legume, antara lain *Rhizobium*.
- 3) Ganggang biru, ganggang hijau, antara lain *Anabaena*, *Nostoc*, dan beberapa anggota dari ordo Nostocales.

Melalui kegiatan bakteri denitrifikasi nitrat diuraikan kembali menjadi nitrogen dan bebas ke dalam atmosfer atau tercuci ke dalam larutan dan hilang dari peredaran (sistem) karena terikat sebagai sedimen di dalam lautan.



Gambar 1.3 Siklus Nitrogen

Nitrogen yang terdapat di dalam tanah terikat dalam senyawa NO_3 , karena adanya proses nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi akan berubah menjadi N_2 dan lepas ke atmosfer. Nitrogen tersebut juga diserap oleh tumbuhan untuk membentuk protein di tumbuhan. Selanjutnya tumbuhan akan dimakan oleh herbivora dan nitrogennya digunakan untuk membuat protein herbivora dan herbivora dimakan oleh karnivora. Di dalam tubuh karnivora, nitrogennya diubah untuk membuat protein di tubuhnya. Kalau bagian tumbuhan ada yang mati, dalam bentuk serasah ataupun tumbuhan tersebut mati, hewan herbivora dan karnivora juga membuang kotorannya ke tanah, begitu juga bila mati. Selanjutnya organisme tumbuhan atau hewan yang mati tersebut akan di dekomposisi oleh dekomposer. Selanjutnya oleh bakteri amonifikasi, nitrogen hasil dekomposisi ini akan diubah menjadi amonium (NH_4) dan akan diubah lagi oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrit (NO_2) dan oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrat (NO_3) dan NO_3 ini akan kembali dilepas ke tanah. Sebagian nitrogen dari atmosfer juga akan kembali ke tanah pada saat terjadi halilintar di musim hujan, begitu juga nitrogen dari atmosfer akan kembali ke tanah karena di fiksasi oleh bakteri pengikat nitrogen terutama yang dilakukan oleh akar-akar jenis tumbuhan legume yang dapat mengikat N_2 dari atmosfer.

Nitrogen di lautan dapat berasal dari nitrat (NO_3) yang ada di dalam tanah terbawa aliran permeabilitas masuk ke lautan dan akan tersimpan dalam bentuk endapan di dasar laut. Nitrogen yang berada di dasar laut ini akan difiksasi oleh ganggang hijau biru yang selanjutnya ganggang hijau biru ini akan dimakan ikan dan ikannya akan dimakan burung laut. Selanjutnya kotoran dan sekresi dari burung laut yang mengandung nitrogen ini dapat kembali lagi ke lautan.

Nitrogen dalam lautan juga dapat berasal dari N yang ada di udara yang ikut terbawa ke dalam air laut pada saat terjadi hujan.

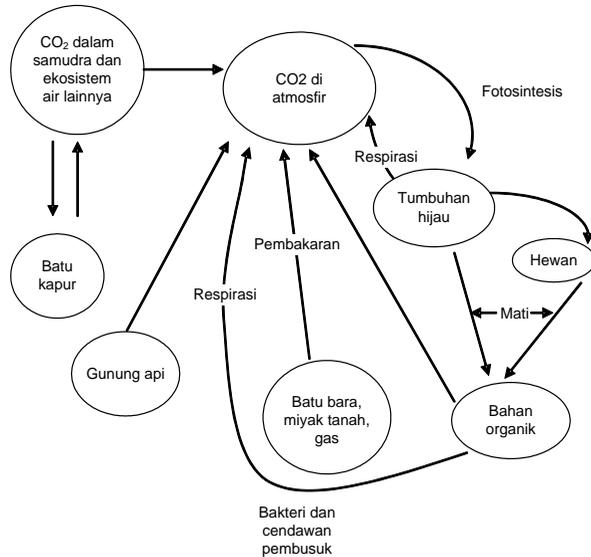
Siklus nitrogen yang ada di alam ini akan terjadi terus-menerus seperti digambarkan pada Gambar 1.3.

b. Siklus Karbon

Kandungan Karbon (C) di atmosfer dalam senyawa CO_2 jumlahnya 0.03%. Karbon yang ada di atmosfer ini hanya dapat diikat oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{SM}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energi}$ dan unsur karbon (C) akan diikat dalam bentuk Karbohidrat ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Selanjutnya, karbon tersebut akan dilepaskan lagi oleh tumbuhan melalui proses respirasi kembali ke atmosfer:



Selanjutnya, karbon (C) dalam bentuk karbohidrat dari tumbuhan akan masuk ke dalam organisme herbivora (hewan, manusia) dalam proses makan memakan akan disimpan dalam bentuk lemak. Selanjutnya, akan dilepaskan lagi dalam proses respirasi kembali ke atmosfer dan sebagian lagi akan hilang melalui kotoran dan apabila organisme herbivora tersebut mati. Kotoran dan sisa organ yang mati itu akan didekomposisi kembali masuk ke dalam tanah. Begitu pula sebagian dari CO_2 yang terlarut ke dalam air akan dimanfaatkan oleh rumput laut dan ganggang menjadi karbohidrat. Sebagian dari karbon tersebut akan masuk ke tubuh ikan, rumput laut, ganggang, fitoplanktonnya dimakan oleh ikan. Sebagian dari karbon (C) juga akan kembali lagi ke atmosfer dalam proses penguapan dari laut. Selanjutnya, karbon yang berasal dari rumput laut, ikan dan ganggang yang mati akan masuk ke dasar laut, begitu juga yang masuk ke tanah. Karbon tersebut akan membentuk bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil ini (minyak tanah, premium, batu bara) akan digunakan untuk kebutuhan industri, seperti bahan bakar kendaraan bermotor dan melalui proses pembakaran kembali lagi ke atmosfer dalam bentuk senyawa CO_2 . Begitulah siklus terjadi terus-menerus seperti tersebut pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4
Siklus Karbon

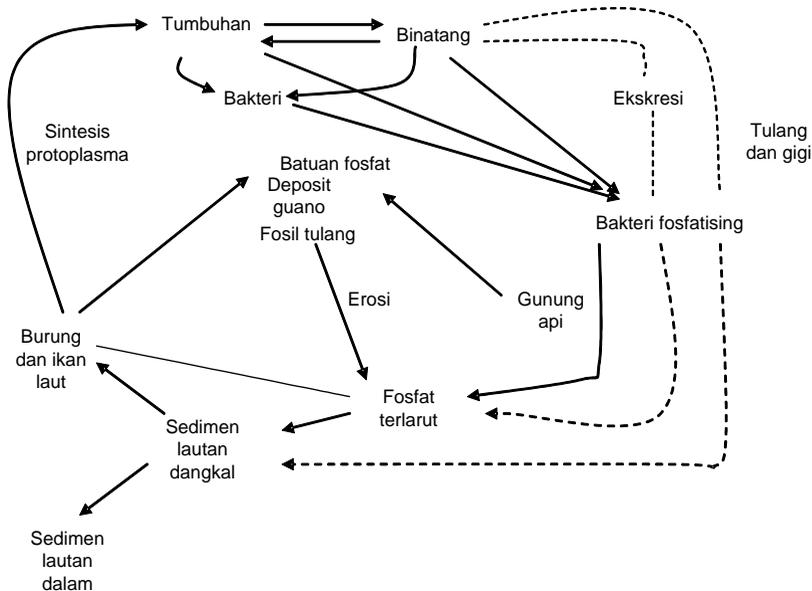
Seperti siklus nitrogen, siklus karbon (CO_2) adalah tipe gas. Karbon harus dalam bentuk gas (CO_2) untuk dapat dipergunakan oleh tanaman. Melalui proses fotosintesis gas ini diubah menjadi senyawa organik yang dapat dipergunakan oleh organisme lainnya sebagai pemberi karbon, dan karbon kembali lagi ke atmosfer atau air sebagai gas (CO_2) melalui proses metabolisme dari kehidupan organik.

3. Siklus Tipe Sedimen

a. Siklus Phosphor(P)

Merupakan salah satu contoh tipe sedimen, dibandingkan dengan siklus atau daur Nitrogen (N), daur phosphor lebih sederhana. Phosphor sebagai bagian penting dari protoplasma cenderung bersirkulasi melalui proses dekomposisi oleh bakteri, senyawa organik diuraikan menjadi phosphat di dalam tanah menjadi tersedia bagi tumbuhan. Sumber utama phosphor adalah batuan dan deposit lainnya yang telah terbentuk lama di dalam tanah. Melalui erosi tanah phosphor dilepaskan ke ekosistem dan sebagian lagi diendapkan dalam sedimen dangkal dan sebagian lagi masuk ke sedimen dalam. Banyaknya

phosphor yang hilang ke laut dalam tidak seimbang dengan yang kembali lagi ke dalam ekosistem, pengembalian phosphor dan unsur hara lain melalui burung-burung di dalam, seperti tempat burung laut bersarang di Guano dan daratan masih berlangsung tetapi secepat proses pencuciannya. Kegiatan pertanian yang dilakukan cenderung mempercepat hilangnya phosphor dari ekosistem pertanian, sehingga kalau hanya mengandalkan kepada daur/siklus phosphor alami cenderung tidak seimbang antara penggunaan dengan pengadaannya kembali ke ekosistem, karena itu para petani harus selalu melakukan pemupukan phosphor (P). Demikian pula halnya dengan mineral-mineral lain yang termasuk siklus tipe sedimen seperti sulfur (S), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Kalium (K).



Gambar 1.5
Siklus Phosphor (P)

C. HUKUM THERMODINAMIKA

Energi dinyatakan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berubah menjadi bentuk energi lain, antara lain menjadi energi panas, energi potensial, energi

kimia. Perlakuan energi di alam diatur oleh suatu Hukum Termodinamika, antara lain berikut ini.

1. Hukum Termodinamika I (Hukum Kekekalan Energi)

Energi dapat berubah bentuk dari bentuk yang satu menjadi bentuk lainnya, tetapi tidak pernah dapat hilang, dihancurkan atau diciptakan. (Energi cahaya → energi potensial → energi kimia → energi panas) Energi yang masuk ke dalam organisme, populasi, komunitas ataupun ekosistem dapat dianggap sebagai energi yang tersimpan atau terlepas.

Contoh:

Energi matahari yang berupa *energi cahaya* yang sampai ke permukaan bumi (tanah dan vegetasi/tumbuhan) sebagian besar akan dipantulkan atau dilepaskan lagi ke atmosfer sebagai *energi panas*, sebagian kecil digunakan dalam proses fotosintesis sebagai energi kimia dan akan disimpan dalam bentuk *energi potensial* di dalam karbohidrat sebagai hasil proses fotosintesis.

2 Hukum Termodinamika II

Tidak ada sistem perubahan energi yang betul-betul efisien. Setiap terjadi perubahan energi, pasti terjadi degradasi energi.

Contoh:

Energi matahari yang jatuh ke bumi, digunakan oleh tumbuhan hanya ± 1 persen saja, yang lainnya akan masuk ke dalam tanah, dan dipantulkan lagi ke atmosfer. Selanjutnya energi yang tersimpan di dalam tumbuhan sebagai hasil fotosintesis, yang akan tersimpan di dalam tubuh herbivora yang memakan tumbuhan akan lebih kecil lagi. Hal ini seperti ditunjukkan pada Tabel 1.1 sistem aliran energi dalam ekosistem daratan.

Tabel 1.1
Aliran Energi dalam Ekosistem Daratan

Komponen Ekosistem	Jumlah energi (λ) (kalori)	Respirasi (Ri) (kalori)	Ri/a. Per hektar	Efisiensi per tahun
Matahari	47.1×10^9 (energi matahari yang tiba di bumi)			
Vegetasi	58.3×10^6	8.76×10^6	0.150	0.012
Herbivora	250×10^3	170×10^3	0.680	0.004
Karnivora	5824	5434	0.933	0.023

Sumber: Haeruman, 1979

D. RANTAI MAKANAN

Pada rantai makanan dalam suatu ekosistem, organisme yang ada di dalam ekosistem tersebut dikelompokkan ke dalam beberapa tingkatan berdasarkan fungsinya antara lain Produsen, Konsumen (tingkat I, II, III, dan seterusnya atau herbivora, karnivora tingkat I, II, III, top karnivora), dekomposer atau mikroorganisme pengurai. Masing-masing kelompok ini mempunyai jarak transfer makanan tertentu dari sumber energi yang masuk ke ekosistem.

Produsen merupakan organisme yang dapat membentuk bahan organik dari CO₂ dan air dengan bantuan energi matahari dalam proses fotosintesis. Termasuk produsen adalah tumbuhan yang berklorofil (berhijau daun).

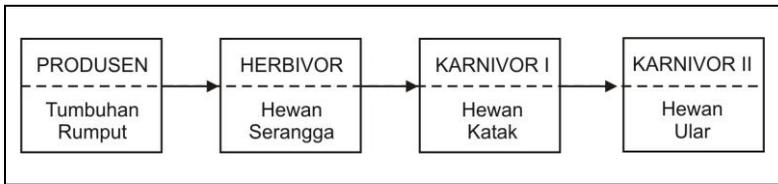
Konsumen merupakan organisme yang menggunakan bahan organik yang telah dibentuk oleh produsen untuk makanannya. Termasuk konsumen adalah organisme yang tidak bisa membuat makanannya sendiri, dan bukan tumbuhan (hewan, manusia, mikroorganisme).

Dekomposer merupakan organisme yang dapat menguraikan sampah organik yang berasal dari produsen dan konsumen melalui proses humifikasi dan mineralisasi menjadi bahan mineral, termasuk dekomposer adalah mikroorganisme tanah.

Masing-masing kelompok organisme yang mempunyai jarak transfer makanan dari sumber energi menempati suatu tingkatan transfer tertentu, sebagai berikut.

1. Tingkat Trofik 1: Produsen berupa tumbuhan.
2. Tingkat Trofik 2: Herbivora berupa hewan.
3. Tingkat Trofik 3: Karnivora berupa hewan yang memakan hewan herbivora.
4. Tingkat Trofik 4: Karnivora berupa hewan yang memakan hewan tingkat trofik 3.

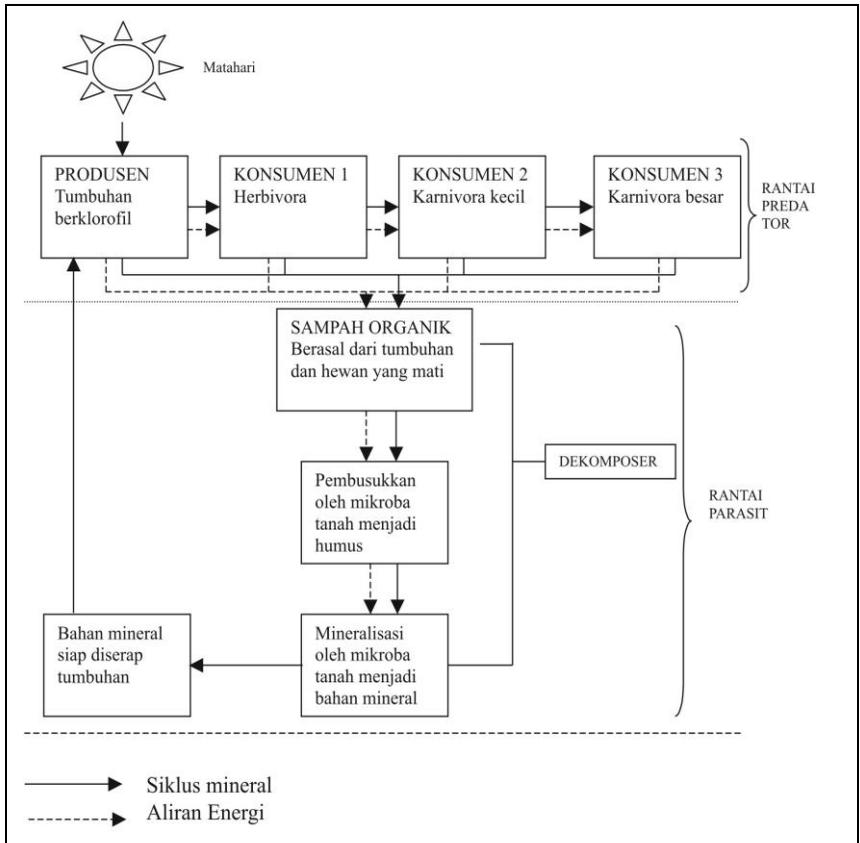
Rantai makanan secara sederhana dapat digambarkan seperti tersebut pada Gambar 1.5 hal tersebut secara kuantitatif sudah tergambarkan dalam Tabel 1.1



Gambar 1.5
Aliran Makanan di Ekosistem

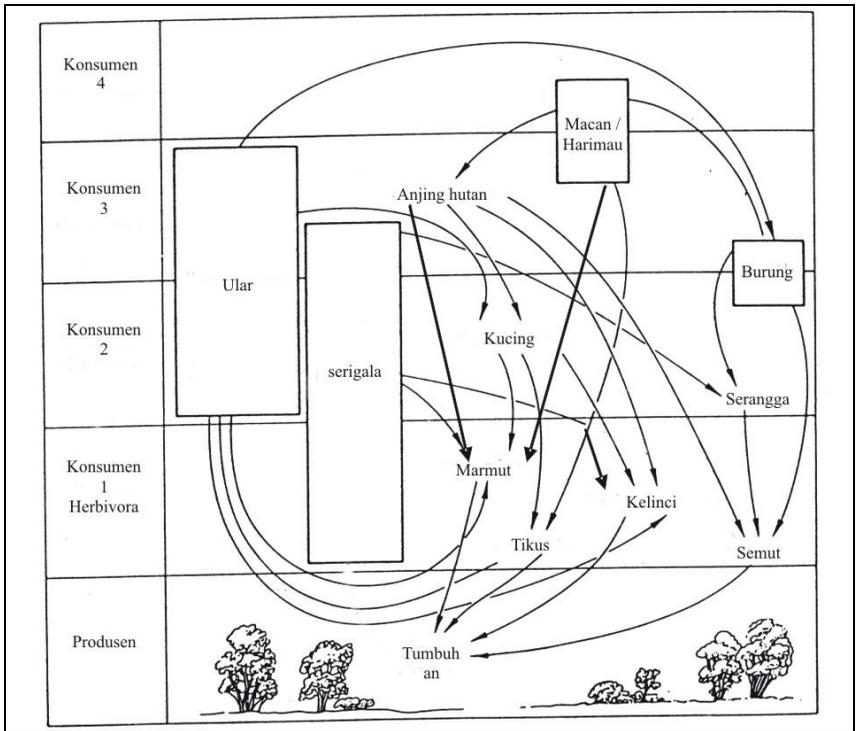
Konsep rantai makanan biasanya dapat digunakan untuk membahas aliran energi dan siklus mineral yang ada di dalam suatu ekosistem seperti tersebut pada Gambar 1.6. Aliran energi dan mineral tersebut sebagai suatu proses perpindahan energi dan mineral dari komponen ekosistem berdasarkan fungsinya sebagai *Produsen*, *Konsumen* dan *Dekomposer*.

Energi matahari akan masuk ke dalam tumbuhan sebagai produsen untuk membuat bahan organik berupa karbohidrat melalui proses fotosintesis. Bahan organik tumbuhan akan dimakan oleh hewan herbivora sebagai konsumen 1 yang selanjutnya herbivora akan dimakan oleh karnivora 2 dan karnivora 2 akan dimakan oleh karnivora 3 dan seterusnya. Selanjutnya, proses aliran makanan akan terjadi mulai sampah organik yang dihasilkan atau produsen, konsumennya mati, akan dihancurkan oleh mikroba tanah sebagai dekomposer menjadi bahan mineral yang akan diambil lagi oleh akar tumbuhan dari dalam tanah, disebut sebagai rantai pangan parasit atau dekomposer. Selanjutnya, bahan mineral yang sudah tersedia di dalam tanah tersebut akan diserap oleh akar tumbuhan untuk digunakan kembali sebagai bahan baku untuk membuat bahan organik berupa karbohidrat dengan bantuan sinar matahari. Proses siklus mineral ini akan terus berlangsung secara terus-menerus seperti itu di dalam suatu ekosistem.



Gambar 1.6
Aliran Energi dan Siklus Mineral yang Ada dalam Suatu Ekosistem

Selanjutnya, dalam rantai makanan di dalam ekosistem, tidak sesederhana seperti yang digambarkan dalam Gambar 1.5. Hal yang terjadi di dalam suatu ekosistem, rantai makanan yang ada biasanya merupakan hubungan saling makan yang lebih kompleks. Hubungan saling makan tersebut akan membentuk suatu jaringan makanan (*Food Web*), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.7.



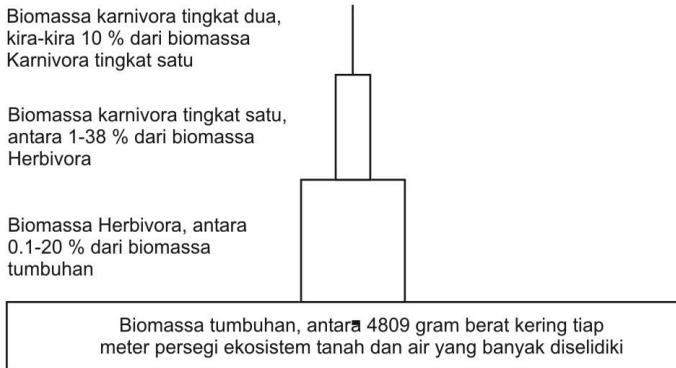
Gambar 1.7
Jaring-jaring Makanan dalam Ekosistem Daratan

E. PIRAMIDA EKOLOGI

Kalau biomassa dari setiap trofik dinyatakan dalam perbandingan luas, yang disusun mulai dari tumbuhan sebagai produsen di tempat paling bawah, dan tingkatan trofik yang lebih tinggi berada di atasnya konsumen sampai ke top konsumen maka akan terbentuklah sebuah piramida yang disebut *piramida ekologi*. Ada 2 macam *piramida ekologi* yaitu piramida makanan (piramida jumlah dan biomassa) serta piramida energi. Gambar 1.8 merupakan piramida makanan yang merupakan salah satu dari piramida ekologi.

Dalam piramida makanan tersebut terlihat bahwa aliran energi tidak berupa siklus, hal ini sesuai dengan hukum Thermodynamika II bahwa tidak ada sistem

perubahan energi yang efisien. Sedangkan untuk bahan mineral merupakan suatu siklus.

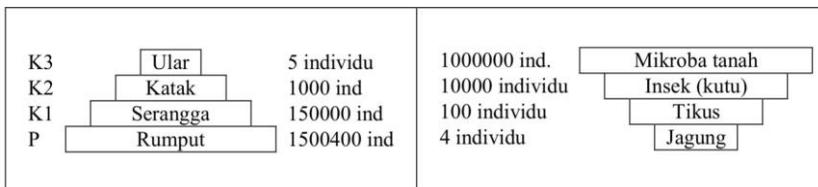


Gambar 1.8
Piramida Makanan dalam Sebuah Ekosistem

1. Piramida Jumlah

Di dalam rantai makanan predator, jumlah individu-individu sebagai produser paling banyak dibandingkan dengan tingkat herbivora dan yang paling sedikit di tingkat karnivora. Konsep piramida jumlah ini dikemukakan oleh ahli ekologi dari Inggris Charles Elton pada tahun 1927. Sedangkan dalam rantai makanan parasit, jumlah individu sebagai produser paling sedikit dibandingkan dengan tingkat herbivora dan yang paling banyak jumlah individunya adalah tingkat dekomposer.

Piramida jumlah pada rantai makanan predator dan parasit seperti tersebut pada Gambar 1.9 (a) dan 1.9 (b).



(a) rantai pangan predator

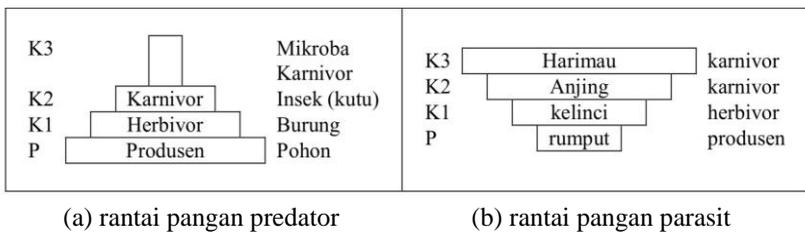
(b) rantai pangan parasit

Gambar 1.9
Piramida Jumlah dalam Rantai Pangan Predator dan Parasit

2. Piramida Biomassa

Piramida biomassa, pada hakikatnya sama dengan piramida jumlah. Di dalam rantai pangan untuk organisme produser biomassa dapat lebih besar atau lebih kecil dari tingkat tropik herbivora ataupun karnivora. Hal tersebut sangat tergantung kepada jenis rantai pangannya.

Pada rantai pangan predator, biomassa produser lebih besar dari herbivora dan karnivora. Sedangkan pada rantai pangan parasit, biomassa produsernya lebih kecil dari herbivora dan karnivora. Hal ini seperti terlihat pada Gambar 1.10 (a) dan 1.10 (b).

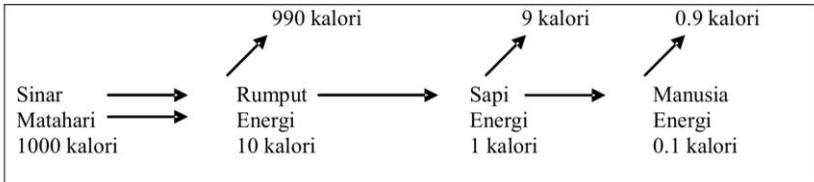


Gambar 1.10
Piramida Biomassa dalam Rantai Pangan Predator dan Parasit

3. Piramida Energi

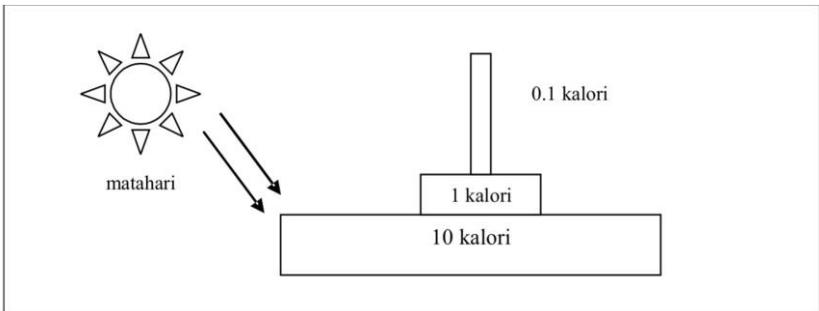
Semua organisme di dalam proses kehidupannya untuk melakukan kerja, memerlukan energi. Semua organisme juga memerlukan energi untuk melakukan respirasi, sekresi, bergerak, pertumbuhan dan reproduksi. Berbeda dengan bahan mineral, energi tidak dapat melakukan siklus, tetapi kontinu sebagai aliran energi dari sinar matahari ke tingkat produser, konsumen dan dekomposer di dalam suatu ekosistem. Pemanfaatan energi dari sumbernya ke produser dan konsumen tidak ada yang efisien, tetapi akan terjadi degradasi energi. Hal ini sesuai dengan Hukum Thermodynamika II. Oleh karena itu, di dalam piramida energi bentuk piramidanya tidak bisa terbalik, berbeda dengan piramida jumlah dan piramida biomassa yang merupakan rantai atau siklus makanan. Sebagai contoh energi yang ada di dalam suatu ekosistem yang berasal dari cahaya matahari 1000 kalori, yang dimanfaatkan oleh rumput hanya 10 kalori, sedangkan sisanya, 990 kalori akan kembali ke atmosfer pada saat respirasi. Selanjutnya dari rumput, jumlah energi yang dimanfaatkan oleh sapi hanya 1 kalori, sisanya 9 kalori dilepaskan oleh sapi pada saat respirasi dan dalam bentuk sampah organik berupa kotoran sapi. Selanjutnya, sapi tersebut

dimakan oleh manusia dan jumlah energi yang dimanfaatkan oleh manusia sampai dalam tubuh hanya 0,1 kalori, yang sisanya dilepaskan pada saat manusia melakukan respirasi kembali ke atmosfer dan ke luar menjadi sampah organik sebagai kotoran dan urine.



Gambar 1.11
Diagram Aliran Energi

Aliran energi dalam suatu ekosistem tersebut dapat digambarkan dalam bentuk piramida energi seperti pada Gambar 1.12.



Gambar 1.12
Piramida Energi

F. HUKUM TOLERANSI

Faktor lingkungan abiotik dan biotik dapat mempengaruhi proses pertumbuhan, reproduksi, kematian dari suatu organisme. Konsep "faktor pembatas" pada tahun 1840 dikemukakan oleh Justus Liebig, seorang ahli biokimia dari Jerman. Beliau menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman sering kali terganggu dan dibatasi atau mengalami defisiensi oleh unsur yang secara alami jumlahnya terbatas atau minimum ada di dalam tanah, seperti seng (Zn),

Cobalt (Co), Mangan (Mn) dan Cuprum/Tembaga (Cu). Unsur-unsur tersebut diketahui menjadi unsur terpenting karena sangat mempengaruhi kehidupan tanaman dan hewan walaupun yang dibutuhkan hanya dalam jumlah yang kecil atau minimum. Selanjutnya pernyataan Liebig ini dikenal sebagai "Hukum Minimum". Hukum minimum Liebig hanya merupakan salah satu aspek dari konsep faktor pembatas yang merupakan kontrol faktor lingkungan terhadap organisme.

Tanaman untuk tumbuh baik, membutuhkan sejumlah unsur mineral tertentu, bila salah satu unsur tersebut di dalam tanah terbatas jumlahnya atau tidak tersedia maka pertumbuhan tanaman akan terganggu atau terhambat. *Contoh:* Unsur N di dalam tanah merupakan unsur yang paling tidak tersedia di dalam tanah. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi tidak baik. Kemudian, dilakukan pemupukan N dan tanaman tumbuhnya menjadi baik dan hasil produksinya meningkat. Unsur N di sini dapat diketahui sebagai faktor pembatas.

Selain batas minimum, juga terdapat batas maksimum. Suatu unsur kalau terdapat dalam jumlah yang melebihi yang dibutuhkan oleh suatu organisme juga akan menghambat pertumbuhan atau kehidupan organisme. Contohnya, pemberian pupuk N yang melebihi batas maksimum kebutuhan tanaman, justru akan menurunkan atau menghambat pertumbuhan tanaman sendiri. Pemberian N yang berlebihan dapat mempengaruhi struktur tanah sehingga pertumbuhan akar tanaman terganggu dan fungsinya untuk menyerap unsur hara menjadi menurun. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi terhambat dan terganggu.

Konsep faktor pembatas minimum dan maksimum ini dikemukakan oleh Victor Shelford pada tahun 1913 dan dikenal sebagai *Hukum Toleransi*. Beberapa hal penting yang dikemukakan dalam Hukum Toleransi menurut Shelford, antara lain berikut ini.

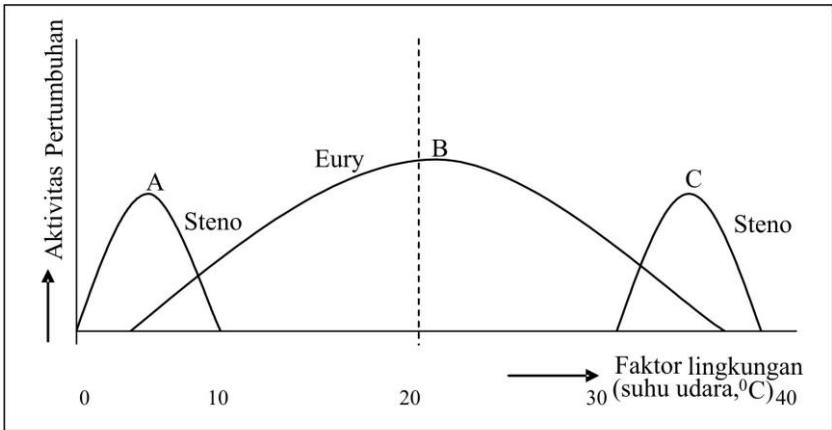
1. Suatu organisme dapat mempunyai kisaran toleransi yang luas untuk satu faktor lingkungan dan sempit untuk faktor lingkungan lainnya.
2. Organisme yang memiliki kisaran toleransi yang luas untuk semua faktor lingkungan, akan cenderung menyebar atau tersebar luas.
3. Bila keadaan optimum faktor lingkungan oleh suatu organisme tidak tercapai maka batas toleransi terhadap faktor lingkungan lainnya dapat menyempit. *Contoh:* penelitian yang dilakukan Penman tahun 1956 menyebutkan bahwa apabila jumlah N di dalam tanah sangat terbatas, padahal N diperlukan banyak (unsur hara makro) oleh tanaman rumput *Paspalum sp* maka daya tahan rumput *Paspalum sp* terhadap kekeringan

menjadi menurun, dan air banyak dibutuhkan oleh rumput *Paspalum sp* untuk mencegah kekeringan pada kondisi tanah yang kandungan N-nya rendah. Pada kondisi dimana kandungan N di dalam tanah cukup memadai, tanaman rumput *Paspalum sp* lebih tahan kekeringan dan tidak membutuhkan banyak air.

4. Periode reproduksi dari suatu organisme biasanya merupakan periode kritis, jika keadaan faktor lingkungan berada dalam keadaan yang terbatas.

Dalam hukum toleransi untuk menyatakan batas toleransi terhadap faktor lingkungan oleh suatu organisme menggunakan istilah "STENO TOLERAN" yang berarti toleransinya sempit dan "EURY TOLERAN", yang berarti toleransinya luas atau lebar.

Pada tumbuhan yang mempunyai batas-batas toleransi *steno*, titik-titik minimum, optimum dan maksimum dari faktor-faktor lingkungan letaknya berdekatan. Sedangkan pada tumbuhan yang mempunyai batas toleransi *eury*, letak titik-titik minimum, optimum dan maksimum dari faktor lingkungan letaknya berjauhan sehingga perubahan yang sedikit saja dari faktor lingkungan untuk jenis yang *eury toleran* dapat menjadi kritis bagi jenis yang *steno toleran*. Setiap faktor lingkungan yang berada pada kondisi minimum dan maksimum atau melampaui batas toleransi disebut sebagai *faktor pembatas*. Secara diagram, jenis *steno toleran* dan *eury toleran* seperti tersebut pada Gambar 1.13.



Keterangan:

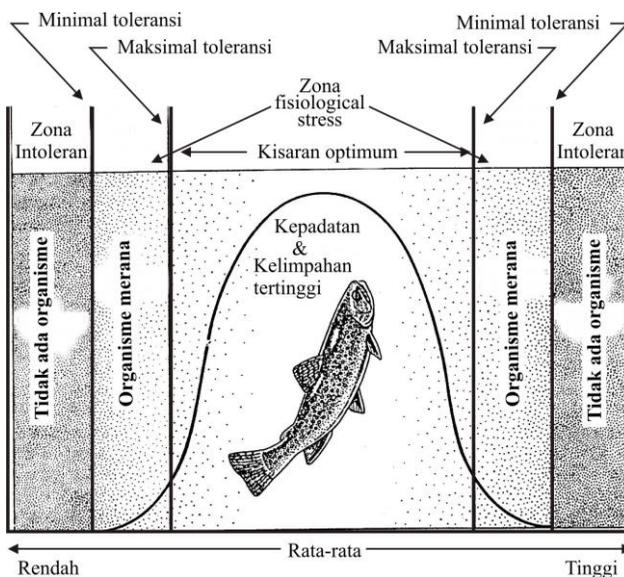
Jenis A mempunyai toleransi sempit terhadap suhu, berada pada suhu rendah.

Jenis B mempunyai toleransi luas terhadap suhu.

Jenis C mempunyai toleransi sempit terhadap suhu, berada pada suhu tinggi.

Gambar 1.13
Perbandingan antara Jenis yang Steno Toleran dan Eury Toleran terhadap Suhu Udara (°C)

Batas toleransi dari suatu organisme hewan (ikan) terhadap faktor lingkungan seperti tersebut pada Gambar 1.14. Pada kondisi faktor lingkungan optimum, populasi ikan tinggi, tetapi pada kondisi faktor lingkungan berada pada titik minimum dan maksimum maka tidak ada populasi ikan. Pada kondisi faktor lingkungan berada pada titik optimum rendah sampai minimal toleransi dan titik optimum atas sampai maksimal toleransi, kelimpahan populasi sangat rendah dan menuju ke kematian. Sedangkan di bawah titik-titik minimal toleransi dan di atas titik maksimal toleransi atau termasuk di dalam zona intoleran, populasi dari organisme ikan tersebut sudah punah.



Gambar 1.14
Kisaran Toleransi Organisme (Ikan) terhadap Faktor Lingkungan

G. SUKSESI BIOLOGI

Suksesi biologi merupakan suatu perubahan atau perkembangan vegetasi atau komunitas tumbuhan pada suatu areal atau tempat secara bertahap. Odum (1973) mengemukakan bahwa suksesi sebagai suatu proses perkembangan dari komunitas tumbuhan dalam suatu tempat secara bertahap yang menuju kepada keadaan 'klimaks'.

Pada saat proses suksesi berlangsung, pada waktu awal dimulai oleh jenis yang pionir, kemudian digantikan oleh komunitas tumbuhan yang lebih dewasa dan seterusnya sampai pada komunitas yang relatif stabil dan berada dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungannya.

Tahapan perubahan komunitas tumbuhan yang terbentuk pada keadaan atau kondisi tertentu disebut "Sere". Komunitas tumbuhan yang sudah mantap dan mencapai kemantapan struktur dan fungsinya serta dalam keadaan keseimbangan yang dinamis disebut "Klimaks".

1. Suksesi Primer

Proses suksesi biologi yang terjadi pada suatu tempat yang sebelumnya tidak ada komunitas tumbuhan sama sekali dan proses suksesinya berjalan lambat.

Contohnya, Suksesi yang terjadi pada daerah bekas endapan lava yang membeku, delta yang baru terbentuk, danau baru atau pada areal yang sama sekali tidak ada organisme (mikroorganisme, tumbuhan, hewan).

2. Suksesi Sekunder

Proses suksesi yang terjadi pada suatu areal yang sebelumnya sudah ada komunitas tumbuhan, tetapi karena satu dan lain hal, seperti kebakaran, pembukaan areal, banjir yang menyebabkan komunitas tumbuhan asal musnah dan dari areal tersebut terjadi proses perkembangan komunitas tumbuhan dapat berjalan lebih cepat.

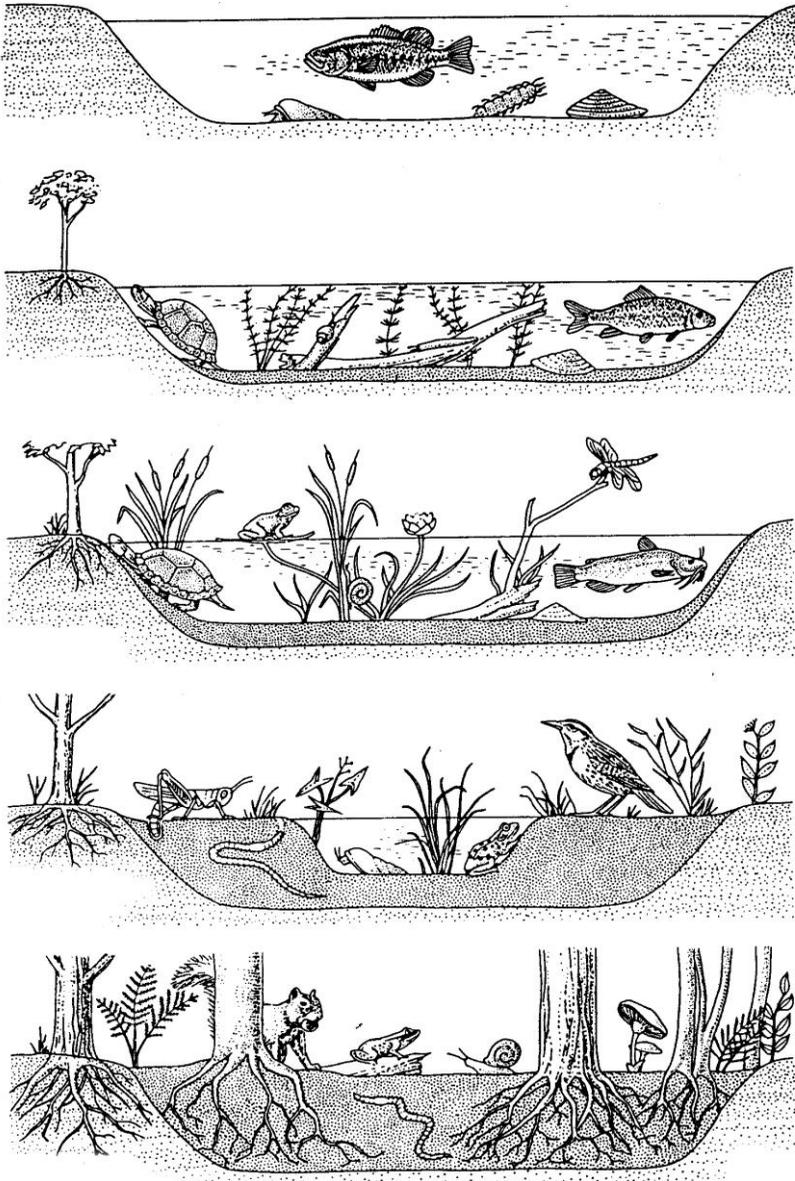
Contohnya, Suksesi yang terjadi pada areal bekas hutan yang terbakar; pada areal danau yang mengalami proses sedimentasi dan kekeringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.15. Pada saat awal, air danau masih jernih, dasar danau terlihat, bahan organik yang ada sedikit, sinar matahari dapat menembus sampai dalam. Keadaan danau kaya O₂, kaya bahan makanan untuk organisme yang ada di danau (ikan, kerang dan sebagainya), kondisi danau "Oligotrofi" atau danau yang miskin hara. Lama kelamaan di dalam danau tersebut terjadi peningkatan aktivitas biologi, bahan organik menjadi banyak dan tertimbun di dasar danau. Air danau mulai keruh, jenis tumbuhan mulai tumbuh di dasar danau, tetapi belum muncul ke permukaan danau (*submerged vegetation*). Sinar matahari tidak dapat tembus sampai ke dasar danau, kandungan O₂ mulai berkurang. Bahan organik yang mengendap ke dasar danau semakin banyak. Danau oligotrofi berubah menjadi danau "Mesotrofi". Selanjutnya proses pengendapan bahan organik terus berlangsung. Hal yang paling cepat, bagian danau yang ada di tepi. Aktivitas biologi semakin tinggi, danau mulai ditumbuhi oleh tumbuhan yang sebagian dari organnya muncul ke permukaan dan akhirnya ada di dasar danau (*emerging vegetation*). Dasar danau semakin dangkal, air danau sangat keruh, sinar matahari hanya dapat tembus sampai 1-2 meter dari permukaan danau maka danau mesotrofi mulai berubah menjadi danau "Eutrofi". Semakin lama danau semakin dangkal, dan sebagian dari danau telah ditumbuhi oleh rumput-rumputan dan gelagah, proses pendangkalan danau semakin cepat sehingga luasan areal danau yang menampung air menjadi berkurang dan sebagian lagi sudah menjadi daratan. Kondisi danau Eutrofi

menjadi berubah ke danau "Distrofi". Selanjutnya, lama kelamaan danau ini menjadi daratan. Selanjutnya, proses suksesi yang berlangsung di danau tersebut perkembangannya menuju ke arah Klimaks dan pada kondisi Klimaks yang terjadi adalah vegetasi hutan.

3. Tipe Suksesi

Berdasarkan kepada habitat atau kondisi awal di mana terjadinya, suksesi biologi dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, antara lain berikut ini.

- a. *Hydrosere*, yaitu proses suksesi biologi yang berlangsung di daerah perairan tawar. *Contoh*: Suksesi yang terjadi di danau, kolam.
- b. *Holosere*, yaitu proses suksesi biologi yang berlangsung di daerah perairan air asin. *Contoh*: Suksesi yang terjadi di tepi pantai.



Gambar 1.15
Suksesi Sekunder di Ekosistem Danau

- c. *Xerosere*, yaitu proses suksesi biologi yang berlangsung pada daerah daratan kering (*terrestrial*).
- 1) *Psammosere*, yaitu proses suksesi biologi yang berlangsung di daerah dataran pasir.
 - 2) *Lithosere*, yaitu proses suksesi yang berlangsung di daerah bebatuan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan kenapa ilmu ekologi dapat dianggap sebagai dasar dalam Kegiatan Konservasi SDA dan Lingkungan!
- 2) Apa yang dimaksud dengan tingkatan biologi yang dipelajari dalam ekologi?
- 3) Apa yang dimaksud dengan istilah-istilah berikut.
 - a) Populasi
 - b) Komunitas
 - c) Ekosistem
 - d) Ekologi
- 4) Apa yang disebut dengan "Struktur dan Fungsi" dalam suatu ekosistem danau? Jelaskan dengan rinci!
- 5) Apa yang dimaksud dengan siklus Biogeokimia? Berikan contoh: untuk siklus Nitrogen dan Karbon!
- 6) Apa yang dimaksud dengan istilah-istilah:
 - a) Energi
 - b) Hukum Termodinamika I
 - c) Hukum Termodinamika II
- 7) Jelaskan tentang rantai makanan yang ada di dalam ekosistem terrestrial! Apa yang dimaksud dengan Produsen, Herbivora, Karnivora dan Top Karnivora, Konsumen, Dekomposer?
- 8) Apa perbedaan antara rantai makanan dan jaring-jaring makanan? Uraikan jaring-jaring makanan dalam suatu ekosistem daratan!
- 9) Apa yang dimaksud dengan piramida ekologi, piramida jumlah, piramida biomassa dan piramida energi?
- 10) Kenapa piramida jumlah dan biomassa, bentuknya bisa tegak atau terbalik, tetapi piramida energi tidak bisa terbalik?

- 11) Apakah yang dimaksud dengan efisiensi energi? Bagaimana menentukan efisiensi penggunaan energi?
- 12) Apakah yang dimaksud dengan Hukum Minimum dan Hukum Toleransi?
- 13) Jelaskan mengenai Steno Toleran dan Eury Toleran, untuk tumbuhan dengan tipe toleransi yang mana yang menyebabkan jenis tumbuhan itu bersifat Kosmopolit (dapat menyebar ke semua arah)!
- 14) Apa yang dimaksud dengan istilah-istilah di bawah ini
 - a) Suksesi
 - b) Suksesi Primer
 - c) Suksesi Sekunder
 - d) Klimaks
 - e) Oligotrofi
 - f) Mesotrofi
 - g) Eutrofi
 - h) Distrofi

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda baca lagi bagaimana peran ekologi dalam konservasi SDA dan lingkungan!
- 2) Coba Anda lihat lagi Gambar 1.1 dan penjelasannya!
- 3) Coba Anda baca lagi pengertian dari masing-masing istilah tersebut!
- 4) Anda harus membaca lagi pengertian ekologi yang dikemukakan oleh Odum (1971)!
- 5) Anda harus membaca lagi definisi dari siklus biogeokimia dan lihat kembali untuk siklus N dan C!
- 6) Anda harus membaca lagi pengertian energi, Hukum Thermodynamika I dan II!
- 7) Anda harus membuka dan membaca lagi istilah-istilah yang ada dalam rantai makanan!
- 8) Anda dapat melihat lagi istilah rantai makanan dan jaring-jaring makanan!
- 9) Anda harus membaca hal yang berhubungan dengan piramida ekologi tersebut!
- 10) Anda harus mengerti dan memahami bentuk-bentuk piramida serta dihubungkan dengan Hukum Thermodynamika!
- 11) Anda harus mengetahui bahwa yang dimaksud dengan efisiensi, merupakan perbandingan dari energi yang disimpan dengan energi yang masuk ke dalam organisme, populasi dan komunitas tersebut!
- 12) Anda harus membaca lagi hal yang berhubungan dengan istilah Hukum Minimum dan Hukum Toleransi!
- 13) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda dapat melihat bagian bacaan yang membahas Teori Toleransi!

- 14) Untuk dapat menjawab istilah-istilah dalam pertanyaan ini, Anda dapat melihat bagian yang berhubungan dengan suksesi biologi!



RANGKUMAN

Ekologi sebagai ilmu yang mempelajari hubungan keterkaitan timbal-balik antara organisme dengan organisme lain dan antarorganisme dengan lingkungannya.

Cakupan tingkatan organisasi biologi yang dipelajari dalam ekologi, antara lain Populasi, Komunitas, dan Ekosistem. Menurut Odum (1971), ekologi sebagai ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi dari suatu ekosistem. Prinsip-prinsip ekologi yang sering digunakan dalam pengelolaan Kegiatan Konservasi SDA dan Lingkungan antara lain Siklus Biogeokimia, Hukum Termodinamika, Rantai Makanan, Piramida Ekologi, Hukum Toleransi dan Suksesi Biologi.

Berdasarkan sumbernya dalam siklus biogeokimia dapat dibagi ke dalam 2 tipe, yaitu (a) tipe gas dan (b) tipe sedimen. Tipe gas dimana sumber unsur biogeokimia yang utama ada di udara (atmosfer) dan tipe sedimen dimana sumber unsur biogeokimia berasal dari batuan bumi (lithosfer).

Energi dinyatakan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja.

Hukum Termodinamika 1

Energi yang masuk ke organisme, populasi atau ekosistem dapat dianggap sebagai energi tersimpan atau terlepaskan. Energi dapat berubah bentuk dari bentuk yang satu menjadi bentuk lainnya, tetapi tidak pernah dapat hilang, dihancurkan atau diciptakan.

Hukum Termodinamika II

Tidak ada sistem perubahan energi yang betul-betul efisien. Setiap terjadi perubahan energi, pasti terjadi degradasi energi dari yang terpusat ke terpencair atau tersebar.

Pada rantai makanan dalam suatu ekosistem, organisme yang ada ditetapkan berdasarkan tingkatannya, fungsinya sebagai produsen, herbivora dan karnivora serta dekomposer.

Produsen merupakan organisme yang dapat membentuk bahan organik dari air dan CO₂ dengan bantuan energi matahari dalam proses fotosintesis. Konsumen merupakan organisme yang menggunakan bahan organik yang telah dibentuk oleh produsen untuk makanannya dan konsumen tidak bisa membuat makanan sendiri.

Dekomposer adalah organisme yang dapat menguraikan sampah organik yang dihasilkan produsen dan konsumen.

Kalau biomassa dari setiap trofik, dinyatakan dalam perbandingan luas yang disusun mulai dari tumbuhan sebagai produsen di tempat paling bawah dan tingkat trofik yang lebih tinggi berada di atasnya, konsumen sampai top konsumen maka terbentuklah piramida trofik yang disebut piramida ekologi. Piramida ekologi terdiri dari dua macam, yaitu piramida makanan (jumlah dan biomassa) dan piramida energi.

Hukum minimum Liebig menerangkan bahwa pertumbuhan tanaman sering kali diganggu dan dibatasi atau mengalami defisiensi oleh unsur yang secara alam jumlahnya terbatas atau minimum di dalam tanah.

Rangkuman yang lain dari Prinsip-prinsip Ekologi, harusnya sudah Anda pelajari di dalam Modul *Ekologi* sehingga tidak akan dijelaskan lebih lanjut dalam rangkuman ini.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Ilmu yang mempelajari hubungan keterkaitan antarorganisme yang satu dengan organisme lainnya dan organisme dengan lingkungan disebut
 - A. ekologi
 - B. biologi
 - C. sosiologi
 - D. histologi

- 2) Dalam ekologi, tingkatan organisasi biologi yang dipelajari
 - A. atom, molekul, sel
 - B. jaringan, organ, sistem organ
 - C. organisme, populasi, komunitas
 - D. populasi, komunitas, ekosistem

- 3) Termasuk ke dalam siklus Biogeokimia tipe gas adalah
 - A. siklus Ca; N; P
 - B. siklus H₂O; P; K
 - C. siklus H₂O; N;
 - D. siklus Ca; N; H₂O

- 4) Hal yang dimaksud dengan Hukum Kekekalan Energi adalah hukum
 - A. Termodinamika 1
 - B. Toleransi

- C. Termodinamika II
 - D. Minimum
- 5) Organisme yang tidak dapat membuat makanan sendiri, tetapi menggunakan bahan organik yang telah dibentuk oleh organisme lain untuk makanannya disebut
- A. produsen
 - B. konsumen
 - C. predator
 - D. parasit
- 6) Mikroorganisme dekomposer mempunyai peran yang sangat penting di dalam rantai pangan
- A. predator
 - B. parasit
 - C. produsen
 - D. konsumen
- 7) Piramida ekologi yang posisinya harus tegak dan tidak terbalik adalah piramida
- A. jumlah
 - B. biomassa
 - C. energi
 - D. penduduk
- 8) Orang yang mengemukakan *Teori Toleransi Faktor-faktor Lingkungan* adalah
- A. V. Shelford
 - B. Liebig
 - C. Odum
 - D. Penman
- 9) Tumbuhan yang mempunyai sifat steno toleran kalau titik minimum, optimum dan maksimum dari faktor-faktor lingkungan tersebut letaknya
- A. berdekatan
 - B. berjauhan
 - C. tidak beda
 - D. tidak tampak

- 10) Proses perkembangan suatu vegetasi atau komunitas tumbuhan pada suatu areal atau tempat secara bertahap disebut
- A. klimaks
 - B. sere
 - C. suksesi
 - D. pionir

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Pertumbuhan populasi manusia terlalu cepat; pencemaran lingkungan; konsumsi SDA berlebihan; penurunan dan perusakan sumber daya tanah.
- 2) A. CO, SO_x, NO_x.
- 3) C. Ekosistem.
- 4) B. Sumber Daya Alam Hayati.
- 5) C. Sumber Daya Alam Buatan.
- 6) A. Theodore Roosevelt.
- 7) C. Periode III.
- 8) C. 19.
- 9) B. Koorders.
- 10) B. UU No. 5 Tahun 1990.

Tes Formatif 2

- 1) A. Ekologi.
- 2) D. Populasi, komunitas, ekosistem.
- 3) C. H₂O; N; C.
- 4) A. Hk. Termodinamika I.
- 5) B. Konsumen.
- 6) B. Parasit.
- 7) C. Piramida energi.
- 8) A. V. Shelford.
- 9) A. Berdekatan.
- 10) C. Sukses.

Daftar Pustaka

- Alikodra, H.A. (1990). *Pengelolaan Satwa Liar*.
- Haeruman, H. (1979). *Perencanaan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Sekolah Pasca Sarjana, IPB.
- Meffe, B. K and R. C. Carrol. (1994). *Principles of Conservation Biology*.
- Owen, S. O. (1980). *Natural Resources Conservation, an Ecological Approach. Third Edition*. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.
- Peggy, L. F and S. K. Jain. (1992). *Conservation Biology, the Theory and Practice of Nature Conservation Preservation And Management*.
- Seta, A. K. (1987). *Konservasi Sumber daya Tanah dan Air*.
- Setiadi, D. (1997). *Pengantar Konservasi Sumber daya Alam dan Lingkungan (Diktat Kuliah)*. Laboratorium Ekologi, Departemen Biologi FMIPA, Bogor.
- Soeriaatmadja, R. E. (1977). *Ilmu Lingkungan*. Bandung: ITB.

Konservasi Sumber Daya Air

Dr. Ir. Sulistijorini, M.Si.



PENDAHULUAN

Modul kedua ini bertujuan memberikan pengetahuan dasar mengenai berbagai macam sumber daya air serta konservasi sumber daya air. Dengan demikian, modul ini memberikan kepada Anda pengetahuan mengenai kegunaan air, berbagai macam sumber daya air, siklus hidrologi, penyebab kerusakan sumber daya air, pencemaran air, analisis pencemaran air, dan upaya konservasi sumber daya air. Modul ini kami sajikan dalam dua kegiatan belajar, yaitu sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1, membahas Sumber Daya Air.

Kegiatan Belajar 2, membahas Konservasi Sumber Daya Air.

Setelah mempelajari modul ini, Anda akan dapat menjelaskan mengenai sumber daya air dan konservasi sumber daya air.

Secara lebih terperinci, setelah mempelajari modul ini Anda akan dapat:

1. menjelaskan berbagai macam sumber daya air;
2. menjelaskan penyebab kerusakan sumber daya air;
3. menjelaskan pencemaran air;
4. menganalisis terjadinya pencemaran air;
5. menjelaskan upaya konservasi sumber daya air.

Agar semua tujuan tersebut dapat tercapai, Anda diharapkan mempelajari modul ini dengan saksama dan mengerjakan setiap latihan dan tes formatif untuk setiap kegiatan belajarnya.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Sumber Daya Air

A. UMUM

Hidrosfir adalah lingkungan air. Sebagian besar permukaan bumi merupakan lingkungan air (71%). Dari luasan tersebut sekitar 97% merupakan kawasan air laut, sedangkan sisanya merupakan kawasan air tawar.

Keberadaan air mutlak dibutuhkan oleh manusia, selain juga sebagai faktor pendukung untuk kehidupan makhluk hidup lainnya, yaitu tumbuhan, hewan, dan berbagai jenis mikroorganisme.

1. Sifat-sifat Air

Ditinjau dari sifat fisiknya, air dapat dijumpai dalam tiga wujud, yaitu *cair*, *padat*, dan *gas*. Wujud air dapat berubah karena fluktuasi suhu. Volume air terkecil berada pada suhu 4°C. Namun demikian, suhu air relatif tidak mudah berubah. Kondisi ini didukung oleh nilai panas jenis air yang tinggi, yaitu sebesar 1 kal/g/°C. Dengan nilai panas jenis yang tinggi maka transfer panas dari dan ke dalam air tidak banyak menimbulkan perubahan suhu. Dengan mekanisme ini maka stabilisasi badan air terhadap keadaan udara sekitarnya dapat terjaga. Hal ini sangat penting untuk melindungi kehidupan akuatik yang sensitif terhadap perubahan suhu.

Air juga memiliki sifat kimiawi yang khas, yaitu pH netral (sekitar 7) dan kandungan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) jenuh sebesar 9 mg/l. Dengan kondisi ini, air merupakan pelarut yang baik untuk berbagai jenis zat. Hal ini dibuktikan dengan proses metabolisme di dalam tubuh tumbuhan, hewan, dan manusia, mikroorganisme, yang semuanya terjadi di dalam lingkungan air. Hasil analisis menunjukkan bahwa 70% dari jaringan makhluk hidup terdiri dari air.

Sifat biologis air diwujudkan dengan kemampuan air untuk mendukung kehidupan makhluk hidup. Antara makhluk hidup dan lingkungan air terdapat hubungan timbal balik. Hubungan timbal balik ini bersifat khas untuk tiap lingkungan perairan, dan ini dicerminkan dengan keragaman jenis yang berbeda antarlingkungan perairan.

2. Kegunaan Air

Air bermanfaat di dalam seluruh tahapan dalam kehidupan makhluk hidup, baik dalam wujud yang tersimpan dalam jaringan tubuh maupun di luar tubuh sebagai faktor abiotik.

Pada tanaman, air mempunyai beberapa fungsi diantaranya merupakan unsur penting dalam protoplasma, sebagai pelarut dalam proses fotosintesis, berperan di dalam menstabilkan turgor sel tanaman, mengatur suhu tanaman melalui proses transpirasi, dan sebagai medium transpor untuk berbagai unsur mineral, gas, dan material lainnya dalam tubuh tanaman.

Pada hewan, air tersimpan dalam jaringan tubuh. Selain itu, air juga diperlukan untuk proses metabolisme, serta sebagai tempat hidup untuk hewan akuatik. Jumlah air di dalam tubuh manusia sekitar 65% dari berat badannya yang terbagi-bagi secara spesifik di dalam berbagai organ. Sekitar 83% dari ginjal, 2% dari *email* gigi, 22% dari tulang, dan 75% dari otak dan otot terdiri dari air.

Fungsi air di dalam tubuh manusia sangat beragam. Air berperan sebagai pelarut berbagai jenis zat yang diperlukan tubuh, misalnya oksigen harus berada dalam bentuk terlarut untuk dapat memasuki pembuluh darah. Selain itu, air berperan sebagai media transportasi untuk berbagai nutrien, hormon, enzim, mineral, produk sekresi dan gas-gas hasil pernapasan. Air ikut serta dalam mempertahankan suhu badan, melalui mekanisme pengeluaran keringat.

Di luar tubuh manusia, fungsi air beragam, antara lain untuk sumber air bagi keperluan domestik, industri, irigasi, peternakan, perikanan, rekreasi, perdagangan dan transportasi, produksi listrik tenaga air, serta tempat pembuangan limbah.

Beberapa kegiatan domestik yang membutuhkan air adalah minum, mandi, memasak, dan mencuci. Untuk tiap kegiatan ini, air yang dibutuhkan tidak hanya memerlukan persyaratan kuantitas, tetapi juga kualitas. Dengan semakin berkembangnya penduduk maka jumlah kebutuhan air juga semakin meningkat. Perkembangan penduduk tidak hanya diartikan dengan jumlah peningkatan penduduk, tetapi juga termasuk perkembangan budayanya, karena ini berkaitan dengan aktivitas manusia. Dengan semakin meningkatnya aktivitas manusia maka jumlah kebutuhan air juga meningkat (Eiger and Smith, 2002).

Sektor pertanian menempati urutan pertama dalam hal penggunaan air (98%). Hal ini menjadi penting karena sektor pertanian adalah pendukung produksi pangan nasional (untuk Indonesia). Kegiatan yang termasuk dalam sektor pertanian adalah irigasi, peternakan, dan perikanan.

Kebutuhan air pada sektor industri berada di bawah sektor pertanian, namun dengan semakin berkembangnya sektor industri, kebutuhan air juga semakin meningkat. Dalam sektor industri, air tidak hanya dibutuhkan untuk mendukung proses produksi, tetapi juga sebagai tempat pembuangan limbah (pada badan perairan).

B. MACAM SUMBER DAYA AIR

Sebagian besar air berada di lautan (97%), namun demikian pemanfaatannya masih terbatas terutama sebagai sumber perikanan tangkap dan wisata laut. Pemanfaatan lain dalam skala yang lebih kecil adalah untuk budi daya rumput laut, pembuatan garam, dan sumber mineral suplemen kesehatan.

Adapun air di muka bumi berasal dari (a) air hujan, (b) salju dan es di kutub utara dan selatan, (c) air permukaan sungai, danau, rawa, (d) air tanah yang ada di dalam tanah.

Pemanfaatan air yang berada di daratan, cenderung lebih banyak. Air daratan berupa air tanah dan air permukaan. Air yang jatuh pada permukaan bumi, jumlahnya relatif konstan dari waktu ke waktu sesuai dengan siklus hidrologi. Pada saat berada di permukaan bumi (daratan) ketersediaan air tergantung dari berbagai faktor, seperti evaporasi, evapotranspirasi, kelembaban, dan keadaan geologi. Air yang berada di daratan inilah yang dikenal sebagai air tawar.

1. Perairan Tawar

Habitat air tawar dapat dibagi menjadi 2, yaitu (a) perairan menggenang atau habitat *lentik*, misalnya danau, kolam atau situ, dan (b) perairan mengalir atau habitat *lotik*, misalnya mata air atau sungai (Smith, 1992).

a. Danau

Berdasarkan proses terbentuknya danau dapat dibagi 2, yaitu danau alam dan danau buatan manusia. Danau alam terbentuk sebagai akibat dari kegiatan alamiah, seperti bencana alam, kegiatan vulkanik, dan kegiatan tektonik (Odum, 1993). Sedangkan danau buatan merupakan hasil buatan manusia dengan tujuan-tujuan tertentu, misalnya untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, perikanan, rekreasi (Soeriatmadja, 1989). Sumber air danau dapat berasal dari sungai, air rembesan (dari air tanah), dan air hujan. Kehilangan air danau dapat melalui aliran air ke luar, rembesan, dan evaporasi (Payne, 1986).

Secara fisik, danau dibatasi oleh beberapa hal, yaitu sungai yang berada di sekitarnya yang dapat berfungsi sebagai sumber air ataupun tempat aliran air ke luar dari danau, permukaan yang selalu tertutup oleh air, dan sedimentasi pada bagian dasar. Dalam batasan ini kondisi lingkungan antar danau akan berbeda. Namun demikian, seluruh ekosistem danau mempunyai karakteristik tertentu, yaitu suhu, kekeruhan, oksigen, dan nutrien.

Suhu bervariasi secara musiman dan menurut kedalaman. Perubahan suhu dapat menyebabkan stratifikasi yang sangat mempengaruhi kehidupan akuatik. Suhu pada permukaan air danau di daerah subtropika tidak pernah turun di bawah 4°C. Umumnya penurunan suhu dapat terjadi pada permukaan sampai ke dasar, tetapi hanya terdapat satu sirkulasi umum sepanjang tahun yang terjadi pada musim dingin.

Danau di daerah tropika mempunyai suhu permukaan yang tinggi (20-30°) mengalami sedikit penurunan suhu dengan bertambahnya kedalaman dan sedikit perubahan musiman.

Kehidupan organisme akuatik danau sangat tergantung pada cahaya. Jumlah penetrasi cahaya yang sampai ke danau dipengaruhi oleh kedalaman dan juga oleh kekeruhan yang berasal dari lumpur dan materi lain yang terbawa aliran menuju danau serta dari pertumbuhan fitoplankton.

Kandungan oksigen dalam perairan dapat menjadi faktor pembatas, terutama pada musim panas karena hanya sebagian kecil dari total volume air danau yang kontak langsung dengan oksigen di udara, sementara proses dekomposisi di bagian dasar selalu membutuhkan pasokan oksigen. Oksigen diproduksi oleh fitoplankton dan gerakan angin yang menyebabkan terjadinya aerasi udara pada lapisan permukaan danau, sementara pada lapisan bawah sering kali terjadi defisiensi oksigen karena dikonsumsi oleh dekomposer. Stratifikasi oksigen terlihat jelas pada danau yang berada di wilayah dengan empat musim.

Sedimen sebagian besar terkumpul pada bagian dasar sehingga air yang dalam memiliki kandungan nutrien lebih tinggi daripada bagian permukaan. Namun, nutrien tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton yang ada di bagian permukaan. Nutrien tersebut baru dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton jika terjadi arus pembalikan.

Danau dapat dibagi berdasar pada penetrasi cahaya dan aktivitas fotosintesis, yaitu *zona litoral*, *zona limnetik*, *zona profundal*, dan *zona bentik*.

Zona litoral merupakan daerah yang dangkal, penetrasi cahaya matahari dapat mencapai dasar sehingga memungkinkan tumbuhnya tanaman berakar

karena pada bagian dasar zona ini terdapat sedimen yang dapat mendukung kehidupan tumbuhan. Produsen pada zona litoral didominasi oleh beberapa jenis ganggang, diantaranya diatomae (*Bacillariaceae*), ganggang hijau (*Chlorophyta*), dan ganggang hijau biru (*Cyanophyta*). Diatomae merupakan indikator yang baik untuk kualitas air. Ganggang hijau biru bernilai penting secara ekologis karena dapat membentuk biomassa yang besar pada kolam atau danau yang tercemar.

Zona litoral merupakan daerah yang lebih banyak dihuni oleh binatang dibandingkan dengan zona lain. Kelompok ikan mendapatkan tempat berlindung dan makanan dari tumbuhan yang terendam dan mengapung. Ikan danau tidak mempunyai tulang lateral yang kuat seperti halnya ikan yang hidup di air deras, tetapi mempunyai tubuh yang padat sehingga mampu bergerak secara mudah melewati massa tumbuhan air. Zona litoral memberikan sejumlah besar bahan organik terhadap ekosistem danau. Bahan organik ini dapat dimanfaatkan oleh organisme yang ada pada zona lainnya.

Zone limnetik, merupakan wilayah perairan yang terbuka, yang masih mendapatkan cahaya matahari tergantung pada kedalamannya. Pada wilayah ini dikenal adanya tingkat kompensasi, yaitu daerah dengan fotosintesis seimbang dengan respirasi. Tingkat ini berada pada kedalaman dengan intensitas cahaya matahari sekitar 1% dari intensitas cahaya penuh. Zona ini mendukung kehidupan plankton, nekton, dan organisme yang dapat berenang dengan bebas, misalnya ikan. Pada *zona limnetik*, kelompok nekton didominasi oleh ikan. Distribusi ikan dipengaruhi terutama oleh pasokan makanan, oksigen, dan suhu. Selama musim panas, sebagian besar berada di lapisan epilimnion yang lebih hangat dan ketersediaan makanan melimpah, sementara pada musim dingin akan bergerak ke lapisan yang lebih dalam. Selama pergantian musim gugur dan semi konsentrasi oksigen dan suhu cenderung homogen sehingga ikan akan menempati semua lapisan.

Zona profundal merupakan bagian dasar dan merupakan daerah air dalam yang tidak tercapai oleh penetrasi cahaya efektif. Oleh karena tidak mendapatkan cahaya, komunitas profundal memperoleh bahan makanan dari zona litoral dan limnetik. Sebaliknya, zona profundal menyediakan nutrisi dari proses dekomposisi yang akan terbawa oleh arus ke bagian di atasnya. Zona profundal pada danau yang dalam mempunyai porsi besar terhadap total volume danau sehingga lapisan epilimnion mempunyai produktivitas yang rendah. Semua binatang pada zona profundal beradaptasi pada kondisi oksigen yang rendah, dan sebagian besar bakteri termasuk dalam kelompok anaerob. Beberapa

zooplankton berada di lapisan dasar dan bergerak ke atas untuk mendapatkan makanan. Hanya selama pergantian musim gugur dan semi, semua organisme dari lapisan yang lebih atas akan bergerak ke bagian dasar sehingga pada saat ini kelimpahan organisme menjadi sangat tinggi.

Di Indonesia, danau alami maupun buatan mempunyai beberapa *fungsi*, diantaranya adalah:

- 1) Sebagai sumber air, terutama untuk irigasi sawah.
- 2) Sebagai sumber perikanan yang potensial. Jenis ikan yang terdapat di danau dapat berupa jenis ikan yang dibudidayakan, seperti ikan mas, gabus atau tawes, tetapi juga dapat jenis yang endemik di daerah tersebut, seperti ikan bilih (*Mystacoleucus padanganensis*) di Danau Maninjau. Penangkapan ikan dapat dilakukan secara tradisional maupun dengan sentuhan teknologi. Untuk tetap menjaga produktivitas danau, dapat juga dilakukan penanaman, dengan jaring atau keramba apung.
- 3) Pengembangan kegiatan hortikultura di sekitar danau. Keberadaan danau menjamin ketersediaan air pada lahan-lahan di sekitarnya sehingga dengan kondisi yang mendukung dapat dilakukan pengembangan budi daya hortikultura, baik dari jenis sayuran, bunga maupun buah-buahan.
- 4) Pertanian tradisional. Kegiatan pertanian untuk tanaman pangan dan palawija juga dapat dilakukan di sekitar kawasan danau karena keberadaan danau dapat menjamin pasokan air.
- 5) Peternakan tradisional. Kegiatan ini berpengaruh secara tidak langsung terhadap ekosistem danau dan fungsinya. Lahan-lahan di sekitar danau ditanami rumput yang berfungsi sebagai pakan ternak.
- 6) Sebagai tempat wisata. Banyak danau di Indonesia yang dijadikan tempat wisata karena keindahannya, diantaranya Danau Toba, Danau Maninjau, Danau Singkarak di Sumatra, Danau Poso di Sulawesi Utara, serta Danau Lido di Kabupaten Bogor.
- 7) Sumber keragaman hayati. Danau merupakan ekosistem air tawar yang menunjang berbagai kehidupan organisme air, baik dari kelompok hewan, tumbuhan, juga mikroorganisme yang belum banyak diketahui sifat biologi dan ekologi, serta manfaat yang dapat diperoleh manusia.

b. Sungai

Berbeda dengan danau yang merupakan perairan *lentik* (tenang), sungai merupakan perairan *lotik* (mengalir). Sungai merupakan sumber air mengalir yang sering melewati daerah pertanian, pemukiman, perkotaan, dan daerah industri. Sungai merupakan tempat untuk buangan limbah cair dan padat yang belum dilakukan upaya pengolahan sehingga mengakibatkan pencemaran terhadap badan air. Fungsi sungai lainnya adalah sebagai sumber air untuk irigasi pertanian dan tambak ikan, sumber air baku (minum, cuci, dan mandi), sumber air untuk kegiatan industri, sarana transportasi dan perdagangan, serta dalam skala kecil dapat digunakan sebagai arena wisata (arung jeram).

Sungai dapat juga dimanfaatkan untuk usaha perikanan (keramba apung), namun demikian tingkat keberhasilan usaha ini sangat ditentukan oleh kondisi air sungai, berupa debit minimum dan maksimum air.

Komunitas biota sungai berbeda dengan biota danau, disebabkan oleh beberapa faktor fisik diantaranya adanya arus yang meningkatkan aerasi sehingga dapat mempertahankan ketersediaan oksigen terlarut. Adanya jenis-jenis endemik dari suatu sungai merupakan kekayaan hayati yang berharga.

c. Perairan payau

Air payau dikenal juga sebagai estuaria, merupakan badan air pantai setengah tertutup yang berhubungan langsung dengan laut terbuka sehingga sangat dipengaruhi oleh gerakan pasang surut. Sebagai contoh, muara sungai, teluk pantai, dan rawa pasang surut.

Adanya pengaruh gerakan pasang surut ini menjadikan daerah estuaria merupakan daerah dengan kesuburan dan produktivitas yang tinggi. Komunitas estuaria terdiri dari campuran antara jenis-jenis endemik, dan jenis-jenis yang datang dari laut, ditambah dengan jenis-jenis yang mempunyai kemampuan osmoregulasi untuk menembus ke arah atau dari lingkungan air tawar.

2. Perairan Laut

Berdasarkan wilayah, perairan laut dapat dibedakan menjadi perairan pesisir dan perairan laut lepas/laut dalam.

a. Perairan pesisir

Perairan pesisir merupakan kawasan laut yang masih menerima pengaruh dari daratan, dengan kedalaman maksimum 200 meter, cahaya matahari masih dapat melakukan penetrasi sampai ke dasar. Dengan kondisi ini, perairan pesisir

mempunyai produktivitas yang tinggi dengan keragaman hayati yang tinggi juga. Perairan pesisir, meliputi estuaria, mangrove, padang lamun, dan terumbu karang. Di dalam tulisan ini, estuaria (air payau), dibahas tersendiri karena kekhasan yang dimilikinya.

1) Mangrove

Mangrove merupakan wilayah pesisir yang dicirikan oleh adanya komunitas vegetasi mangrove yang tahan terhadap salinitas tinggi dan periode penggenangan akibat pengaruh pasang surut. Mangrove dapat tumbuh di kawasan tropik dan sebagian subtropik dengan pengaruh sedimentasi yang sangat kuat. Tumbuhan mangrove yang diketahui termasuk ke dalam 8 famili dan 12 genus pada umumnya didominasi oleh jenis *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, dan *Bruguiera*.

Beberapa contoh jenis tumbuhan mangrove adalah mangrove merah (*Rhizophora mangle*), mangrove hitam (*Avicennia germinans*), dan mangrove putih (*Laguncularia racemosa*).

Ekosistem mangrove mempunyai beberapa fungsi penting diantaranya adalah sebagai tempat pemijahan ikan, penahan abrasi laut, tempat bersarang dan mencari makan burung-burung migran. Dengan fungsi tersebut maka mangrove merupakan ekosistem dengan keragaman hayati yang penting. Kepiting mangrove sangat berperan penting dalam penghancuran serasah karena mampu menghancurkan daun tumbuhan mangrove dengan kecepatan 75 kali lebih besar daripada dekomposisi secara mikrobial. Selain itu, kepiting mangrove juga berperan penting dalam peningkatan aerasi tanah dan penurunan sulfida yang dapat bersifat toksik bagi tumbuhan.

Pada musim berkembang biak, berbagai jenis pohon di hutan mangrove digunakan sebagai tempat bersarang bagi berbagai jenis burung, selain itu juga digunakan untuk tempat mencari makan dan tidur bagi berbagai jenis primata.

2) Padang lamun

Padang lamun merupakan kawasan pesisir yang dicirikan oleh hamparan rumput laut (*sea grass*) yang luas. Pada umumnya padang lamun didominasi oleh tumbuhan dari famili *Hydrocharitaceae* dan *Potamogetonaceae*. Contoh jenis rumput laut adalah *Thalassia spp*, *Enhalus spp*, dan *Halophila spp*. Fungsi penting padang lamun adalah sebagai tempat pemijahan ikan. Hal ini didukung oleh adanya tumbuhan lamun

yang menghasilkan serbuk sari dalam jumlah yang besar dan sangat mudah terbawa arus sehingga menjadi makanan penting bagi beberapa jenis ikan.

3) Terumbu karang

Terumbu karang merupakan kawasan pesisir dengan produktivitas yang tinggi. Sebagian besar berada pada wilayah tropik. Terumbu karang merupakan ekosistem lengkap dengan dominasi oleh hewan (*Coelenterata*). Selain itu didukung juga oleh keberadaan ikan, moluska, zooplankton, dan fitoplankton. Di Indonesia terumbu karang dapat ditemukan hampir pada seluruh pantai yang ada, namun tingkat kesuburan dan kondisi ekologi antarwilayah sangat beragam.

3. Perairan Laut Dalam

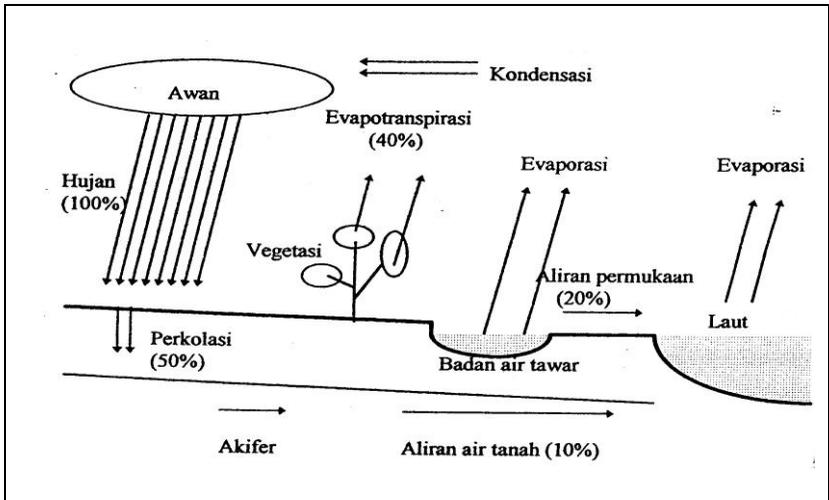
Laut dalam/laut lepas merupakan wilayah laut dengan kedalaman lebih dari 200 meter sehingga cahaya matahari tidak bisa mencapai dasar laut. Faktor inilah yang menyebabkan biota laut dalam berbeda dengan biota pesisir. Keragaman biota laut dalam yang berbeda dengan biota pesisir juga disebabkan oleh konsentrasi hara terlarut di laut lepas yang sangat rendah sehingga menjadi faktor pembatas keragaman dan jumlah biota yang ada.

C. SIKLUS HIDROLOGI

Siklus hidrologi menggambarkan sirkulasi air di bumi akibat pengaruh dari cuaca. Jumlah air yang bersirkulasi relatif konstan, tetapi yang tersimpan di kawasan daratan dapat berfluktuasi sesuai dengan kondisi permukaan daratan (misalnya jenis tanah dan penutupan oleh vegetasi) (Gambar 2.1).

Di dalam siklus hidrologi terdapat empat proses utama yang mendukung terjadinya sirkulasi air, yaitu evaporasi/transpirasi/evapotranspirasi, pre-sipitasi, infiltrasi dan perkolasi, serta aliran permukaan (*run off*).

Air dari permukaan laut, danau, sungai, serta air yang berada dalam lapisan tanah bagian atas menguap melalui proses evaporasi sementara air yang berada di dalam tumbuhan menguap melalui proses transpirasi, dan air dalam tubuh manusia serta hewan melalui proses respirasi. Evaporasi dan transpirasi merupakan proses utama pengembalian air ke atmosfer karena 70% dari curah hujan tahunan akan kembali ke atmosfer melalui dua proses tersebut (Owen, 1980).



Sumber: Peavy et.al. (1985).

Keterangan:

Evaporasi air tawar dan air laut sekitar 30%.

Gambar 2.1
Siklus Hidrologi

Air permukaan tersimpan dalam bentuk danau, kolam atau sungai. Di dalam siklus hidrologi, keberadaan air permukaan ini penting, artinya karena merupakan sumber terbentuknya uap air untuk mendukung proses terjadinya hujan. Selain itu, air permukaan berupa sungai juga merupakan sumber air untuk lautan karena sungai senantiasa bermuara ke laut dan laut merupakan badan air yang menghasilkan uap air dalam jumlah paling besar melalui proses evaporasi.

Uap air yang terbentuk dari proses evaporasi, transpirasi, dan respirasi akan memasuki atmosfer dan berubah menjadi awan. Awan yang terkondensasi pada kondisi tertentu dapat berubah menjadi tetesan air dan jatuh sebagai hujan (presipitasi). Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan mengalami beberapa proses sesuai dengan kondisi permukaan. Pada permukaan yang bervegetasi, sebagian air akan tertahan oleh tajuk tanaman sehingga jumlah air yang masuk ke dalam lapisan tanah (infiltrasi dan perkolasi) akan berkurang.

Jika permukaan bumi tidak bervegetasi, air hujan yang jatuh sebagian besar akan hilang karena aliran permukaan (*run off*), dan sebagian kecil akan masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi.

Air yang masuk ke dalam tanah akan tersimpan menjadi air tanah (dangkal dan dalam), yang sebagian dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Selain itu, air tanah dangkal dapat muncul ke permukaan sebagai mata air.

Selanjutnya, air tanah dangkal dan air permukaan akan menguap kembali sehingga siklus hidrologi ini senantiasa berulang.

Siklus hidrologi merupakan suatu proses alami dari badan air untuk membersihkan diri, dengan syarat kualitas udara cukup bersih. Jika udara tercemar maka air hujan akan tercemar sehingga akan mempengaruhi kualitas air dari badan perairan. Jika hal ini terjadi maka akan mempengaruhi pemanfaatannya oleh manusia karena kebutuhan manusia terhadap air tidak hanya kuantitasnya saja, tetapi juga kualitasnya.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebut dan jelaskan beberapa sifat air sehingga air menjadi kebutuhan mutlak dalam mendukung kehidupan makhluk hidup di bumi!
- 2) Sebutkan manfaat air untuk manusia! Jelaskan apa yang terjadi jika sumber daya air mengalami kerusakan dan perubahan fungsi!
- 3) Jelaskan faktor apa saja yang membedakan sumber daya perairan tawar dan perairan laut!
- 4) Sebut dan jelaskan manfaat danau buatan dan alami bagi masyarakat di Indonesia!
- 5) Jelaskan manfaat siklus hidrologi terhadap ketersediaan air untuk manusia!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda dapat memulai dengan pemahaman mengenai sifat fisika, kimia, dan biologi air. Jika Anda sudah memahami dengan baik, Anda dapat menjawab pertanyaan ini dengan benar.

- 2) Coba Anda mulai dengan manfaat air di dalam tubuh manusia, setelah itu manfaat di luar tubuh manusia. Jika Anda sudah memahami, Anda akan dapat menjawab pertanyaan selanjutnya dengan benar.
- 3) Coba Anda kaji sifat-sifat apa sajakah yang membedakan perairan tawar dan laut. Selanjutnya, dapat Anda kaitkan dengan sumber daya yang ada. Kami yakin Anda dapat menjawab dengan benar.
- 4) Untuk dapat menjawab pertanyaan ini, Anda dapat memulai dengan keadaan penduduk Indonesia yang sebagian besar adalah petani dan nelayan. Selanjutnya, Anda dapat kaitkan kebutuhan energi yang dapat dipenuhi oleh adanya danau alami dan buatan. Jika Anda memahami dengan baik, Anda dapat menjawab pertanyaan ini dengan benar.
- 5) Anda dapat memulai dengan pemahaman mengenai siklus hidrologi. Selanjutnya, Anda dapat menjelaskan perbandingan air tersimpan dalam setiap tahapan dalam siklus. Jika Anda sudah memahami dengan baik maka kami yakin Anda dapat menjawab pertanyaan ini dengan benar.



RANGKUMAN

Sebagian besar permukaan bumi (71%) merupakan lingkungan air, sekitar 97% merupakan kawasan air laut, sedangkan sisanya merupakan kawasan air tawar. Keberadaan air mutlak dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Sekitar 70% dari jaringan tubuh makhluk hidup terdiri dari air. Selain itu, hampir seluruh proses metabolisme dalam tubuh makhluk hidup memerlukan air.

Beberapa sifat air yang penting adalah panas jenis yang tinggi, pH netral (sekitar 7), dan oksigen terlarut jenuh sebesar 9 mg/l sehingga dapat mendukung berbagai fungsi kehidupan. Untuk setiap kegunaan air diperlukan persyaratan kualitas dan kuantitas sehingga pemanfaatan dapat memberikan hasil yang optimal.

Sumber daya air dapat dibedakan menjadi perairan tawar, perairan payau, dan perairan laut.

Perairan tawar dapat dibagi menjadi 2, yaitu (1) perairan menggenang atau habitat lentik, misalnya danau, kolam atau situ dan (2) perairan mengalir atau habitat lotik, misalnya mata air atau sungai.

Beberapa fungsi dari perairan tawar adalah sebagai sumber air baku (minum, cuci, dan mandi), sumber air untuk kegiatan pertanian (irigasi teknis), sumber perikanan yang potensial, sumber keragaman hayati, tempat buangan limbah cair dan padat, sumber air untuk kegiatan industri, sarana

transportasi dan perdagangan, tempat wisata, dan pembangkit listrik tenaga air.

Perairan payau dikenal juga sebagai estuaria, merupakan badan air pantai setengah tertutup yang berhubungan langsung dengan laut terbuka dan sangat dipengaruhi oleh gerakan pasang surut sehingga merupakan daerah dengan kesuburan dan produktivitas yang tinggi.

Perairan laut dapat dibedakan menjadi perairan pesisir (mangrove, padang lamun, dan terumbu karang) serta perairan laut lepas/laut dalam.

Mangrove mempunyai beberapa fungsi penting diantaranya sebagai tempat pemijahan ikan, penahan abrasi laut, tempat bersarang dan mencari makan burung-burung migran, sementara fungsi penting padang lamun adalah sebagai tempat pemijahan ikan.

Terumbu karang merupakan kawasan pesisir dengan produktivitas yang tinggi. Di Indonesia terumbu karang dapat ditemukan hampir pada seluruh pantai yang ada, namun tingkat kesuburan dan kondisi ekologi antarwilayah sangat beragam.

Laut dalam/laut lepas merupakan wilayah laut dengan kedalaman lebih dari 200 meter. Keragaman biota laut dalam berbeda dengan biota pesisir karena konsentrasi hara terlarut di laut lepas sangat rendah sehingga menjadi faktor pembatas keragaman dan jumlah biota yang ada.

Siklus hidrologi menggambarkan sirkulasi air di bumi akibat pengaruh dari cuaca. Jumlah air yang bersirkulasi relatif konstan, tetapi yang tersimpan di kawasan daratan dapat berfluktuasi sesuai dengan kondisi permukaan daratan.

Empat proses utama yang mendukung terjadinya sirkulasi air, yaitu evaporasi/transpirasi/evapotranspirasi, presipitasi, infiltrasi, dan perkolasi, serta aliran permukaan (*run off*).

Siklus hidrologi merupakan suatu proses alami dari badan air untuk membersihkan diri sehingga mendukung pemenuhan kebutuhan untuk manusia dan makhluk hidup lainnya.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Beberapa sifat penting air sehingga dapat mendukung kehidupan makhluk hidup, *kecuali*
 - A. panas jenis yang rendah
 - B. pelarut yang baik untuk berbagai jenis zat
 - C. suhu relatif tidak mudah berubah
 - D. kandungan oksigen terlarut jenuh sebesar 9 mg/l

- 2) Pernyataan berikut merupakan fungsi air di dalam tubuh makhluk hidup, *kecuali*
 - A. medium transpor berbagai jenis zat
 - B. menstabilkan suhu tubuh melalui proses respirasi
 - C. penyusun protoplasma
 - D. pelarut dalam proses fotosintesis

- 3) Beberapa faktor berikut membedakan kondisi perairan menggenang (danau) dan perairan mengalir (sungai), *kecuali*
 - A. adanya arus yang dapat mempertahankan ketersediaan oksigen terlarut
 - B. keadaan air danau sangat dipengaruhi oleh sumber air yang masuk
 - C. produktivitas lebih ditentukan oleh perbedaan faktor fisik danau dan sungai
 - D. menerima pengaruh erosi dari daerah yang lebih tinggi dan menyebabkan sedimentasi

- 4) Pernyataan berikut mencerminkan beberapa sifat danau, *kecuali*
 - A. ketersediaan oksigen terlarut tidak menjadi faktor pembatas
 - B. dapat terjadi stratifikasi suhu menurut kedalaman
 - C. adanya sedimen dapat menjadi sumber nutrisi untuk biota perairan
 - D. zona litoral merupakan zona yang paling produktif

- 5) Beberapa faktor berikut menyebabkan estuaria merupakan ekosistem dengan produktivitas dan keragaman hayati yang tinggi, *kecuali*
 - A. adanya proses pasang surut sebagai proses jebak hara
 - B. tempat pemijahan yang baik bagi biota perairan
 - C. komunitasnya terdiri dari jenis endemik dan jenis-jenis yang datang dari laut
 - D. merupakan perairan dengan salinitas sama dengan perairan laut

- 6) Perairan laut lepas relatif lebih miskin daripada perairan pesisir karena
 - A. tidak terdapat oksigen terlarut yang dapat dimanfaatkan biota
 - B. suhu perairan laut dalam relatif mudah berubah
 - C. kadar garam yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan pesisir
 - D. konsentrasi hara terlarut yang rendah

- 7) Beberapa hal berikut merupakan ciri dari siklus hidrologi, *kecuali*
 - A. menjamin ketersediaan air di daratan
 - B. dipengaruhi oleh proses evapotranspirasi
 - C. jumlah air yang bersirkulasi relatif tetap
 - D. jumlah air yang tersimpan di daratan tidak tergantung kondisi permukaan daratan

- 8) Beberapa pernyataan berikut benar, *kecuali*
- A. siklus hidrologi lebih ditentukan oleh faktor iklim
 - B. siklus hidrologi merupakan proses alamiah air untuk membersihkan diri
 - C. di dalam siklus hidrologi, 40% dari presipitasi masuk ke tanah melalui perkolasi
 - D. pengawetan air tanah dapat dilakukan dengan penanaman vegetasi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2**Konservasi Sumber Daya Air**

Konservasi berasal dari kata *conservation* yang berarti pengawetan atau perlindungan. Konservasi sumber daya air merupakan suatu upaya untuk mengawetkan atau melindungi sumber daya air sehingga ketersediaannya selalu terjaga dan pemanfaatannya dapat dilakukan seoptimum mungkin. Dengan demikian, perlu adanya upaya perlindungan sumber daya air sehingga kuantitas dan kualitasnya tetap terjaga.

A. PENYEBAB KERUSAKAN SUMBER DAYA AIR

Kerusakan sumber daya air dapat terjadi secara alami maupun sebagai akibat dari aktivitas manusia. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk maka tingkat kerusakan sumber daya air oleh manusia menempati porsi yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan kebutuhan manusia yang semakin meningkat baik dari ketersediaan sumber daya air maupun dan ketersediaan lahan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Dengan demikian, kerusakan sumber daya air biasanya berkaitan dengan kerusakan sumber daya lahan.

Kerusakan sumber daya air dapat dibedakan atas.

1. Perubahan Ekosistem secara Alami

Faktor-faktor yang berperan dalam kondisi ini adalah faktor-faktor alam, seperti gempa, musim kering atau musim hujan yang berkepanjangan, serta badai. Dengan terjadinya gempa atau badai biasanya akan terjadi perubahan kondisi dan keragaman hayati suatu sumber daya air dalam waktu yang relatif singkat.

Musim kering yang berkepanjangan juga menyebabkan kerusakan sumber daya air. Sebagai contoh adalah kasus yang terjadi pada danau-danau yang airnya digunakan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga air, misalnya danau Maninjau dan Danau Singkarak di Sumatra Barat.

Pada musim kemarau, jumlah air yang hilang melalui proses evaporasi lebih besar daripada musim penghujan, sementara curah hujan juga relatif kecil. Dengan demikian, akan terjadi penurunan debit air danau, yang secara langsung maupun tidak langsung dapat mempengaruhi kehidupan biota yang ada di dalamnya. Selain itu jika volume air danau tidak cukup banyak untuk

mengerakkan turbin maka kemampuan dari PLTA juga akan turun, atau bahkan tidak dapat beroperasi sama sekali.

2. Modifikasi Habitat

Berbagai habitat perairan berubah fungsinya karena kepentingan manusia. Banyak lahan basah berupa rawa, situ, dan kawasan pesisir yang berubah fungsi menjadi lahan pemukiman, pertanian, dan industri. Dengan berubahnya fungsi tersebut maka akan mempengaruhi siklus hidrologi. Lahan basah yang mempunyai fungsi sebagai daerah tangkapan air akan kehilangan fungsinya sehingga dapat menimbulkan beberapa kerugian diantaranya adalah terjadinya banjir pada musim hujan dan kekurangan air pada musim kemarau sehingga terjadi bencana kekeringan.

Modifikasi habitat juga dapat terjadi dalam bentuk pembuatan bendungan dengan cara membendung aliran suatu sungai. Pembuatan bendungan ini mempunyai manfaat penting diantaranya sebagai pengendali banjir, sumber air irigasi pertanian, pembangkit listrik tenaga air, dan perikanan. Namun demikian, pembuatan bendungan ini juga mempunyai beberapa dampak negatif diantaranya berubahnya keragaman biota pada habitat perairan tersebut karena perubahan faktor fisik dari habitat dapat mempengaruhi faktor biotisnya.

Selain itu perubahan habitat dapat juga terjadi secara tidak langsung sebagai akibat aktivitas manusia, terutama di daerah hulu suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Ekosistem DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS, antara lain dari fungsi tata air. Oleh karena itu, DAS hulu sering kali menjadi fokus perencanaan mengingat bahwa dalam suatu DAS, daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi.

Aktivitas perubahan tata guna lahan dan/atau pembuatan bangunan konservasi yang dilaksanakan di daerah hulu tidak hanya akan memberikan dampak di daerah hulu saja, tetapi juga akan menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk perubahan fluktuasi debit dan transpor sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran air lainnya.

3. Eksploitasi Sumber Daya Perairan

Sumber daya perairan pada dasarnya dapat memberikan manfaat kepada manusia melalui kekayaan yang dimilikinya baik hayati maupun non-hayati. Termasuk dalam kekayaan non-hayati, antara lain koral dan pasir, sementara kekayaan hayati terdiri dari berbagai flora dan fauna perairan.

Flora dan fauna setiap habitat perairan dapat bersifat khas atau endemik. Oleh karena sifat khas yang dimilikinya, sering kali flora atau fauna tersebut mempunyai nilai ekonomis yang tinggi sehingga mendorong pengambilan berlebih. Demikian juga dengan kekayaan non-hayati, pengambilan berlebih dapat terjadi karena nilai sumber daya tersebut yang cukup tinggi.

Selain itu, eksploitasi sumber daya perairan juga terjadi karena kebutuhan manusia yang semakin meningkat, misalnya untuk keperluan konsumsi, dan perdagangan baik di dalam dan ke luar negeri (ekspor). Oleh karena kebutuhan yang senantiasa meningkat maka sering kali terjadi pengambilan ikan dengan cara yang tidak tepat, misalnya penggunaan alat tangkap dengan mata jaring yang sangat kecil yang dikenal dengan istilah "pukat harimau". Dengan penggunaan alat ini, ikan dengan berbagai jenis ukuran akan tertangkap sehingga akan menurunkan produktivitas perairan dengan cepat.

Cara pengambilan lain yang menyebabkan kerusakan adalah penggunaan bahan peledak, terutama untuk pengambilan sumber daya perairan pesisir, contohnya adalah pada habitat terumbu karang.

4. Introduksi Jenis-jenis Eksotik

Hal yang dimaksud Introduksi adalah memasukkan sesuatu/bahan/jenis pada suatu perairan. Introduksi suatu jenis dapat bersifat menguntungkan ataupun merugikan jenis yang sudah ada pada suatu habitat perairan. Bersifat menguntungkan karena dapat meningkatkan keragaman pada habitat tersebut, dan juga mendukung kebutuhan manusia yang senantiasa meningkat. Sementara introduksi dapat bersifat merugikan jika keberadaannya ternyata menghambat perkembangan jenis yang sudah ada sehingga jenis asal ataupun jenis endemik berkurang jumlahnya atau bahkan menjadi tidak ada sama sekali.

Sebagai contoh adalah introduksi ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) di Danau Poso dan Danau Lindu yang mengakibatkan turunnya spesies-spesies ikan endemik, yaitu ikan Moncong Bebek (*Xenopoecillus poptal*) di Danau Poso dan *Xenopoecillus sarasinorum* di Danau Lindu. *X. poptal* tidak bertelur, seperti ikan-ikan pada umumnya, tetapi mengeluarkan telur yang menetas pada waktu bersentuhan dengan air. Kulit telur yang pecah dikenal dengan nama daerah setempat sebagai "momoso"-nya dan biasanya menutupi permukaan air danau yang cukup luas. Pada tahun 1976 dan 1983 kedua spesies ikan tersebut masih dijumpai. Survei tahun 1986 menunjukkan keberadaan ikan tersebut tidak diketahui dengan pasti (Whitten 1987 dalam Primack 1998). Kondisi ini diduga karena telur ikan moncong bebek yang menetas langsung dimangsa oleh ikan

mujair. Ini merupakan akibat introduksi spesies asing yang kajian biologi dan ekologiinya belum dipelajari secara lengkap sehingga merugikan jenis endemik.

B. PENCEMARAN AIR

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air).

Pencemaran air pada dasarnya dapat terjadi secara alami, namun kontribusi terbesar dari pencemaran air disebabkan oleh aktivitas manusia. Secara garis besar penyebab terjadinya pencemaran air dapat dibedakan menjadi tujuh, yaitu nutrisi dan eutrofikasi, kebutuhan oksigen untuk limbah organik, pencemaran panas, penyakit yang disebabkan oleh organisme perairan, sedimentasi, bahan radioaktif, dan bahan beracun limbah industri.

1. Nutrien dan Eutrofikasi

Semua organisme perairan membutuhkan karbon, oksigen, nitrogen, fosfor, belerang, dan beberapa unsur lain untuk mendukung kehidupannya. Terdapat beberapa unsur esensial yang harus tersedia dalam jumlah minimal yang dikenal sebagai faktor pembatas yang akan mempengaruhi pertumbuhan populasi organisme perairan.

Dua unsur faktor pembatas adalah nitrogen dan fosfor. Di dalam ekosistem perairan nitrogen tersedia dalam bentuk ion nitrat (NO_3^{2-}), sementara fosfor tersedia dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3+}). Ketersediaan fosfor biasanya rendah sehingga sebagai faktor pembatas bersifat lebih penting dibandingkan dengan nitrogen.

Berdasarkan status nutrisi, danau dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu tipe eutrofik, oligotrofik, dan distrofik. Status nutrisi danau dipengaruhi oleh aktivitas manusia, selain juga karena proses alamiah, diantaranya pembuatan konstruksi jalan, penebangan kayu, penambangan, dan pertanian. Aktivitas-aktivitas tersebut memberikan tambahan nutrisi terutama nitrogen, fosfor, dan bahan organik, selain juga masukan lumpur.

Berdasarkan ketersediaan nutrisi danau, dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu sebagai berikut.

- a. Danau tipe eutrofik (kaya nutrien) mempunyai rasio permukaan yang besar terhadap total volume danau. Luas permukaan juga relatif besar terhadap kedalaman. Ketersediaan nutrien melimpah, terutama nitrogen dan fosfor sehingga memacu pertumbuhan ganggang tumbuhan air lainnya. Peningkatan produksi fotosintesis mendorong terjadinya peningkatan regenerasi nutrien dan komponen organik sehingga memacu pertumbuhan selanjutnya. Fitoplankton terkonsentrasi pada lapisan permukaan, memberikan warna hijau pada air. Kekeuhan akan mereduksi penetrasi cahaya dan menghambat produktivitas biologi. Ganggang dan tumbuhan air yang mati akan meningkatkan sedimen organik. Bakteri akan mengubah bahan organik mati menjadi bahan anorganik. Aktivitas ini akan menurunkan jumlah oksigen sehingga daerah air dalam dan dasar tidak dapat mendukung kehidupan aerobik. Sejumlah spesies akan menurun jumlahnya, walaupun jumlah biomassa akan meningkat lagi jika kondisi lebih mendukung.
- b. Tipe oligotrofik (miskin nutrien) menggambarkan danau yang mempunyai rasio rendah antara luas permukaan terhadap total volume danau. Air danau terlihat jernih dan tampak biru atau biru kehijauan dalam cahaya matahari. Sedimen pada dasar didominasi oleh bahan anorganik dan oksigen terkonsentrasi pada lapisan hypolimnion. Kandungan nutrien dalam air relatif rendah, walaupun nitrogen dapat tersedia dalam jumlah banyak, tetapi sering kali fosfor menjadi faktor pembatas. Input nutrien yang rendah dari ekosistem terestrial yang membatasinya serta sumber eksternal lainnya menyebabkan kondisi danau miskin hara. Ketersediaan nutrien yang rendah menyebabkan produksi bahan organik juga rendah, terutama fitoplankton. Dekomposer juga sedikit meninggalkan bahan organik sehingga oksigen pada lapisan hypolimnion terkonsentrasi cukup tinggi. Kondisi oksidatif ini menyebabkan pelepasan nutrien dari sedimen juga rendah. Jika bahan organik yang bisa didekomposisi rendah maka populasi bakteri juga rendah dan ini menyebabkan laju metabolisme mikrobial berjalan lambat. Walaupun jumlah organisme dalam danau oligotrofik rendah, tetapi keragaman jenis sering kali tinggi. Ikan yang mendominasi sering kali dari famili Salmon.
- c. Tipe distrofik, merupakan danau yang menerima bahan organik dalam jumlah besar dari lahan di sekitarnya sehingga air danau berwarna cokelat. Produktivitas danau dianggap rendah untuk kelompok fitoplankton. Bagian danau yang paling produktif adalah zona litoral. Vegetasi litoral

mendominasi metabolisme danau, dan berperan sebagai sumber bahan organik dan partikel terlarut.

Kegiatan pertanian tradisional dan hortikultura juga dapat menimbulkan permasalahan pada danau. Sisa pupuk dan pestisida yang mengikuti aliran permukaan ataupun melalui air infiltrasi yang nantinya masuk ke dalam danau melalui rembesan, juga berpotensi merusak ekosistem danau. Selain efek residu yang mengakibatkan kematian, dapat juga terjadi eutrofikasi atau blooming alga karena adanya penambahan nutrisi yang berasal dari residu pupuk. Jika ini terjadi maka akan mengurangi populasi organisme produsen lain karena terjadinya kompetisi dalam mendapatkan oksigen dan cahaya matahari. Penurunan populasi produsen akan berdampak kepada populasi konsumen, terutama jika produsen adalah tumbuhan air dan konsumen adalah jenis ikan yang mempunyai relung (*niche*) pada tumbuhan tersebut. Dengan adanya eutrofikasi atau blooming alga maka akan terjadi peningkatan gas CO₂ terlarut sebagai hasil proses respirasi.

Keracunan karbon dioksida terjadi karena daya serap hemoglobin terhadap oksigen terganggu karena telah jenuh dengan CO₂ yang disebut dengan *methaemoglobin* sehingga menyebabkan organisme mati lemas (Wardoyo, 1981).

Selain residu pupuk dan pestisida, sumber nutrisi yang dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi adalah limbah domestik, seperti limbah manusia dan deterjen fosfat yang mengandung banyak nitrogen dan fosfor anorganik yang dapat memperkaya nutrisi pada danau melalui aliran air. Limbah domestik memberikan kontribusi sebesar 40.000 hingga 100.000 ton fosfor per tahun pada ekosistem akuatik. Sistem pengolahan limbah dapat mengurangi kontribusi nitrogen dan fosfor masing-masing sebesar 50% dan 30%.

Setelah Perang Dunia II penggunaan sabun cuci secara bertahap digantikan dengan deterjen sintetis. Tidak seperti penggunaan sabun cuci sebelumnya yang mudah diuraikan oleh bakteri (*biodegradable*), deterjen sintetis mengandung gugus Alkyl Benzene Sulfonat (ABS) yang bersifat tidak mudah terurai (*non-biodegradable*). Masalah yang ditimbulkan oleh penggunaan deterjen jenis ini selain air menjadi sangat berbusa adalah kandungan fosfat yang terbawa oleh aliran air dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada danau.

Pada perkembangan selanjutnya, penggunaan deterjen yang mengandung ABS digantikan oleh bahan lain, yaitu yang mengandung Linear Alkylate Sulfonate (LAS), yang bersifat lebih mudah terdekomposisi. Deterjen LAS

mengandung beberapa komponen, satu diantaranya surfaktan yang berfungsi sebagai pembersih. Komponen lain adalah *builder* yang bersifat melunakkan air dengan mekanisme pengaturan kombinasi ion kalsium dan magnesium. Keberadaan dua jenis unsur ini cenderung menyebabkan air menjadi sadah sehingga sukar membusa dan dapat membuat korosif pada bahan-bahan logam. Dengan adanya *builder* maka kesadahan dapat berkurang selain juga meningkatkan daya pembersih dari deterjen. Salah satu tipe *builder* yang banyak digunakan adalah *sodium tripolyphosphate* ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$).

2. Kebutuhan Oksigen untuk Limbah Organik

Penguraian limbah organik oleh mikroba membutuhkan pasokan oksigen yang cukup. Sebaliknya energi yang dihasilkan dari proses dekomposisi dimanfaatkan oleh mikroba untuk mendukung kehidupannya.

Limbah organik yang terkumpul pada ekosistem perairan dapat menyebabkan beberapa perubahan diantaranya terjadinya sedimentasi, meningkatkan kekeruhan, dan berubahnya keragaman flora dan fauna pada ekosistem tersebut.

Kondisi ini disebabkan kandungan oksigen terlarut dalam air tidak melimpah seperti di atmosfer. Dengan demikian, terjadi persaingan antara organisme akuatik dan mikroba pengurai dalam perolehan oksigen terlarut. Jika sebagian besar oksigen terlarut dimanfaatkan untuk proses dekomposisi bahan organik maka organisme akuatik akan kekurangan sehingga dapat menyebabkan kematian. Organisme yang mati juga menjadi sumber bahan organik dan ini berarti akan semakin meningkatkan kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi. Jika kondisi berlangsung lama maka dapat mengubah keragaman biota perairan.

Penurunan oksigen terlarut dapat juga terjadi pada danau-danau yang mengalami stratifikasi karena pengaruh suhu. Percobaan yang dilakukan oleh Basley pada kolam-kolam yang diperkaya dengan bahan organik dengan pengaturan cahaya matahari dengan intensitas tertentu membuktikan terjadinya penurunan oksigen. Mekanisme yang mendorong terjadinya penurunan oksigen tersebut adalah meningkatnya kepadatan *Microcystis*, yaitu suatu jenis alga yang membentuk massa, seperti busa dan memicu terjadinya stratifikasi suhu perairan dengan proses penyerapan panas dan meningkatkan oksigen terlarut pada lapisan yang ada di bawahnya (Owen, 1980).

Pada danau-danau yang mengalami stratifikasi suhu, penurunan oksigen terlarut biasanya terjadi pada lapisan hypolimnion. Secara alami hal ini biasa

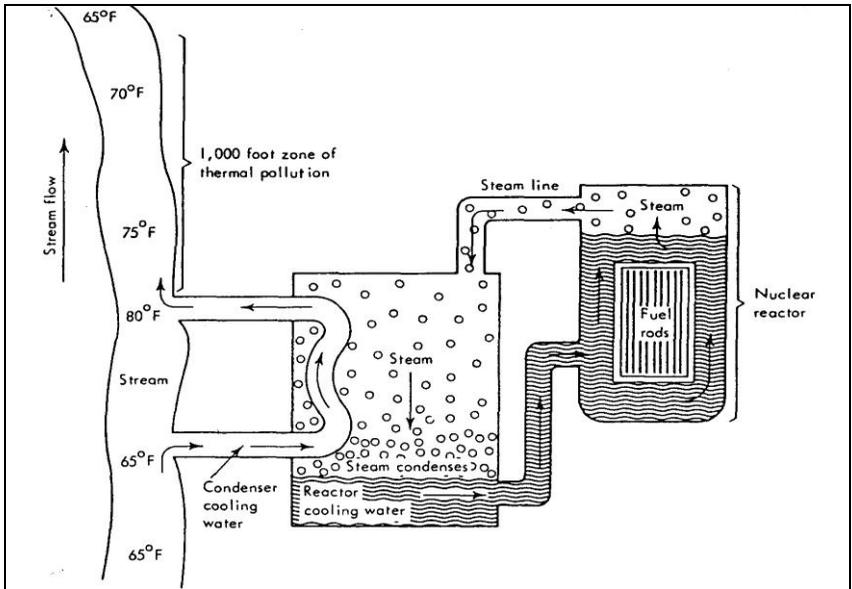
terjadi pada akhir musim panas. Suatu studi di Kansas (Amerika) menunjukkan hasil bahwa titik kritis pertumbuhan ikan jenis "*catfish*" adalah kandungan oksigen terlarut sebesar 3 ppm. Jika pada kolam pemeliharaan ditambahkan aerasi maka pertumbuhan ikan berjalan pesat.

Masalah penurunan kandungan oksigen terlarut biasanya terjadi pada perairan menggenang (danau atau kolam). Pada perairan mengalir (sungai), jarang ditemui kasus tersebut karena adanya air yang bergerak merupakan aerasi yang dapat menambahkan oksigen terlarut.

3. Pencemaran Panas/Bahang

Pencemaran panas dapat didefinisikan sebagai peningkatan suhu badan perairan yang dapat menimbulkan pengaruh buruk untuk organisme yang terdapat di dalamnya. Pencemaran panas dapat terjadi secara alamiah (pemanasan oleh sinar matahari) dan oleh kegiatan industri. Berbagai industri membutuhkan air untuk proses pendinginan dan sebaliknya air buangan industri (biasanya dengan suhu yang tinggi) dikembalikan ke badan perairan sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran panas. Pada perkembangan terakhir, pencemaran panas pada habitat perairan sebagian besar disebabkan oleh kegiatan industri.

Pencemaran panas juga dihasilkan oleh kegiatan pembangkit listrik, baik dengan sumber energi berupa batu bara, air, maupun nuklir (Gambar 2.2). Untuk mekanisme pendinginan dalam proses pembangkit listrik digunakan air yang nantinya juga akan dikembalikan ke badan perairan sehingga meningkatkan suhu perairan.



Gambar 2.2
Sistem Pendinginan Reaktor Nuklir yang Dapat Menimbulkan Pencemaran Panas pada Perairan

Beberapa kerugian yang ditimbulkan oleh pencemaran panas adalah penurunan kandungan oksigen terlarut, pengaruh buruk terhadap alga, gangguan terhadap reproduksi, dan kematian biota.

Menurunnya kandungan oksigen terlarut berpengaruh negatif terhadap kehidupan biota perairan. Meningkatnya suhu perairan akan menurunkan kandungan oksigen terlarut. Sebagai contoh, pada suhu 32°F kejenuhan oksigen dalam air mencapai 14.6 ppm, sementara pada suhu 104°F nilainya hanya 6.6 ppm.

Ikan dan beberapa hewan air berdarah dingin bersifat sangat sensitif terhadap perubahan suhu badan perairan. Pada ikan, perubahan suhu sebesar 0.05°F saja sudah dapat mempengaruhi aktivitasnya. Beberapa jenis ikan membutuhkan suhu tertentu untuk bertelur, misalnya ikan air dingin "*Lake trout*" membutuhkan suhu sebesar 48°F (8.9°C), sementara ikan "*mouthead black*" sebesar 80°F (26°C). Perubahan suhu menjadi lebih hangat menghalangi ikan untuk bertelur, selain itu peningkatan suhu air juga dapat merusak telur ikan yang sudah diletakkan. Seperti dilaporkan oleh Komisi Ikan Oregon,

peningkatan suhu sebesar 54°F pada air Sungai Columbia merusak telur-telur ikan *Salmon Chinook*.

Pencemaran panas juga dapat menyebabkan kematian organisme perairan. Sebagai contoh, kehidupan ikan "*lake trout*" akan terganggu jika suhu air meningkat di atas 50°F. Suhu yang dapat menyebabkan kematian setiap jenis ikan akan berbeda, misalnya untuk ikan "*trout*" di Minnesota dan Wisconsin adalah 78°F, sementara untuk jenis "*yellow perch*" adalah 88°F, dan untuk jenis "*walleye*" adalah 86°F.

Meningkatnya kematian ikan akibat pencemaran panas disebabkan oleh menurunnya ketahanan ikan terhadap infeksi bakteri dan pada saat yang bersamaan terjadi peningkatan aktivitas bakteri. Kondisi ini diperkuat oleh beberapa perubahan kimia yang terjadi pada saat suhu perairan meningkat, yaitu meningkatnya penguapan oksigen terlarut, meningkatnya kecepatan beberapa reaksi biokimia, dan meningkatnya toksisitas zat kimia. Faktor-faktor inilah yang mempengaruhi peningkatan kematian ikan atau kerusakan telur.

Kehidupan alga, baik alga hijau, hijau biru maupun diatom juga dapat terganggu karena pencemaran panas. Keragaman terbesar dari diatom, alga hijau, dan hijau biru dijumpai pada perairan dengan suhu 58°F, 90°F, dan 104°F. Ketiga kelompok alga tersebut merupakan produsen penting dalam rantai makanan perairan. Jika peningkatan suhu menyebabkan kematian alga maka akan mempengaruhi kehidupan konsumen di tingkat berikutnya (misalnya ikan). Jika populasi alga berkurang maka akan terjadi persaingan organisme tingkat tinggi dalam perolehan pakan. Jika ini berlangsung dalam waktu yang lama maka dapat menyebabkan perubahan keragaman biota perairan.

Selain menimbulkan beberapa kerugian, pencemaran panas juga dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan. Di negara beriklim dingin, pencemaran panas (buangan air yang panas), dapat digunakan untuk irigasi pada musim dingin. Pada tahun 1969, suatu komisi yang menangani masalah air dan listrik di Oregon (*The Water and Electric Board of Eugene, Oregon*) mengumumkan suatu keberhasilan percobaan dengan memanfaatkan buangan air yang panas. Air yang berasal dari buangan industri kertas disemprotkan pada pohon buah-buahan, dan ternyata dapat mencegah kerusakan akibat pembekuan.

4. Organisme Penyebab Penyakit

Pencemaran air dapat menjadi penyebab penyakit atau media perantara penyebaran penyakit. Beberapa diantaranya kolera, demam thypoid, disentri, polio, dan infeksi hepatitis. Sebagian besar kondisi ini terjadi di negara-negara

sedang berkembang, seperti di Amerika Selatan, Afrika, dan Asia. Sebaliknya untuk negara-negara maju, kondisi ini jarang dijumpai. Sebagai contoh, di Amerika Serikat pada tahun 1880-an, kematian yang disebabkan oleh demam thypoid adalah 75-100 orang per 100.000 jiwa per tahun, sementara pada tahun-tahun terakhir tingkat kematian turun sangat drastis menjadi 0.1 per 100 000 jiwa per tahun.

Penurunan tingkat kematian ini disebabkan adanya proses pengolahan air buangan domestik, dengan berbagai macam perlakuan. Dari hasil penelitian yang dilakukan, pada air yang sudah mengalami pengolahan, kehadiran bakteri, cendawan, virus penyebab penyakit masih ditemukan, tetapi dalam jumlah yang menurun.

Berdasarkan pengamatan pada air contoh yang sudah mengalami proses pengolahan terdapat beberapa organisme yang sudah kebal terhadap perlakuan antara lain adalah bakteri penyebab typhoid, para typhoid, kolera, tuberkulosis, antraks, dan tetanus. Demikian juga masih ditemukan semua jenis virus termasuk virus penyebab polio dan beberapa jenis parasitik diantaranya cacing gelang, cacing pita, dan cacing kait.

Pada air yang mengalir, air sering kali berfungsi sebagai "water borne diseases" selain sebagai tempat berkembang biaknya penyakit. Dengan demikian, penyebaran penyakit dapat mencapai tempat yang jaraknya ratusan kilometer. Suatu penelitian yang dilakukan di Sungai Connecticut menunjukkan bahwa pada sungai tersebut terdapat 26 jenis bakteri penyebab penyakit.

5. Sedimentasi

Sedimentasi terjadi karena adanya sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan menuju danau atau sungai Sebagai contoh adalah erosi yang terjadi di daerah hulu akibat praktik bercocok tanam yang tidak mengikuti kaidah-kaidah konservasi tanah dan air atau akibat pembuatan jalan yang tidak direncanakan dengan baik tidak hanya memberikan dampak berupa penurunan produktivitas di daerah hulu, tetapi juga akan menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk meningkatnya endapan di sepanjang sungai yang dilaluinya sehingga dapat menyebabkan pendangkalan, menurunnya kapasitas tampung waduk atau danau yang pada gilirannya dapat meningkatkan risiko banjir, menurunkan luas lahan irigasi atau bahkan mengganggu jalannya operasi listrik tenaga air (Asdak, 1995).

Pada danau-danau alam, sedimentasi dapat merubah danau menjadi rawa dan merubah keragaman biota danau. Akibat lain dari sedimentasi adalah

hilangnya tempat bertelur bagi beberapa jenis fauna danau karena tertutup oleh lumpur. Dengan demikian, secara tidak langsung sedimentasi akan mempengaruhi perkembangbiakan fauna perairan.

Selain itu, sedimentasi juga akan meningkatkan kekeruhan sehingga mengurangi penetrasi cahaya yang sampai ke dasar perairan. Dengan demikian, sedimentasi juga mempengaruhi proses fotosintesis. Kekeruhan juga menurunkan kandungan oksigen terlarut, yang akan mempengaruhi aktivitas biota perairan. Jadi, dengan meningkatnya sedimentasi akan mempengaruhi produktivitas perairan. Sedimentasi juga dapat menyebabkan kematian ikan karena lumpur yang masuk ke dalam insang.

6. Bahan Radioaktif

Bahan radioaktif adalah bahan-bahan yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan sinar radioaktif atau sinar pengion, misalnya uranium dan radium. Bahan radioaktif banyak digunakan untuk diagnosis dan terapi, penelitian, kegiatan industri, dan energi alternatif. Di dalam penggunaannya bahan ini menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Debu radioaktif dapat bersirkulasi pada ketinggian 10.000 kaki untuk beberapa lama sebelum tercuci oleh air hujan dan jatuh ke bumi. Debu radioaktif ini biasanya berasal dari uji coba bom nuklir. Untuk setiap bom yang dicobakan banyak bahan radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan. Beberapa bahan radioaktif, misalnya stronsium-90 jatuh ke permukaan bumi dan akan mencemari lingkungan perairan melalui aliran permukaan dan gerakan air dalam tanah (infiltrasi dan perkolasi).

Penggunaan sinar radioaktif untuk berbagai tindakan kesehatan (misalnya terapi *cobalt* untuk terapi kanker) dan kegiatan penelitian akhir-akhir ini makin banyak dilakukan karena efektivitasnya. Namun demikian, tindakan ini perlu diwaspadai, karena potensi dari bahan tersebut sebagai sumber pencemar.

Pencemaran oleh limbah radioaktif tidak hanya terjadi pada perairan tawar, tetapi juga pada perairan laut. Walaupun hanya sedikit limbah radioaktif yang berasal dari reaktor nuklir dilepaskan ke perairan pantai Amerika Serikat pada saat ini, namun diduga akan terjadi peningkatan pada tahun-tahun mendatang. Komisi Pengaturan Nuklir (*The Nuclear Regulatory Commission*) menyatakan terjadi peningkatan 60 kali lipat limbah nuklir antara tahun 1970 hingga tahun 2000. Sekali limbah nuklir masuk ke lingkungan laut maka akan terjadi penyebaran yang sangat luas sesuai dengan siklus hidrologi.

Sebagai contoh, zincum radioaktif 65 terdeteksi pada ikan tuna yang terdapat di Laut Pasific dekat San Diego, California. Diduga sumber bahan radioaktif ini berasal dari pabrik pemrosesan plutonium yang ada di Hanford, Washington. Jadi, tampaknya zincum radioaktif ini dibuang ke sungai Columbia, terbawa ke laut dan karena pengaruh gelombang laut ke wilayah San Diego.

Ahli biologi laut Rusia G.G. Polykarpov memperlihatkan bahwa konsentrasi radioaktif yang sangat rendah (0,2 mikrocurri) sudah cukup serius mempengaruhi perkembangan telur ikan. Ini merupakan sebuah peringatan bahwa sebaiknya tidak membuang limbah radioaktif sekecil apa pun ke wilayah laut.

7. Bahan Beracun Limbah Industri

Beberapa bahan kimia limbah industri berpengaruh tidak langsung terhadap kehidupan biota perairan (Gambar 2.4). Pengaruh yang ditimbulkan, antara lain dengan rusaknya jenis makanan yang disukai ikan, rusaknya tempat ikan meletakkan telurnya sehingga mengurangi reproduksinya.

Beberapa bahan kimia lainnya menyebabkan kematian ikan secara langsung, contohnya adalah adanya kandungan garam-garam logam berat. Adanya garam-garam logam berat akan menstimulasi sekresi mukosa yang berlebihan sehingga mengganggu fungsi insang dan dapat menyebabkan mati lemas. Limbah minyak mentah dan limbah yang mengandung amonium yang diabsorpsi oleh ikan juga dapat menyebabkan kematian (seperti dalam kasus kematian ikan secara massal karena kebocoran tangki minyak di laut). Adanya asam kuat juga dapat menyebabkan kematian karena rusaknya organ penting, yaitu membran insang ("gill membrane").



Sumber: Owen (1980).

Gambar 2.4.

Pencemaran yang Disebabkan oleh Air Buangan Limbah Industri dengan Terbentuknya Lapisan Film pada Permukaan Perairan

C. ANALISIS PENCEMARAN AIR

Analisis pencemaran air dimaksudkan untuk mengetahui kualitas air suatu badan perairan berkaitan dengan manfaat dari perairan tersebut. Analisis yang dilakukan biasanya, meliputi parameter biologi, fisika, dan kimia.

Analisis dilakukan terhadap sampel air yang dianggap mewakili kondisi yang sebenarnya. Sebagai contoh, untuk melihat kondisi air sungai maka dilakukan pengambilan sampel sebanyak tiga kategori, yaitu untuk sumber air alamiah (pada lokasi yang dianggap belum mengalami pencemaran), sumber air tercemar, dan sumber air yang dimanfaatkan. Selain lokasi yang berbeda, pengambilan sampel air sungai juga berbeda dalam hal titik pengambilan, tergantung kepada debit air sungai. Untuk air danau, lokasi pengambilan sampel berbeda dengan air sungai karena danau merupakan perairan tergenang yang mendapatkan air dari berbagai sumber (misalnya dari mata air, rembesan, dan aliran sungai yang masuk) sehingga suatu pencemaran mungkin terjadi dari satu atau lebih sumber air masuk.

Lokasi yang biasanya digunakan untuk pengambilan sampel air danau atau waduk adalah tempat masuknya air (*inlet*), di tengah danau atau waduk, lokasi

pengambilan air untuk pemanfaatan, dan tempat keluarnya air (*outlet*). Titik pengambilan sampel biasanya dibedakan atas kedalaman danau atau waduk.

Pengambilan sampel air dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

1. sampel sesaat (*grab sample*) yang merupakan air sampel yang diambil langsung dari badan air yang ingin diketahui kualitasnya;
2. sampel komposit (*composite sample*) yang merupakan campuran sampel air dari tempat yang sama untuk beberapa interval waktu tertentu;
3. sampel gabungan tempat (*integrated sample*), yaitu sampel sesaat yang diambil pada saat yang sama pada berbagai kedalaman dan jarak dari suatu badan air yang diamati.

Untuk melakukan analisis pencemaran air, frekuensi pengambilan sampel sangat bervariasi tergantung kepada tujuan utama analisis, selain juga dipengaruhi oleh perubahan beban pencemaran dan debit air. Faktor lain yang juga mempengaruhi adalah ketersediaan dana, waktu, dan kemampuan analisis tenaga ahli.

Beberapa parameter fisika yang diamati pada suatu analisis pencemaran air adalah kemampuan air untuk melewatkan cahaya, suhu, kecerahan dan kekeruhan, warna, konduktivitas, kandungan padatan total, terlarut, dan tersuspensi, serta salinitas.

Parameter kimia, meliputi pH dan asiditas, potensi redoks, oksigen terlarut, karbondioksida, alkalinitas, kesadahan, dan bahan organik.

Parameter biologis biasanya dilakukan dengan melihat kedalaman dan kelimpahan jenis biota yang ada di perairan. Jenis biota yang umum digunakan sebagai indikator adalah jenis plankton. Plankton dapat dibedakan menjadi 3 kelompok, yaitu organisme polisaprobik, mesosaprobik, dan oligosaprobik yang masing-masing merupakan indikator pencemaran sangat berat, sedang, dan ringan. Tingkat pencemaran perairan juga dapat diduga dengan indeks diversitas Shannon, yang dapat dihitung dengan rumus:

$$H = \sum_{i=1}^n P_i \log^2 P_i,$$

di mana:

H = Indeks diversitas Shannon

N = Jumlah semua jenis

Nilai H yang diperoleh dapat mencerminkan tingkat pencemaran dengan ketentuan sebagai berikut:

$H < 1$ = tingkat pencemaran perairan "berat".

$H = 1-3$ = tingkat pencemaran perairan "sedang".

$H > 3$ = tingkat pencemaran perairan "ringan".

D. UPAYA KONSERVASI SUMBER DAYA AIR

Dengan memperhatikan berbagai kerusakan sumber daya air baik secara alami maupun oleh aktivitas manusia maka diperlukan berbagai upaya konservasi sehingga fungsi dari sumber daya air dapat berjalan dengan baik dan terus berlanjut untuk generasi mendatang.

1. Perlindungan Spesies

Sampai saat ini, upaya perlindungan spesies masih sangat kurang, baik untuk jenis-jenis ikan air tawar maupun ikan laut. Dengan semakin meningkatnya pencemaran dan eksploitasi berlebih terutama untuk jenis ikan eksotik maupun ikan endemik maka perlu upaya perlindungan yang lebih nyata. Tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan menegakkan hukum terhadap pelanggaran pengambilan jenis-jenis yang dilindungi serta meningkatkan manajemen perikanan.

Manajemen perikanan dapat mencakup teknik dan jenis alat yang diperbolehkan untuk penangkapan, larangan penggunaan bahan-bahan yang berbahaya, seperti racun atau bahan peledak, pembatasan jumlah ikan yang dapat ditangkap. Untuk penerapan jumlah ikan yang dapat ditangkap dibutuhkan pengetahuan yang baik mengenai dinamika populasi ikan sehingga dapat diperkirakan populasi ikan layak untuk ditangkap atau tidak.

Dinamika populasi ikan tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan intrinsik dari suatu jenis ikan, tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan diantaranya kompetisi, penyakit, parasit, kekeringan, dan penurunan kandungan oksigen terlarut. Selain itu, dari studi sejarah hidup spesies dapat diketahui juga faktor-faktor yang mempengaruhi dinamika populasi suatu jenis, antara lain kebiasaan makan, lama hidup, faktor penyebab kematian, rasio seks dan umur, perilaku kawin, dan habitat untuk bertelur. Contoh jenis ikan yang dilakukan pembatasan penangkapan adalah ikan "sturgeon" yang hidup di sungai Casramento, California.

Di Indonesia, jenis ikan yang dilindungi (Setiadi 1997) ada 6, yaitu sebagai berikut.

- a. Ikan Siluk (*Schlerophages formosus*ris).
- b. Ikan Siluk Irian (*Sclerophages leichardti*).
- c. Ikan Pari Sentani (*Pristis sp.*).
- d. Ikan Selusur Maninjau (*Horrioloptera gymnogaster*).
- e. Ikan Waser Goa (*Puntius microps*).
- f. Ikan Belida Jawa (*Notopterus sp.*).

Mengingat bahwa jenis ikan langka dan endemik di Indonesia cukup tinggi, perlu upaya peningkatan jenis-jenis yang dilindungi. Perlindungan sebaiknya juga tidak hanya dilakukan untuk jenis ikan, tetapi juga untuk kelompok fauna lainnya yang semakin banyak dieksploitasi oleh manusia.

2. Perbaikan Habitat

Pada perkembangan terakhir ahli biologi perikanan menganggap bahwa salah satu cara yang efektif untuk mempertahankan sumber daya hayati perairan adalah dengan memperbaiki *carrying capacity* (daya dukung lingkungan) dari habitat ikan dan jenis fauna lainnya. Di sisi lain, upaya ini mempunyai kekurangan, yaitu biaya yang dibutuhkan relatif tinggi sehingga upaya ini biasanya dilakukan di negara-negara maju.

Teknik yang digunakan dalam upaya perbaikan *carrying capacity* habitat adalah pembuatan "shelter" (naungan) sehingga ikan atau jenis fauna lain terhindar dari pemangsa dan panas yang berlebihan pada siang hari. Teknik pembuatan "shelter" hanya efektif dilakukan pada zona littoral danau.

Teknik perbaikan yang lain adalah kontrol terhadap gulma perairan. Vegetasi perairan pada dasarnya memberikan banyak manfaat untuk mendukung kehidupan fauna perairan diantaranya sebagai tempat berlindung, tempat meletakkan telur, tempat mencari makan, dan sebagai sumber oksigen yang dilepaskan dalam proses fotosintesis. Namun demikian, jika vegetasi perairan tumbuh sangat pesat maka banyak kerugian yang ditimbulkan, yaitu kompetisi dengan fitoplankton dalam hal perolehan nutrien dan oksigen terlarut. Selain itu, bagian tumbuhan yang mati dan masuk ke perairan juga membutuhkan oksigen lebih banyak dalam proses dekomposisinya sehingga akan menurunkan oksigen terlarut dalam perairan. Kontrol terhadap gulma perairan dapat dilakukan dengan mengintroduksi ikan pemakan gulma, salah satunya adalah ikan tilapia (*Oreochromis mossambicus*), namun di dalam aplikasinya perlu diperhatikan

terlebih dahulu keberadaan ikan jenis lain yang mungkin harus bersaing dengan ikan yang diintroduksi.

3. Perlindungan Habitat

Perlindungan habitat dapat dilakukan baik untuk habitat perairan tergenang maupun perairan mengalir. Perlindungan habitat dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan pembatasan terhadap introduksi jenis baru dan pemeliharaan kondisi fisik habitat-habitat terutama yang mempunyai keragaman jenis tinggi.

Contoh dari bentuk perlindungan habitat adalah kontrol terhadap semua kegiatan yang dapat mempengaruhi kawasan yang dilindungi, seperti usaha reklamasi pantai dan pemanfaatan lahan mangrove yang tak terkendali, seperti yang terjadi pada kawasan mangrove Muara Angke, Jakarta. Diperlukan suatu peraturan yang jelas mengenai luasan kawasan konservasi dan penerapan hukum secara tegas terhadap para pelanggar.

4. Akuarium

Dalam menghadapi ancaman-ancaman terhadap satwa perairan yang terancam punah, para ahli ikan dan mamalia laut beserta terumbu karang yang bekerja sama dalam institusi kelautan, serta berbagai badan dan departemen perikanan pemerintah, dan berbagai organisasi konservasi telah meningkatkan upaya bersama untuk melestarikan komunitas-komunitas alami yang kaya serta spesies-spesies yang terancam punah. Upaya yang dilakukan adalah dengan mengembangkan teknik-teknik penangkaran agar spesies yang punah dapat dipelihara di akuarium (Primack, 1998).

Jika penangkaran dapat berhasil dengan baik maka individu hasil penangkaran dapat dilepaskan ke alam sehingga dapat memperbaiki populasi yang ada.

5. Pendidikan dan Penelitian

Pendidikan mengenai pentingnya upaya konservasi dapat dilakukan mulai dari tingkat dasar hingga pendidikan tinggi, melalui jalur formal (sekolah) maupun jalur nonformal (penyuluhan, kursus-kursus nonreguler). Peran lembaga swadaya masyarakat juga sangat dibutuhkan karena netralitas yang dimilikinya.

Selain itu dapat juga dengan melibatkan partisipasi masyarakat karena masyarakat sering kali mempunyai informasi mengenai kawasan dan keragaman hayati di dalamnya serta aturan terhadap pengambilan dan pemeliharaan biota

yang ada. Dengan melibatkan masyarakat maka manfaat akan diperoleh oleh pihak yang bekerja sama, yaitu pemerintah dan masyarakat.

Penelitian mengenai keragaman hayati perairan perlu ditingkatkan, mengingat bahwa Indonesia mempunyai wilayah perairan yang luas dan belum sepenuhnya dimanfaatkan sesuai potensi yang ada. Penelitian mengenai keragaman jenis mencakup inventarisasi jenis, populasi dan pola penyebaran, serta informasi biologi lainnya secara lengkap harus dilakukan sehingga diperoleh data yang dapat dijadikan acuan dalam menetapkan status perlindungan. Kegiatan penelitian membutuhkan biaya yang tidak sedikit sehingga dalam hal ini harus ada kerja sama yang baik antara lembaga penelitian, pihak perguruan tinggi, dan pemerintah.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Apakah tujuan konservasi sumber daya air?
- 2) Jelaskan kerusakan sumber daya air yang disebabkan oleh modifikasi habitat!
- 3) Jelaskan kerugian yang disebabkan oleh eutrofikasi!
- 4) Mengapa pencemaran panas dapat merubah keragaman biota perairan?
- 5) Bagaimana peran masyarakat dalam upaya konservasi sumber daya air?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda harus memahami dulu definisi dari konservasi. Jika Anda sudah mengerti, Anda akan dapat menjawab pertanyaan ini dengan benar.
- 2) Anda bisa mulai dari pengertian modifikasi habitat, kemudian dapat dilanjutkan dengan contoh-contoh modifikasi habitat. Jika Anda sudah memahami proses modifikasi habitat. Anda akan dapat menjawab pertanyaan ini dengan baik.
- 3) Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda bisa mulai dengan definisi dan proses eutrofikasi. Jika jawaban Anda benar, Anda dapat menjawab pertanyaan ini dengan baik.

- 4) Anda bisa mulai dengan pengertian pencemaran panas, dan kemudian dilanjutkan dengan pemahaman proses terjadinya pencemaran panas. Jika ini benar, Anda akan dapat menjawab pertanyaan ini dengan baik.
- 5) Anda sudah memahami tujuan konservasi, juga pihak-pihak yang akan memperoleh keuntungan, serta kesulitan-kesulitan yang timbul dalam upaya konservasi sumber daya air. Jika jawaban Anda benar, Anda akan dapat menjawab pertanyaan ini dengan baik.



RANGKUMAN

Konservasi berasal dari kata *conservation* yang berarti pengawetan atau perlindungan. Konservasi sumber daya air merupakan suatu upaya untuk mengawetkan atau melindungi sumber daya air sehingga ketersediaannya selalu terjaga dan pemanfaatannya dapat dilakukan seoptimum mungkin

Kerusakan sumber daya air dapat terjadi secara alami maupun sebagai akibat dari aktivitas manusia. Kerusakan sumber daya air dapat dibedakan atas: perubahan ekosistem secara alami, modifikasi habitat, eksploitasi sumber daya perairan, dan introduksi jenis-jenis eksotik.

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran air pada dasarnya dapat terjadi secara alami, namun kontribusi terbesar dari pencemaran air disebabkan oleh aktivitas manusia. Secara garis besar penyebab terjadinya pencemaran air dapat dibedakan menjadi 7, yaitu nutrisi dan eutrofikasi, kebutuhan oksigen untuk limbah organik, pencemaran panas, penyakit yang disebabkan oleh organisme perairan, sedimentasi, bahan radioaktif, dan bahan beracun limbah industri.

Berdasarkan ketersediaan, nutrisi danau dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu tipe eutrofik (kaya nutrisi), tipe oligotrofik (miskin nutrisi), dan tipe distrofik. Kegiatan pertanian tradisional dan hortikultura dapat menimbulkan permasalahan pada danau. Sisa pupuk dan pestisida yang mengikuti aliran permukaan ataupun melalui air infiltrasi yang nantinya masuk ke dalam danau melalui rembesan, juga berpotensi merusak ekosistem danau.

Penguraian limbah organik oleh mikroba membutuhkan pasokan oksigen yang cukup. Limbah organik yang terkumpul pada ekosistem perairan dapat menyebabkan beberapa perubahan diantaranya terjadinya

sedimentasi, meningkatnya kekeruhan, dan berubahnya keragaman flora dan fauna pada ekosistem tersebut. Masalah penurunan kandungan oksigen terlarut biasanya terjadi pada perairan menggenang (danau atau kolam). Pada perairan mengalir (sungai), jarang ditemui kasus tersebut, karena adanya air yang bergerak merupakan aerasi yang dapat menambahkan oksigen terlarut.

Pencemaran panas dapat didefinisikan sebagai peningkatan suhu badan perairan yang dapat menimbulkan pengaruh buruk untuk organisme yang terdapat di dalamnya. Pencemaran panas dapat terjadi secara alamiah (pemanasan oleh sinar matahari) dan oleh kegiatan industri serta kegiatan pembangkit listrik.

Beberapa kerugian yang ditimbulkan oleh pencemaran panas adalah penurunan kandungan oksigen terlarut, pengaruh buruk terhadap alga, gangguan terhadap reproduksi, dan kematian biota.

Selain menimbulkan beberapa kerugian, pencemaran panas juga dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan. Di negara beriklim dingin, pencemaran panas (buangan air yang panas), dapat digunakan untuk irigasi pada musim dingin.

Pencemaran air dapat menjadi penyebab penyakit atau media perantara penyebaran penyakit. Beberapa diantaranya kolera, demam thypoid, disentri, polio, dan infeksi hepatitis. Sebagian besar kondisi ini terjadi di negara-negara sedang berkembang, seperti di Amerika Selatan, Afrika, dan Asia.

Sedimentasi terjadi karena adanya sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan menuju danau atau sungai. Pada danau-danau alam, sedimentasi dapat merubah danau menjadi rawa dan merubah keragaman biota danau. Akibat lain dari sedimentasi adalah hilangnya tempat bertelur bagi beberapa jenis fauna danau karena tertutup oleh lumpur. Selain itu, sedimentasi juga akan meningkatkan kekeruhan sehingga mengurangi penetrasi cahaya yang sampai ke dasar perairan.

Bahan radioaktif adalah bahan-bahan yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan sinar radioaktif atau sinar pengion, misalnya uranium dan radium. Bahan radioaktif banyak digunakan untuk diagnosis dan terapi, penelitian, kegiatan industri, dan energi alternatif. Di dalam penggunaannya bahan ini menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Pencemaran oleh limbah radioaktif tidak hanya terjadi pada perairan tawar, tetapi juga pada perairan laut. Sekali limbah nuklir masuk ke lingkungan laut maka akan terjadi penyebaran yang sangat luas sesuai dengan siklus hidrologi.

Beberapa bahan kimia limbah industri berpengaruh tidak langsung terhadap kehidupan biota perairan. Pengaruh yang ditimbulkan antara lain

dengan rusaknya jenis makanan yang disukai ikan, rusaknya tempat ikan meletakkan telurnya sehingga mengurangi reproduksinya.

Analisis pencemaran air dimaksudkan untuk mengetahui kualitas air suatu badan perairan berkaitan dengan manfaat dari perairan tersebut. Analisis yang dilakukan biasanya meliputi parameter biologi, fisika, dan kimia. Analisis dilakukan terhadap sampel air yang dianggap mewakili kondisi yang sebenarnya.

Beberapa parameter fisika yang diamati pada suatu analisis pencemaran air adalah kemampuan air untuk melewati cahaya, suhu, kecerahan dan kekeruhan, warna, konduktivitas, kandungan padatan total, terlarut, dan tersuspensi, serta salinitas.

Parameter kimia meliputi pH dan asiditas, potensi redoks, oksigen terlarut, karbondioksida, alkalinitas, kesadahan, dan bahan organik.

Parameter biologis biasanya dilakukan dengan melihat keragaman dan kelimpahan jenis biota yang ada di perairan. Jenis biota yang umum digunakan sebagai indikator adalah jenis plankton.

Dengan memperhatikan berbagai kerusakan sumber daya air baik secara alami maupun oleh aktivitas manusia maka diperlukan berbagai upaya konservasi sehingga fungsi dari sumber daya air dapat berjalan dengan baik dan terus berlanjut untuk generasi mendatang. Upaya yang dapat dilakukan adalah perlindungan spesies, perbaikan habitat, perlindungan habitat, akuarium, pendidikan dan penelitian. Pendidikan mengenai pentingnya upaya konservasi dapat dilakukan mulai dari tingkat dasar hingga pendidikan tinggi, melalui jalur formal (sekolah) mau pun jalur nonformal (penyuluhan, kursus-kursus nonreguler). Peran lembaga swadaya masyarakat dan partisipasi masyarakat sangat dibutuhkan.

Penelitian mengenai keragaman hayati perairan perlu ditingkatkan, mengingat bahwa Indonesia mempunyai wilayah perairan yang luas dan belum sepenuhnya dimanfaatkan sesuai potensi yang ada.

Kegiatan penelitian membutuhkan biaya yang tidak sedikit sehingga harus ada kerja sama yang baik antara lembaga penelitian, pihak perguruan tinggi, dan pemerintah.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Beberapa pernyataan berikut adalah benar, *kecuali*
 - A. konservasi sumber daya air bertujuan untuk pengawetan dan pengoptimalan pemanfaatan dalam jangka panjang
 - B. modifikasi habitat merupakan penyebab kerusakan sumber daya air melalui mekanisme sedimentasi dan eutrofikasi
 - C. penggunaan deterjen memicu terjadinya eutrofikasi karena kandungan fosfat yang dimilikinya
 - D. eksploitasi berlebih biasanya terjadi untuk jenis-jenis yang bernilai ekonomis tinggi dan jenis eksotik

- 2) Penurunan kandungan oksigen terlarut pada suatu perairan dapat terjadi karena faktor berikut, *kecuali*
 - A. buangan limbah organik dalam jumlah banyak
 - B. peningkatan kepadatan gulma air
 - C. adanya pencemaran bahang
 - D. meningkatnya salinitas

- 3) Pencemaran panas sering kali bersifat merugikan, *kecuali*
 - A. menurunkan kandungan oksigen terlarut suatu badan perairan
 - B. dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan efek pembekuan pada suatu sistem pertanian
 - C. dapat menyebabkan kerusakan telur ikan
 - D. meningkatkan kecepatan reaksi biokimia dalam air

- 4) Beberapa kerugian ditimbulkan akibat terjadinya sedimentasi pada suatu badan perairan, *kecuali*
 - A. meningkatnya nilai kekeruhan dan kandungan oksigen terlarut
 - B. mengurangi penetrasi cahaya
 - C. menyebabkan pendangkalan
 - D. menyebabkan kerusakan tempat bertelur ikan

- 5) Bahan radioaktif merupakan salah satu penyebab pencemaran air yang perlu penanganan lebih serius karena
 - A. risiko kebocoran reaktor nuklir yang mengandung bahan radioaktif sangat kecil
 - B. risiko penyebaran yang luas sesuai dengan siklus hidrologi

- C. dapat tercuci dan hilang pengaruhnya karena air hujan
 D. tidak segera tampak akibatnya pada biota perairan
- 6) Berikut adalah pernyataan yang *benar* tentang analisis pencemaran air, *kecuali*
- A. frekuensi pengambilan air sampel disesuaikan dengan tujuan analisis
 B. dapat dilakukan dengan penggunaan indikator biologis
 C. pengukuran warna, kekeruhan, dan bahan organik merupakan parameter fisika
 D. pengaruh kesadahan dan alkalinitas merupakan parameter kimia
- 7) Upaya konservasi sumber daya air dapat dilakukan dengan beberapa cara berikut, *kecuali*
- A. perlindungan habitat
 B. perbaikan habitat
 C. pendidikan dan penelitian
 D. perluasan habitat
- 8) Upaya perlindungan terhadap suatu sumber daya air dapat dilakukan dengan cara berikut, *kecuali*
- A. meningkatkan partisipasi masyarakat dalam upaya perlindungan
 B. meningkatkan keragaman biota air dengan cara introduksi
 C. memberlakukan hukum secara tegas
 D. memberlakukan pembatasan teknik pengambilan sumber daya air

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Panas jenis yang rendah.
- 2) B. Menstabilkan suhu tubuh.
- 3) C. Produktivitas lebih ditentukan oleh perbedaan faktor fisik danau dan sungai.
- 4) C. Adanya sedimen dapat menjadi sumber nutrisi untuk biota perairan.
- 5) D. Merupakan perairan dengan salinitas sama dengan perairan laut.
- 6) D. Konsentrasi hara terlarut yang rendah.
- 7) D. Jumlah air yang tersimpan di daratan tidak tergantung kondisi permukaan daratan.
- 8) C. Di dalam siklus hidrologi, 40% dari presipitasi masuk ke tanah melalui perkolasi.

Tes Formatif 2

- 1) B. Modifikasi habitat merupakan penyebab kerusakan sumber daya air melalui mekanisme sedimentasi dan eutrofikasi.
- 2) D. Meningkatkan salinitas.
- 3) B. Dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan efek pembekuan pada suatu sistem pertanian.
- 4) A. Meningkatkan nilai kekeruhan dan kandungan oksigen terlarut.
- 5) B. Risiko penyebaran yang luas sesuai dengan siklus hidrologi.
- 6) C. Pengukuran warna, kekeruhan dan bahan organik merupakan parameter fisika.
- 7) D. Perluasan habitat.
- 8) B. Meningkatkan keragaman biota air dengan cara introduksi.

Daftar Pustaka

- Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Eiger and Smith. (2002). *Environmental Science, A Study of Interrelationships*. Boston: Mc Graw Hill
- Odum, E.P. (1993). *Dasar-dasar Ekologi*. Terjemahan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Owen, O.S. (1980). *Natural Resource Conservation, an Ecological Approach*. New York: Mc Millan Company
- Payne, A.I. (1986). *The Ecology of Tropical Lakes and Rivers*. Singapore: John Wiley and Sons.
- Primack, R.B. (1998). *Biologi Konservasi*. Terjemahan. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Smith, R.L. (1992). *Elements of Ecology*. Third Edition. New York: Harper Collins Publishers.
- Soeriaatmadja, R.E. (1989). *Ilmu Lingkungan*. Bandung: ITB.

Konservasi Sumber Daya Tanah

Ir. Dodit Hadijaya

Prof.Dr. Ir. H. Dede Setiadi, M.S.



PENDAHULUAN

Modul ini dikemas dalam 2 kegiatan belajar, yaitu Kegiatan Belajar 1 membahas tentang *sifat alami tanah* dan Kegiatan Belajar 2 membahas tentang *pengelolaan tanah*, setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan memiliki kemampuan untuk dapat menjelaskan:

1. proses pembentukan tanah;
2. faktor-faktor pembentukan tanah;
3. sifat-sifat tanah;
4. reaksi tanah (tingkat keasaman tanah, pH tanah);
5. komposisi biotik tanah;
6. klasifikasi tanah;
7. erosi dan kekritisan lahan;
8. laju erosi yang diperkenankan;
9. definisi erosi tanah;
10. faktor-faktor yang mempengaruhi erosi;
11. kerusakan yang ditimbulkan oleh erosi;
12. cara konservasi tanah dan air;
13. unsur hara tanah alami;
14. pengurangan unsur hara tanah;
15. perbaikan kesuburan tanah.

Kemampuan dalam menguasai komponen pembelajaran tersebut sangat penting bagi Anda sebagai seorang guru untuk meningkatkan wawasan pengetahuan karena materi ini banyak berhubungan dengan penyelamatan lingkungan hidup dan situasi sekarang terutama keadaan tanah yang sudah mulai banyak tercemar.

Dengan memahami kemampuan-kemampuan tersebut Anda akan makin percaya diri dalam mengajar karena mampu memberikan contoh serta

penjelasan aktual mengenai hal-hal yang berkaitan dengan pengenalan tanah dan juga dapat dikembangkan dalam proses penyelamatan lingkungan, selain itu kemampuan Anda menguasai materi ini dengan baik akan menyebabkan pelajaran yang Anda berikan semakin mantap, menarik, dan menyenangkan. Tekad Anda untuk menguasai materi ini secara lebih sempurna sangat diharapkan.

Untuk membantu Anda menguasai hal tersebut di atas dalam modul *konservasi sumber daya tanah ini*, akan disajikan pembahasan dan latihan dalam butir-butir uraian sebagai berikut.

1. Sifat Alami Tanah
 - a. Proses pembentukan tanah.
 - b. Faktor-faktor pembentukan tanah.
 - c. Sifat-sifat tanah.
 - d. Reaksi tanah (tingkat keasaman tanah, pH tanah).
 - e. Komposisi biotik tanah.
 - f. Klasifikasi tanah.

2. Pengelolaan Tanah
 - a. Erosi dan kekritisian tanah.
 - b. Laju erosi yang diperkenankan.
 - c. Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi.
 - d. Konservasi tanah dan air.
 - e. Unsur hara tanah alami.
 - f. Pengurangan unsur hara tanah.
 - g. Perbaikan kesuburan tanah.

Agar Anda berhasil dalam mempelajari modul ini, ikuti petunjuk belajar berikut ini.

1. Bacalah dengan cermat bagian *Pendahuluan* modul ini sampai Anda memahami betul apa, dan bagaimana mempelajari modul ini.
2. Bacalah sepintas seluruh bagian modul ini dan carilah konsep-konsep yang bersifat prinsip. Bila ada kata-kata baru pahami terlebih dahulu dengan melihat kamus atau daftar glosari pada modul ini.
3. Pelajari pengertian demi pengertian dari isi modul ini melalui pemahaman sendiri atau bertukar pikiran dengan teman sesama guru.

4. Terapkan prinsip-prinsip yang telah Anda peroleh dalam situasi yang mungkin Anda temukan dalam kejadian sehari-hari.
5. Mantapkan pemahaman Anda melalui diskusi dalam kelompok.

Selamat belajar, semoga berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Sifat Alami Tanah

Tidak diragukan lagi bahwa di antara sumber daya material, tanah adalah sumber yang terpenting. Tanah memberikan kita makan, pakaian, dan perlindungan, akan tetapi kita sering kali malah merusak dan mencemarinya. Kita dapat menarik kesimpulan yang dapat dipercaya mengenai masa depan suatu masyarakat dengan mempelajari bagaimana suatu masyarakat menggunakan tanahnya.

Kelangsungan hidup seluruh umat manusia tergantung pada fungsi-fungsi *biosphere* suatu lapisan tipis bumi tempat tumbuh-tumbuhan, binatang, dan manusia hidup dan mati dalam lingkaran musim yang teratur. Kita harus menyadari bahwa tebal lapisan tanah hidup, tidak lebih dari beberapa sentimeter. Di atas lapisan ini, beraneka ragam organisme, misalnya hewan, tumbuhan, dan organisme mikro hidup pengaruh-mempengaruhi satu sama lain.

Penulis-penulis sejarah masa lalu jarang menyinggung arti pentingnya penggunaan tanah. Mereka tidak memahami bahwa nasib sebagian besar peradaban dan kerajaan ditentukan oleh bagaimana cara menggunakan dan memelihara tanah.

Akhir-akhir ini, makin banyak orang yang menerima anggapan bahwa daya hasil tanah dapat dinaikkan berlipat ganda dengan bantuan berbagai teknologi, terutama pupuk. Ini memang fakta yang dapat dibuktikan, tetapi kemudian pertanyaan, apakah ini dapat dikatakan kemenangan atas batas-batas yang dihamparkan alam atau apakah unsur-unsur lain, misalnya susunan alamiah tanah, juga memainkan peranan penting dalam memelihara daya hasil tanah.

Tanah merupakan lapisan tipis alami (paduan unsur-unsur biologis, geologis, dan khemis) yang menutupi permukaan bumi, yang menunjang berbagai ragam kehidupan, termasuk manusia. Tanah membentuk lingkungan untuk sistem perakaran yang rumit pada tumbuhan, menyediakan media untuk pertumbuhan akar dan terus-menerus menyediakan air dan mineral-mineral sebagai nutrisi tumbuhan. Sudah sejak lama kita beranggapan bahwa di daerah beriklim panas (tropika) bahaya ini tidak ada. Oleh karena di daerah itu, curah hujan yang tinggi menyuburkan "hidup tumbuh-tumbuhan, dan bahkan hutan". Akan tetapi, akhir-akhir ini diketahui bahwa faktor-faktor tersebut juga membatasi sampai ke mana tanah dapat digunakan untuk bertani dan beternak.

Aspek yang sangat penting yang sering tidak diperhatikan adalah tanah juga merupakan tempat tinggal bagi sejumlah makhluk hidup yang sangat beragam, baik mikro-makro flora dan mikro-makro fauna. Organisme ini sangat berperan dalam berbagai proses yang terjadi di tanah dan interaksi tanah-tumbuhan, seperti genesis tanah, penciptaan struktur tanah, imobilisasi dan mineralisasi bahan-bahan organik tanah, pembentukan humus, fiksasi nitrogen udara, pelarutan fosfat serta penyerapan unsur hara oleh tanaman.

A. PROSES PEMBENTUKAN TANAH

Di alam, pelapukan secara fisik dan kimia dapat terjadi secara bersamaan. Pada umumnya, keduanya mengawali proses pembentukan tanah dari batuan induk (batuan keras). Walaupun pada hakikatnya pelapukan fisik sering lebih penting pada atau dekat permukaan tanah, dalam kasus-kasus tertentu proses ini dapat terjadi di bawah permukaan tanah. Akar tanaman dapat menyumbang pada pelarutan secara fisik di bawah permukaan tanah. Pertumbuhan akar tanaman pada rekahan, akar akan memecah batuan.

Pelapukan kimia dapat terjadi pada permukaan tanah, dalam solum atau di bawah solum (dalam bahan induk). Atas dasar ini, ada saran untuk membedakan ke dalam pelapukan pedokimia dan geokimia. Pelapukan pedokimia merujuk kepada pelapukan kimia di dalam solum, sedangkan pelapukan geokimia adalah pelapukan di bawah solum. Reaksi-reaksi kimia utama, seperti pelarutan, hidrolisis, hidrasi, oksidasi, reduksi, dan karbonasi, juga berlangsung dalam solum selain di dalam bahan induk. Pelindian K dan mika, perubahan lempung oleh ion H^+ , dan pembentukan antarlapisan dan pembentukan lempung dapat terjadi sebagai suatu proses pedokimia atau sebagai suatu proses geokimia.

Tanah terbentuk dari batuan atau bahan induk lain melalui proses yang dinamakan pelapukan. Kegiatan pertama pada pembentukan bahan induk dinamakan pelapukan. Kegiatan pertama pada pembentukan bahan induk tanah ialah pelapukan mekanis *penyemaian* batuan dan mineral. Peretakan dan pemecahan bantuan dibantu oleh hujan dan perubahan suhu.

Baik proses pelapukan fisika, biologi maupun kimia penting dalam *penyemaian* batuan dan mineral. Masing-masing membantu kegiatan yang lainnya. Penyemaian secara fisika atau mekanis menghasilkan pecahan lebih kecil dari batuan yang lebih besar dan terbentuk permukaan yang lebih luas. Keadaan ini mendorong terjadinya pelapukan kimia karena pelapukan kimia itu terutama melibatkan reaksi permukaan. Pada tahap awal pelapukan, proses

kimia mungkin berjalan lambat, tetapi bagaimanapun tetap membantu penghancuran batuan secara mekanis. Sebagai contoh, karbondioksida yang terlarut dalam air hujan dapat mengikis permukaan batuan dan meninggalkan alur-alur dengan gaya mekanis. Karbondioksida dari atmosfer yang terlarut dalam air hujan ditambah dengan karbondioksida yang dihasilkan di dalam tanah oleh akar tumbuhan, membentuk asam lemah, yaitu asam karbonat. Asam karbonat, bersama-sama dengan asam yang terbentuk oleh dekomposisi bahan organik bereaksi dengan hidroksida sejumlah unsur. Sebagai contoh, batuan beku yang terdiri dari senyawa-gabungan silikon dan oksida berbagai logam, yang paling lazim di antaranya Aluminium (Al), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg) dan Besi (Fe). Reaksi kimia dengan air yang sering terjadi, dinamakan hidrolisis, dalam hal ini logam dalam kompleks mineral itu digantikan oleh hidrogen dan larut sebagai hidroksida (basa). Unsur yang paling mudah terlarut dari kompleks mineral itu membentuk basa yang kuat. Di antaranya hidroksida Kalsium, K, dan Mg. Unsur lainnya yang lebih tahan terhadap hidrolisis menghasilkan basa yang lemah. Di antaranya hidroksida besi Fe dan Al. Karena basa yang kuat lebih mudah larut, basa itu sering bergabung dengan asam yang dihasilkan oleh dekomposisi bahan organik sehingga membentuk garam terlarut. Sebagai contoh, hidroksida K bergabung dengan asam nitrat yang dihasilkan oleh penguraian protein membentuk KNO_3 yang terlarut.

B. FAKTOR-FAKTOR PEMBENTUKAN TANAH

Pengertian umum mengenai tanah adalah sekumpulan benda alam yang menempati permukaan bumi, merupakan media hidup tumbuh-tumbuhan dan bersifat sebagai hasil pengaruh integrasi dari iklim dan jasad hidup terhadap batuan induk, dipengaruhi oleh relief atau bentuk wilayah dan jangka waktu lamanya pembentukan.

Oleh karena itu, suatu jenis tanah sangat ditentukan oleh proses pembentukannya dan merupakan fungsi dari sejumlah faktor pembentuk tanah, yaitu batuan induk (p), iklim (kl), vegetasi (v), relief (topografi), umur (t) dan manusia (m).

$$S (\text{Soil}) = f (p, kl, v, r, t, m)$$

Banyaknya variasi faktor-faktor pembentukan tanah menyebabkan terjadinya berbagai jenis tanah di dunia. Di Indonesia, faktor yang sangat aktif

dalam proses pembentukan tanah adalah faktor iklim yang terdiri dari *hujan* dan *suhu*. Dengan adanya air yang cukup dan suhu yang relatif tinggi maka proses pelapukan batuan induk (p) dipercepat.

1. Batuan Induk

Batuan induk berhubungan dengan deposit di permukaan yang mengalami pelapukan dan akhirnya membentuk tanah. Melalui proses pelapukan, batuan induk dihancurkan, diangkut, 'dipilih' dan diendapkan. Sifat dan tipe tanah yang berkembang, sebagian besar, ditentukan oleh sifat asli dan tipe batuan induk di bawahnya. Sifat-sifat tersebut meliputi: struktur tanah, tekstur tanah, porositas, kandungan dan jenis mineral, serta kapasitas menyerap air.

2. Iklim

Sifat khas iklim yang sangat mempengaruhi pembentukan tanah adalah temperatur, curah hujan dan angin. Temperatur yang hangat dan kelembaban yang tinggi menyebabkan proses pelapukan meningkat. Kondisi tersebut meningkatkan reaksi kimia, seperti hidrolisis dan oksidasi. Temperatur dan kelembaban yang rendah menyebabkan lambatnya proses pelapukan. Suhu dan curah hujan mempunyai peran yang penting sekali dalam menentukan jenis tanah di daerah tropika dan iklim-sedang serta di bagian kering dan basah dari wilayah itu. Ada anggapan bahwa perbedaan utama adalah antara tanah tropika dan tanah iklim sedang disebabkan oleh jenis pelapukan yang dialami tanah itu. Pada tanah iklim-sedang, Al dan Fe jauh lebih cepat hilang dibanding silikon. Pada tanah tropika terdapat keadaan yang sebaliknya, yaitu silikon lebih cepat hilang dan besi terlindi paling sedikit. Ini mengakibatkan berbagai oksida besi yang membantu mengikat butiran tanah itu menjadi satu, tetap berada pada lapisan atas, dan membantu memperbaiki strukturnya sehingga mengurangi pengikisan. Di wilayah tropika yang bercurah hujan rendah, perimbangan antara penguapan dan curah hujan seluruhnya menguntungkan penguapan. Di lokasi dengan pelindian hanya sedikit seperti halnya daerah sabana, ciri tanahnya akan sangat berbeda dengan, misalnya daerah hutan yang mempunyai curah hujan yang lebih tinggi, penguapan yang berkurang, dan pelindian yang meningkat. Pada umumnya, keadaan ini mengakibatkan lebih banyaknya humus di hutan tropika daripada di daerah sabana tropika.

Pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara cepat menyebabkan batu-batu menjadi melebar, pecah dan hancur. Proses ini dianggap yang paling utama

yang berperan di daerah iklim kering atau padang pasir, di mana siklus *diurnal* (terutama pada musim panas) ditandai dengan temperatur yang keras.

Pelapukan merujuk kepada proses disintegrasi dan perubahan batuan dan mineral oleh proses-proses fisik dan kimia. Pelapukan secara fisik disebabkan oleh tekanan fisik di dalam batuan atau mineral. Proses ini mengakibatkan batuan hancur menjadi bahan-bahan yang lebih kecil tanpa perubahan komposisi kimia. Pelapukan kimia disebabkan oleh reaksi kimia dan terjadi perubahan kimia yang jelas pada produk-produk pelapukannya. Sebagai gambaran reaksi-reaksi kimia yang terlibat (misalnya pelarutan, hidrasi, hidrolisis, oksidasi, reduksi, dan karbonasi), sebagai rujukan dapat dipelajari pada buku Sifat dan Ciri Tanah (Soepardi, 1983).

3. Vegetasi

Vegetasi berperan sangat penting di dalam proses pembentukan tanah. Ada 5 aspek utama, yaitu (a) melindungi tanah dari erosi oleh angin dan air, (b) akar rumput dan pohon menembus ke bawah menghancurkan batuan induk dan mengubah struktur, (c) tumbuhan menyediakan bahan organik yang dapat meningkatkan struktur dan kemampuan tanah menjaga kelembaban, (d) siklus hara tanaman yang dapat membantu pembentukan profil tanah, serta (e) akar tanaman menyediakan nutrisi yang kaya untuk pertumbuhan mikroorganisme (*rizosfer*), hubungan simbiosis dengan bakteri dan fungi membantu tanaman memperoleh nutrisi, seperti nitrogen (N) dan fosfor (P).

Akar tumbuhan yang hidup berkoloni membantu membuka paksa celah-celah pada bidang belah. Akhirnya segala kegiatan ini menghasilkan butiran batuan yang halus dan membentuk bahan induk tanah. Pada tahap ini hanya terdapat sedikit senyawa terlarut di dalam tanah karena hanya sedikit sekali terjadi pembusukan bahan organik dari tumbuhan, tetapi beberapa tumbuhan dapat hidup langsung pada bahan mineral dasar itu. Sebagai contoh, lumut kerak dapat hidup pada permukaan batuan yang gundul dan dapat hidup subur dengan menyediakan hara yang sangat sedikit yang dihasilkan oleh daya melarut zat yang dikeluarkan oleh simbiosis yang berupa jamur pada lumut kerak tersebut.

Air dari aliran tanah yang mengandung bahan organik dan mikroorganisme masuk dalam retakan-retakan batuan dan bertumpuk dalam retakan tersebut. Oleh karena ada sumber karbon yang dapat dipakai untuk perkembangbiakan mikroorganisme maka mikroorganisme berkembang dan menghasilkan senyawa-senyawa asam yang dapat membantu melapukkan batuan sehingga menjadi lebih kecil dan rapuh. Bahan organik yang telah terdekomposisi akan

menjadi nutrisi bagi akar-akar tanaman yang menyusul tumbuh pada retakan-retakan batuan.

Akar yang berkembang membesar dan menembus bahan induk akan membantu pelapukan secara mekanis.

4. Relief (Topografi)

Faktor topografi berhubungan dengan relief permukaan darat, mencakup ketinggian, kemiringan tanah, lapisan batuan induk yang mempengaruhi pengikisan dan pelapukan tanah. Permukaan darat yang datar dapat menjadi tempat endapan dari hasil erosi daerah di atasnya sehingga lapisan tanah dapat terbentuk. Ketinggian tempat berhubungan dengan temperatur dan kelembaban udara, fluktuasi temperatur yang tinggi menyebabkan proses pelapukan secara fisik dapat terjadi pada batuan induk di permukaan tanah. Kemiringan tanah yang tinggi menyebabkan timbulnya gaya gravitasi sehingga jatuhnya batuan dapat membantu memecahkan batuan di bawahnya.

5. Umur (Waktu)

Pembentukan tanah yang sudah matang merupakan suatu peristiwa yang kompleks yang melibatkan interaksi proses fisik, kimia dan biologi selama kurun waktu yang lama. Proses ini tidak hanya ditentukan oleh intensitas proses, tetapi juga oleh bahan-bahan induknya. Peneliti memperkirakan, untuk membentuk 1 inci lapisan tanah atas (*top soil*) dari batuan granit membutuhkan waktu 200 – 1200 tahun, tergantung pada kondisi iklim. Sementara bahan batuan yang tidak begitu keras, misalnya abu vulkanik dan cangkang kapur serta batuan induk, seperti pasir dan sedimen di sungai menjadi tanah yang baik hanya membutuhkan waktu beberapa dekade. Banyak tanah yang tidak dibentuk dari batuan induk yang di bawahnya, tetapi dari bahan yang diendapkan karena glasier, air atau angin sehingga tidak memerlukan waktu yang tidak begitu lama.

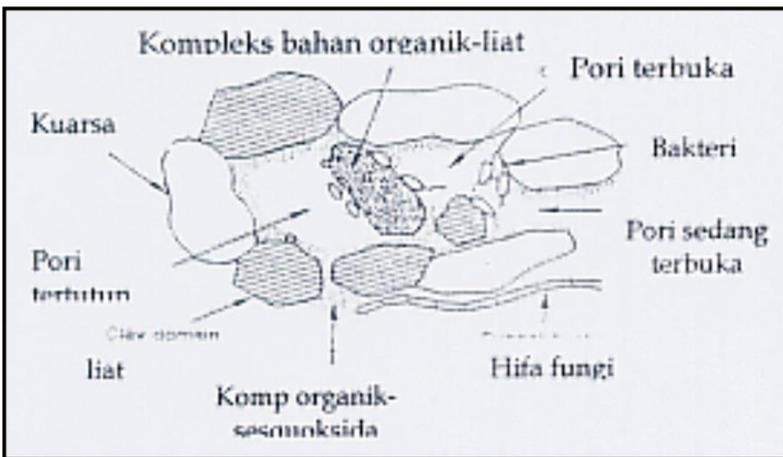
6. Manusia

Pada mulanya para Peneliti tidak memasukkan faktor manusia sebagai faktor pembentuk tanah. Pada kenyataannya manusia dapat mempengaruhi perkembangan pembentukan tanah, baik ke arah positif atau negatif. Dengan pengelolaan tanah yang baik, manusia dapat meningkatkan kualitas tanah. Sebaliknya karena hanya mengejar keuntungan saja dan tanpa dibekali pengetahuan mengenai lingkungan tanah dapat menjadi rusak, sebagai contoh: erosi merupakan musuh tanah-tanah pertanian, konservasi tanah perlu dilakukan

dengan benar untuk menjaga produktivitas hasil pertanian di masa mendatang. Bagi manusia, sangat mudah merusak kualitas tanah, tetapi apakah terpikir bagaimana sulit dan mahalnya memperbaiki (merekklamasi) tanah kembali?

C. SIFAT-SIFAT TANAH

Sifat-sifat tanah yang utama adalah tekstur, struktur, reaksi tanah (pH), kandungan gas, kelembaban, dan organisme tanah. Pengetahuan mengenai sifat-sifat khas tersebut sangat berguna untuk mempelajari profil tanah, tipe tanah, produktivitas tanah dan pengelolaan tanah. Biasanya tanah yang subur (baik), terdiri dari air (20-30%), udara (20-30%), bagian padat (50%), bahan mineral (45%), dan bahan organik (5%).



Gambar 3.1
Model Agregasi Tanah

C.1 SIFAT-SIFAT FISIKA TANAH

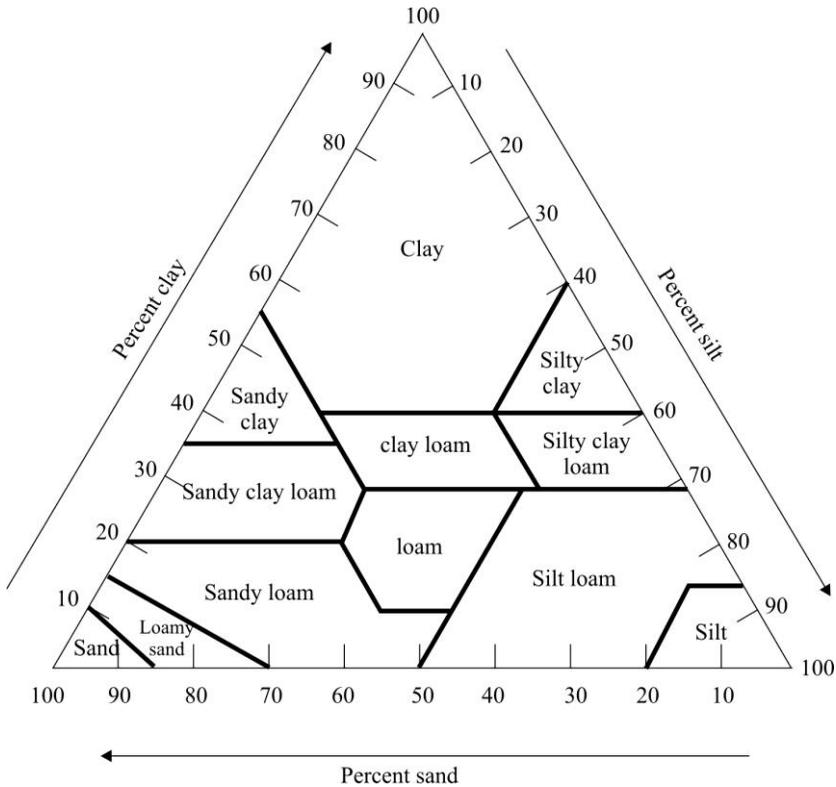
1. Tekstur Tanah

Tekstur tanah dapat dirasakan di lapangan, kriteria 'tanah berat' untuk tanah liat, 'tanah ringan' untuk tanah berpasir berdasar pada persepsi praktik pengolahan tanah di lapang. Determinasi secara laboratorium dapat dipakai untuk penegasan.

Setiap jenis tanah tersusun dari campuran butiran-butiran mineral dengan berbagai ukuran. Menurut USDA, butiran-butiran tersebut dapat digolongkan menjadi berikut ini.

- a) Kerikil dengan diameter lebih dari 1 mm.
- b) Pasir dengan diameter antara 0,05 mm sampai 1 mm, tekstur ini menunjukkan sifat plastik atau kohesif yang rendah karena jarak antara partikel pasir sangat besar (*macropore*), *aerasi* dan *draenasenya* bagus. Pasir disusun oleh kuarsa (SiO_4), bahan kimia yang tidak aktif, sangat sedikit mengandung nutrisi untuk pertumbuhan tanaman.
- c) Debu (silt) ukuran partikel debu antara 0,002 – 0,05 mm, bersifat plastik dan *sticky* apabila kena air. Oleh karena debu seperti pasir, komposisinya terutama kuarsa (SiO_2), kemampuan untuk menyediakan nutrisi juga rendah, bila tidak dicampur dengan unsur yang lain menjadi tanah yang tidak produktif.
- d) Lempung (*clay*) ukuran partikel lempung sangat kecil, diameternya kurang dari 0,002 mm, kadang-kadang tidak terlihat bila dilihat dengan menggunakan mikroskop biasa. Masing-masing partikel lempung mempunyai bentuk datar (flat), bentuk samping seperti wafer (*manysided wafer*). Kemampuan plastisitas dan kohesinya yang tinggi menyebabkan dapat dibentuk menjadi bentuk macam-macam, misalnya pot, botol, dan vas. Oleh karena bersifat lengket bila pada kondisi basah, tanah lempung sulit untuk diolah sehingga disebut tanah berat, berlawanan dengan tanah ringan yang disusun terutama oleh pasir. Lempung (bersama humus) merupakan tempat penyimpanan unsur hara bagi tanaman, tingkat kesuburan tanah tidak terlepas dari peran mereka. Fungsi ini sangat ditentukan oleh dua sifat yang dimiliki oleh partikel lempung: (1) mempunyai sifat permukaan yang luas dan (2) muatan negatif di luarnya. Muatan negatif yang dimiliki oleh permukaan partikel lempung menarik atom bermuatan positif (*kation*) unsur hara tanaman, seperti ammonium (NH_4^+), kalsium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg), zinc (Zn), besi (Fe). Unsur hara tersebut terikat dengan ikatan yang tidak terlalu kuat, ikatan ini dikenal dengan istilah *adsorpsi*. Sebaliknya, partikel lempung tidak mempunyai kemampuan untuk meng*adsorpsi* hara tanaman yang bermuatan negatif, misalnya nitrat (NO_3) sehingga hara tanaman

tersebut tercuci dari tanah atau ikut aliran permukaan, tidak bermanfaat bagi tanaman.



Gambar 3.2

Proporsi Pasir, Debu dan Tanah Liat pada Tekstur Tanah yang Berbeda

Sifat-sifat fisika tanah, seperti mudahnya pengolahan tanah, aerasi, drainase, kapasitas lapang, ketersediaan nutrient, kelembaban tanah sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah. Tanah pasiran mempunyai aerasi, drainase yang baik dan remah dapat diolah dengan mudah. Tanah dengan kandungan liat tinggi mempunyai permukaan area yang luas yang dapat menyerap dan menahan nutrient dengan baik. Tanah lempung berat pada umumnya mempunyai pori-pori yang halus, drainase dan aerasi jelek sehingga pengolahannya juga sulit. Sangat sedikit tanah-tanah pertanian yang tersusun atau terbentuk hanya dari

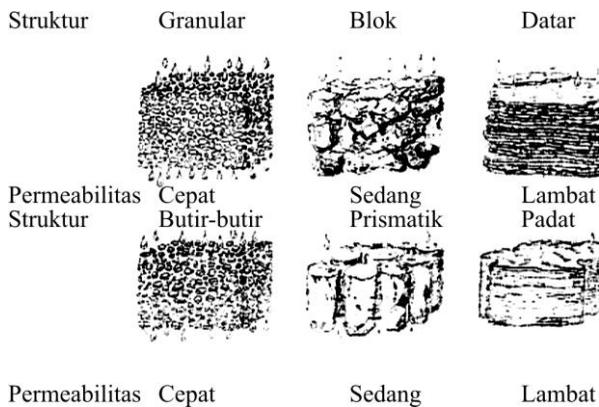
satu tekstur tanah saja. Pada umumnya, tanah tersusun dari keempat tekstur, yaitu *kerikil*, *pasir*, *debu* dan *lempung* dengan proporsi yang berbeda-beda. Tanah pertanian yang diharapkan adalah yang remah (*loam*), dengan susunan pasir 30-50%, debu 30-50% dan lempung 0-20%.

2. Struktur Tanah

Definisi struktur tanah adalah tersusunnya partikel-partikel tanah (pasir, debu dan lempung) menjadi suatu kelompok-kelompok yang kemudian membentuk agregat tanah. Tanah terdiri dari 3 sistem fase, yaitu fase gas (udara), padat (mineral dan bahan organik) dan air. Tiga fase sistem ini sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Struktur tanah yang baik. Struktur tanah yang baik mempunyai sifat, seperti spons dan mudah hancur. Agregat mempunyai banyak pori untuk difusi oksigen dan supaya air dapat mencapai sistem perakaran tanaman. Struktur tanah yang baik akan mampu menahan erosi yang disebabkan oleh angin, hujan dan aliran air permukaan. Untuk menciptakan struktur tanah yang baik dapat dilakukan dengan memberikan bahan organik, misalkan kompos.

Tipe struktur tanah (Gambar 3.3) ditentukan oleh ukuran, bentuk dan cara tersusunnya agregat. Struktur granular mempunyai struktur partikel bulat porous, merupakan struktur yang paling baik untuk pertumbuhan tanaman. Tanah dengan struktur granular biasanya mempunyai porositas dan kelembaban yang baik, aerasi dan drainase yang khas yang memudahkan tanah untuk diolah.



Gambar 3.3
Tipe Struktur Tanah dan Permeabilitas

Struktur tanah yang jelek. Struktur tanah yang jelek memiliki sedikit ruang pori-pori, untuk air dan udara karena tertutup oleh partikel-partikel tanah. Oleh karena infiltrasi air berkurang, di daerah kering, air irigasi tidak dapat masuk secara baik ke sekitar perakaran sehingga tanaman tumbuh kurang baik. Di daerah basah (sawah-sawah), struktur tanah yang jelek menyebabkan masalah drainase, sedangkan di tanah-tanah ladang (*upland*) terjadi erosi karena tingginya aliran permukaan.

Dalam praktiknya para petani mengenal tiga jenis struktur tanah yang utama, yaitu:

- a. *tanah sarang* yang tidak dapat menahan air;
- b. *tanah remah*, daya tahan terhadap air cukup tinggi, ruang pori udara cukup baik pula;
- c. *tanah padat* (lempung berat), tidak banyak mengandung udara di dalamnya, banyak menyerap air, tetapi tidak dapat membiarkan air mengalir ke bawah.

Tanah yang berstruktur remah merupakan tanah pertanian yang baik karena perbandingan udara dan air selalu seimbang.

3. Udara Tanah

Kira-kira 50% dari seluruh volume tanah terdiri dari bagian padat (mineral, tubuh hewan dan tanaman serta bahan organik), sisanya, yaitu 50% tersusun ruang pori-pori (makro dan mikro pori-pori). Apabila kondisi kering, ruang pori-pori ini terisi oleh udara, sebaliknya bila kondisi basah terisi oleh air.

Oksigen (O_2) yang mempunyai konsentrasi di udara (20%) lebih tinggi dibanding di dalam tanah, berdifusi masuk ke dalam tanah, sedangkan karbondioksida (CO_2) dengan konsentrasi 10% di dalam ruang pori tanah, secara terus-menerus berpindah dari ruang pori ke atmosfer yang mempunyai konsentrasi 0.03% (300 ppm). Oksigen di dalam tanah sangat diperlukan oleh organisme tanah, akar tanaman untuk melakukan respirasi sehingga dihasilkan energi. Pentingnya oksigen di dalam tanah dapat dibuktikan pada penelitian tanaman apel, untuk tumbuh perlu konsentrasi oksigen di dalam tanah 3%, untuk pertumbuhan dan perpanjangan akar 5-10% dan 12% diperlukan untuk memulai pemanjangan akar.

Apabila kondisi tanah kurang Oksigen, bakteri penambat nitrogen simbiotik (bakteri bintil akar dengan tanaman legume), *Rhizobium* dan *Azotobacter*, penambat nitrogen non-simbiotik akan terganggu pertumbuhannya, dan kesuburan tanah akan berkurang. Lebih lanjut, pada tanah yang kekurangan

oksigen, pertumbuhan perakaran akan berubah bentuk sehingga membatasi penyerapan air dan unsur hara tanaman.

4. Kelembaban Tanah

Air sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Fungsi air tersebut, di antaranya (a) melarutkan unsur-unsur hara mineral di dalam tanah, (b) merupakan senyawa untuk memindahkan unsur-unsur hara dari satu bagian ke lain bagian tanaman, (c) merupakan senyawa yang penting untuk pembentukan glukosa di dalam fotosintesis, (d) merupakan senyawa yang dapat menegakkan setiap bagian tanaman, bila kekurangan air tanaman akan layu, (e) menjamin kelembaban sekitar tanaman, dan menghindari penguapan air dari dalam tanaman, serta (f) menjamin kehidupan mikroorganisme dan organisme yang penting bagi perkembangan tanah.

Setiap butiran tanah permukaan selalu diliputi oleh selaput air. Tebal tipisnya selaput air ini tergantung pada banyak sedikitnya air di sekitarnya dan banyak sedikitnya penguapan yang terjadi di permukaan tanahnya. Air yang menyelimuti butiran-butiran tanah tersebut dapat melarutkan zat-zat yang terkandung di dalamnya.

Selaput air dari tiap-tiap bagian tanah tidak sama tebalnya. Sebagai contoh, tanah bagian atas yang disinari matahari dan terkena hembusan air, lapisan airnya selalu tipis dibanding dengan bagian-bagian yang berada di bawahnya. Apabila terjadi demikian maka terjadinya penguapan air dari selaput yang tebal ke arah selaput yang tipis. Air naik ke atas melalui rongga-rongga rambut atau kapiler dan disebut *air kapiler*. Keadaan ini dapat dilihat di sawah-sawah maupun ladang, ketika siang hari tanah bagian atas agak kering, dan ketika pagi tanah bagian atas tampak agak basah lagi.

Tanah dikatakan jenuh air ketika udara di dalam pori-pori makro dan mikro digantikan atau terisi oleh air. Hal ini terjadi ketika tanah habis hujan deras dan tergenangi atau irigasi yang terlalu berlebihan. Kapasitas lapang terjadi apabila air dari pori-pori makro sudah ke luar dan digantikan oleh udara. Pori mikro masih terisi air dan dari sumber ini tumbuhan mengisap air untuk pertumbuhannya. Air ini akan hilang melalui evapotranspirasi melalui permukaan daun. Di samping melalui evapotranspirasi juga hilang melalui evaporasi langsung dari permukaan tanah. Kedua peristiwa tersebut merupakan penyebab hilangnya air dalam tanah.

Pada waktu tanah kehilangan air, tumbuhan akan menunjukkan kelayuan karena penyerapan air dari tanah berkurang. Terutama pada siang hari, bila suhu

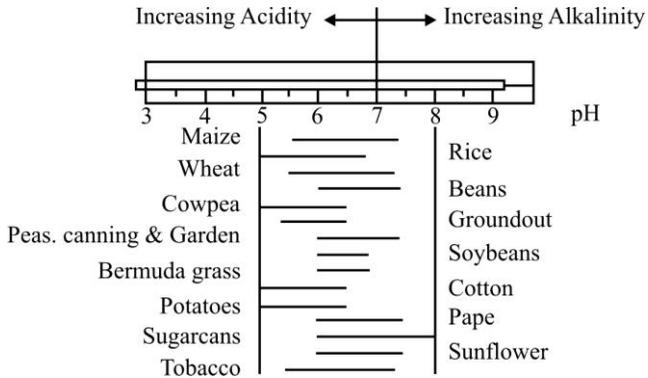
tinggi dan angin bertiup kencang, tanaman akan cepat layu. Pada mulanya, kelayuan siang hari akan diikuti perbaikan turgor sehingga tanaman kokoh kembali. Akan tetapi, apabila kecepatan menyediakan air bagi tanaman kurang maka tanaman akan layu siang dan malam hari. Dalam kondisi demikian, tanaman tidak mati, tanaman dalam kondisi keadaan layu permanen dan akan mati bila air tidak ditambahkan.

C.2.SIFAT KIMIA TANAH (TINGKAT KEASAMAN TANAH, pH TANAH)

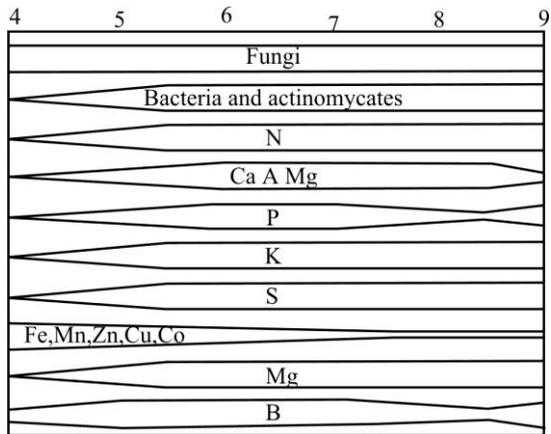
Reaksi tanah (keasaman tanah) adalah istilah yang dipergunakan untuk menyatakan tingkat kebasaaan atau keasaman tanah secara terukur, berhubungan dengan kadar ion hidrogennya (H^+). pH tanah bervariasi dari 4,5 (sangat asam) sampai 9 (sangat basa). Tanah dengan pH 7 dikatakan netral. Pada umumnya, tanaman sayuran, biji-bijian, tanaman perdu dan rumput tumbuh baik pada tanah sedikit asam (pH 6,8).

Tingkat keasaman atau kebasaaan dinyatakan dengan pH dan dikendalikan oleh perbandingan ion H^+ (asam) dan kation-kation basa, terutama Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , dan Na^+ . Tanah sangat asam didominasi oleh ion H^+ , agak asam dan netral didominasi oleh Ca^{++} , Mg^{++} , dan K^+ sementara bila Na^+ mendominasi, tanah memberikan reaksi alkalin. Reaksi tanah (pH tanah), sangat mempengaruhi tingkat ketersediaan unsur hara tanaman, biasanya tertinggi antara pH tanah 6.5 dan 7.5. Unsur hara fosfor (P) tidak tersedia pada tanah-tanah yang sangat asam karena hara P akan bereaksi dengan Fe dan Al menjadi bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman, pada tanah basa P akan bereaksi dengan Ca^{++} , diendapkan dan tidak tersedia bagi tanaman. Kegiatan biologi sangat aktif pada pH netral sehingga dekomposisi bahan organik yang menghasilkan unsur hara, seperti N, P, K bagi tanaman dapat ditingkatkan ketersediaannya.

Kecocokan tanah untuk media pertumbuhan tanaman dan organisme tergantung pada reaksi tanah (asam, netral atau basa). Beberapa tanaman penting, seperti barley, tembakau, lucerne, sensitif terhadap tanah asam, dan terhambat pertumbuhannya apabila ditanam di tanah tersebut. Sementara itu, tanaman *oats*, kentang dan teh agak toleran terhadap tanah asam. Padi sawah dapat tumbuh pada kisaran pH yang luas.



Gambar 3.4
pH Optimum untuk Berbagai Tanaman

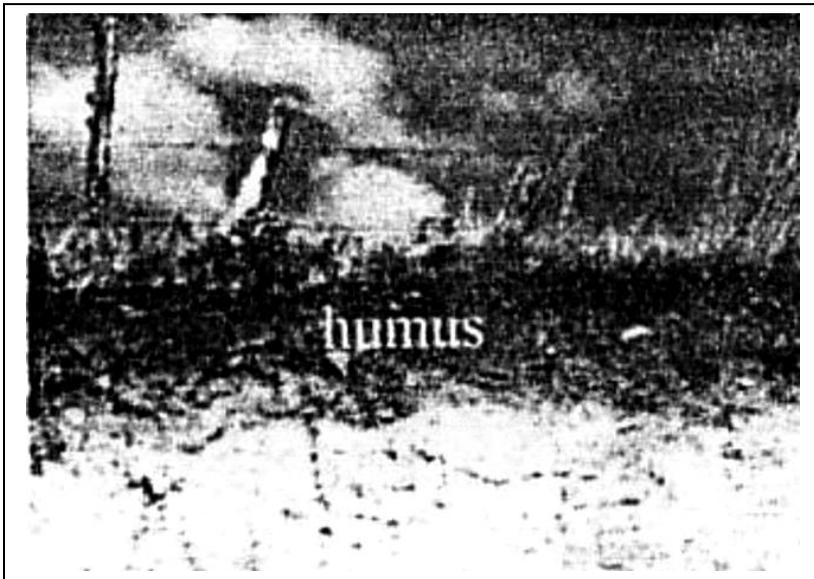


Gambar 3.5
pH Tanah dan Ketersediaan Relatif Unsur Hara dan Aktivitas Mikroorganisme

D. BIOTIK TANAH

Tanah disusun tidak hanya oleh benda-benda mati, seperti batu, air dan udara, tetapi juga banyak sekali kehidupan di dalamnya. Apabila diambil sedikit tanah subur dan dilihat di bawah mikroskop akan tampak banyak sekali makhluk

hidup yang berenang-renang. Makhluk-makhluk hidup ini berperan penting dalam menentukan tingkat perkembangan tanah dengan segala aspeknya dan keberlanjutannya dalam jangka panjang. Pembentukan dan peruraian humus merupakan kunci siklus dan ketersediaan hara mineral. Proses dekomposisi bahan organik yang merupakan peristiwa penting dalam pembentukan tanah dan siklus hara tanaman, menciptakan suatu lapisan yang kaya dengan nutrisi. Lapisan humus selalu ada di permukaan tanah berwarna hitam (gelap). Makhluk-makhluk hidup atau organisme tersebut memperoleh makanan dari humus. Satu gram tanah dapat menampung lebih dari satu juta bakteri dan kehidupan lain, termasuk cendawan, algae, protozoa dan sebagainya. Sebagian besar organisme tersebut memegang peranan penting dalam mendukung dan mempengaruhi kehidupan lain. Kegiatan dekomposisi oleh mikroorganisme tersebut membantu menguraikan bahan organik menjadi senyawa sederhana sehingga dapat dimanfaatkan kembali. Organisme yang berperan dalam pembentukan tanah dan siklus hara mineral meliputi, bakteri, fungi, algae (tanaman tanah) protozoa, nematode, serangga dan cacing tanah (hewan tanah) serta hewan-hewan pembuat lubang tanah (kelinci).



Gambar 3.6
Humus

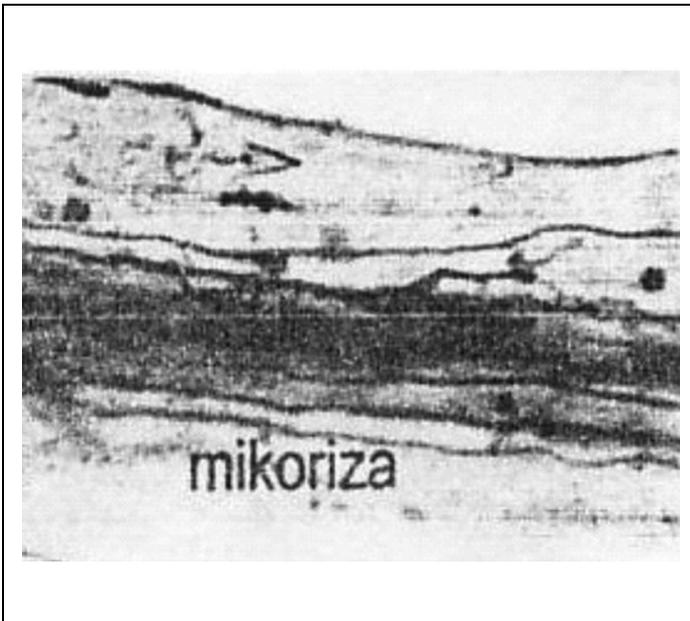
Bakteri. Bakteri tanah pada umumnya tidak hidup terisolasi, tetapi ditemukan koloni di sekitar partikel tanah. Populasi bakteri, diperkirakan meliputi 0.03% pada lapisan tanah atas (*top soil*), terkonsentrasi pada bagian atas lapisan tanah atas, di mana oksigen dan makanan bakteri berupa bahan organik sisa tanaman berlimpah. Pada akar tanaman (*rizoplen*) dan sekitar akar (*rizosfer*) biasanya membentuk koloni bakteri dengan populasi 10 - 50 kali dibanding bagian tanah yang lain. Banyak akar tanaman yang berasosiasi dengan bakteri, misalnya bakteri bintil akar tanaman leguminosae, *Rhizobium* yang mampu menambat nitrogen udara (N_2) yang kemudian diubah menjadi senyawa NH_3 sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman inangnya. Asosiasi ini bersifat simbiosis.



Gambar 3.7
Bakteri Rizoplen

Fungi (Cendawan). Seperti bakteri, fungi tidak mempunyai klorofil sehingga tidak dapat melakukan fotosintesis, energi diperoleh dari sumber karbon yang berupa bahan-bahan organik yang terdapat di alam. Fungi terdapat terutama pada tanah-tanah asam hutan pinus. Oleh karena bakteri tidak toleran

terhadap suasana asam, perombakan pada kondisi asam dilakukan fungi dan dibantu oleh serangga tanah (milipoda, rayap dan lain-lain). Fungi sangat efektif sebagai pengurai dan mampu merombak senyawa-senyawa kompleks, seperti selulosa dan lignin dengan enzim yang dihasilkannya. Hampir 50% lebih, bahan organik tumbuhan yang terdekomposisi dihubungkan oleh *hifa-hifa fungi*. Fungi tidak dapat berkembang dan tumbuh dalam suasana basah, banyak air karena keterbatasan ketersediaan oksigen, dan akumulasi bahan organik yang tidak sempurna terdekomposisi akan membentuk gambut (*peat*) berwarna kecokelat-cokelatan.



Gambar 3.8
Mikoriza

Fungi tertentu, *mikoriza*, yang artinya *cendawan akar* masuk menembus akar tanaman, membentuk struktur yang berfungsi sebagai transfer mineral, air dari fungi ke tumbuhan. Hubungan ini sangat unik, menyebabkan pertumbuhan tanaman lebih baik, tahan terhadap kekeringan, penyakit akar dan penyerapan unsur hara lebih efektif, hubungan ini disebut mutualisme karena keduanya saling menguntungkan.

Algae. Algae tanah merupakan tumbuhan yang sederhana, biasanya uniselular dan mikroskopik, di samping itu mempunyai klorofil. Beberapa mempunyai pigmen yang berwarna biru, keemasan, cokelat dan merah. Kelompok utama algae adalah algae biru, algae hijau-biru, algae hijau-kuning dan diatomeae. Kadang-kadang, setelah hujan deras populasi algae merah meningkat dengan cepat, menyebabkan warna merah muda pada tanah berubah menjadi merah tua. Oleh karena algae mempunyai klorofil (zat hijau daun), organisme ini harus hidup dekat permukaan tanah karena sinar matahari yang cukup untuk fotosintesis. Setelah penggunaan pupuk kimia komersial, tanah menjadi hijau karena peningkatan jumlah algae hijau. Populasi algae mencapai 800.000 organisme per gram. Kemampuan fotosintesis yang dimiliki algae menyebabkan mampu membantu menyumbangkan oksigen pada tanah, menyediakan makanan bagi organisme lain. Pada beberapa daerah, seperti padang rumput, populasi algae sangat banyak, dapat berperan penting dalam penyediaan hara nitrogen. Keberlanjutan budidaya padi di Asia, selama berabad-abad sebagian ditentukan peranan algae hijau-biru, yang juga bersimbiosis dengan paku air, *Azolla sp.*

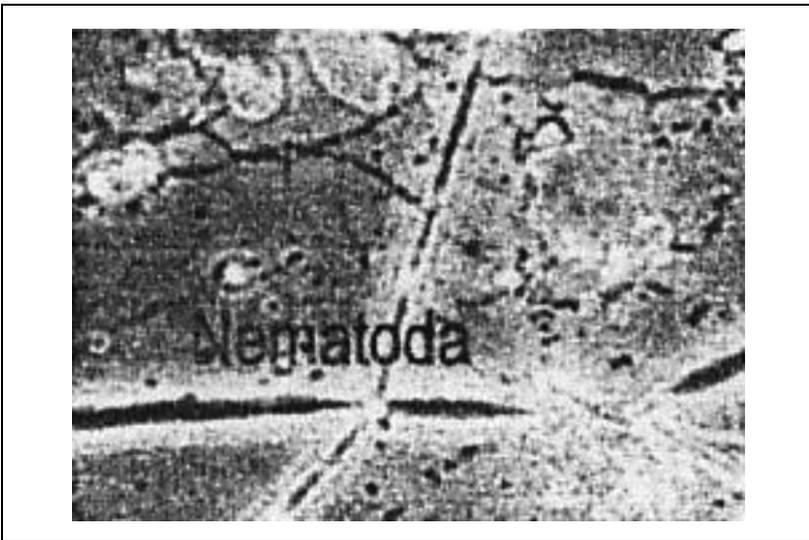
Protozoa. Hewan satu sel, yang paling sederhana, pada umumnya ukurannya mikroskopik, tetapi ada juga yang berukuran makroskopik. Protozoa yang hidup bebas di dalam tanah memakan bahan organik terlarut dan organisme lain (predator). Sebagian besar berperan sebagai predator, dengan memangsa bakteri, algae, dan protozoa yang lain. Protozoa berperan mengendalikan populasi bakteri di dalam tanah. Ketika lingkungan tidak menguntungkan, seperti kelembaban dan temperatur tidak sesuai, protozoa dapat berubah menjadi bentuk lain yang mampu untuk bertahan lama.

Protozoa tanah mempengaruhi struktur tanah, mempercepat siklus unsur hara dan berfungsi mengendalikan komunitas mikroorganisme. Mobilitas protozoa pada lingkungan air tanah menyebabkan meningkatnya kelarutan oksigen sehingga kehidupan lainnya, misalnya bakteri terus meningkat. Meningkatnya populasi bakteri dalam jumlah besar setelah ditambahkan bahan organik baru biasanya akan diikuti dengan meningkatnya jumlah populasi protozoa. Dalam skala laboratorium, dekomposisi bahan organik akan lebih cepat terjadi bila terdapat protozoa dan bakteri dibanding hanya bakteri sendiri.

Nematoda. Nematoda adalah cacing yang tidak bersegmen, berukuran lebar kurang lebih 0.05 mm dan panjang dua mm. Nematoda juga disebut sebagai cacing belut, cacing ekor kuda, cacing jarum karena bentuknya ramping. Jumlah

nematode mencapai beberapa miliar untuk tiap meter persegi, pada umumnya parasit terhadap tanaman tingkat tinggi dan batang.

Serangga. Serangga tanah merupakan bentuk kehidupan yang sangat menarik di dalam komunitas tanah. Banyak serangga berkerumun di dalam sampah-sampah daun di tanah hutan, mencerna atau mencerna sebagian fragmen-fragmen daun, mengubah bahan tersebut supaya lebih mudah didekomposisi oleh kegiatan fungi dan bakteri. Semua serangga pengebor tanah membantu meningkatkan porositas, drainase dan aerasi tanah dengan membuat lubang-lubang dan lorong-lorong di tanah.



Gambar 3.9
Nematoda

Berbagai jenis serangga yang cukup dikenal ditemukan di dalam tanah adalah colembola, diplura, protura, isopoda, millipedes, semut, rayap, dan kumbang. Beberapa jenis antropoda yang bersifat sosial, seperti rayap, semut, laba-laba dikenal membuat sarang di dalam tanah. Selama proses membuat sarang dan liang di dalam tanah, partikel tanah mengalami desintegrasi, aerasi tanah diperbaiki, tanah dari lapisan bawah dibawa ke permukaan sehingga secara alami terjadi pembalikan tanah.

Cacing tanah. Di dalam tanah-tanah lapisan atas (*top soil*) yang subur, kerapatan populasi cacing tanah diduga mencapai satu miliar untuk tiap are. Cacing tanah lebih suka pada tanah yang baik drainasenya, kaya dengan bahan organik yang sudah terdekomposisi, kandungan calcium dengan pH tanah di atas 4,5. Drainase yang baik menghindarkan lubang-lubang cacing tanah dari banjir, bahan yang terdekomposisi menjadi makanannya.

Cacing tanah, dengan otot yang kuat, pengisap, seperti pharynx mengisap kotoran, pupuk organik sisa tanaman, biji-bijian, telur dan larva serangga, dan sejumlah binatang-binatang kecil yang mati dan hidup ke dalam mulutnya. Aktivitas ini terutama terjadi pada enam inci di bagian lapisan tanah atas (*top soil*). Dengan aktivitas membuat lubang-lubang tanah, cacing tanah membantu meningkatkan aerasi dan drainase serta memacu akar tanaman untuk tumbuh ke bawah. Setelah menghancurkan bahan organik di dalam perutnya, kotorannya atau residunya dikeluarkan lewat anus dalam bentuk *casts* (kotoran cacing tanah). Jumlahnya dapat mencapai delapan ton per are pada tanah-tanah yang diolah. Hasil penelitian pada tanah terolah di Connecticut menunjukkan bahwa kotoran cacing tanah mengandung 3,66% nitrogen, 6,44% fosfor dan 1,109% potasium lebih banyak dibanding tanah di sekitarnya.

E. PROFIL TANAH

Profil tanah adalah irisan tegak melalui tanah, yang memperlihatkan berbagai lapisan mendatar (*horizon*) mulai dari permukaan sampai ke bahan induk yang paling tidak lapuk di bawahnya, dibagi dalam horizon A (*top soil*), B (*subsoil*), C (*batuan induk*) dan D (*bedrock*). Masing-masing horizon berbeda dalam coraknya dibandingkan dengan horizon di atasnya atau di bawahnya. Susunan horizon ini tidak selalu sama untuk semua tanah, tergantung pada bentuk tanah. Pada tanah yang belum berkembang sering ditemukan horizon yang belum terbentuk. Profil tanah yang baik adalah yang diambil pada tanah yang belum terganggu dan seluruh penampangnya merupakan hasil pembentukan dalam kedudukan yang sama (tanah-menetap atau tanah sisa).

Pelapukan fisik dan kimia pada akhirnya tidak menghasilkan tanah, tahap berikutnya dalam proses pembentukan tanah adalah penambahan bahan organik atau humus (horizon O) sehingga menghasilkan lapisan permukaan berwarna gelap (horizon A). Kemudian, disusul oleh pelindian (*leaching*) garam dan basa terlarut dan berpindahnya lempung, zat-zat lainnya dari horizon atas ke lapisan yang lebih bawah. Pelindian merupakan proses pembilasan senyawa terlarut

yang dihasilkan oleh pelapukan kimia dari lapisan permukaan ke dalam lapisan tanah yang lebih bawah. Oleh karena curah hujannya yang banyak dan suhunya tinggi, pelindian pada tanah tropika berlangsung cepat. Keadaan ini dapat menguras basa tersedia dari dalam tanah dan menyebabkan kompleks mineral tersisanya berada dalam keadaan yang sangat asam. Keasaman tanah itu mempengaruhi pembentukan humus yang terjadi dari pemasukan sisa tumbuhan dan hewan. *Pelindian* juga menghilangkan sebagian zat terlarut yang dihasilkan oleh pembusukan bahan organik.

Profil tanah suatu tipe tanah merupakan produk dari aksi vegetasi, temperatur, curah hujan, dan organisme tanah yang bekerja pada batuan induk selama bertahun-tahun. Untuk keperluan praktis, profil tanah mempunyai nilai ekonomi penting karena dapat memberikan informasi berguna bagi ahli pertanian apakah tanah tersebut cocok bagi lahan pertanian, kehutanan, perkebunan, habitat liar atau untuk tempat rekreasi. Profil tanah juga dapat membantu dalam memutuskan lokasi tersebut untuk dijadikan tempat tinggal (perumahan), jalan raya, daerah *landfill*, tempat pembuangan sampah kota, *septic tank* atau untuk menanam kabel listrik.

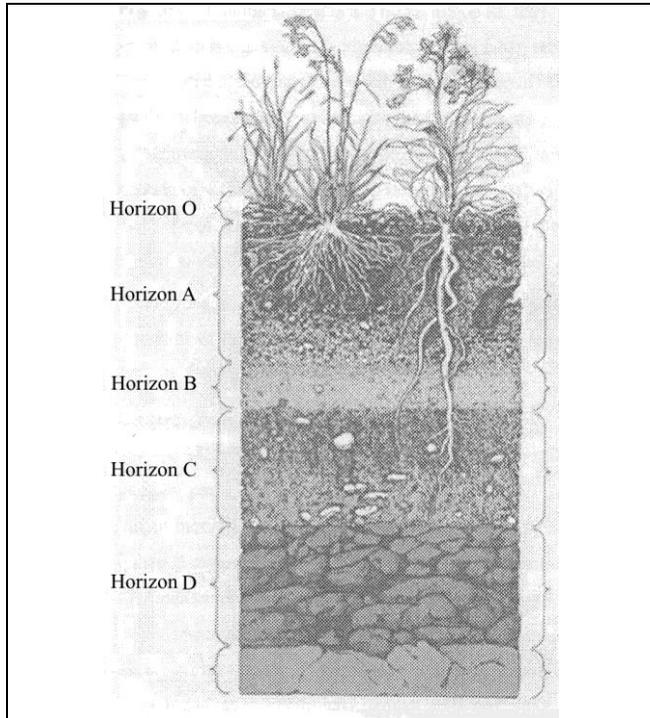
Profil tanah tropika yang khas dapat terdiri dari tiga horizon utama: tanah atas (*top soil*), tanah-bawah (*subsoil*), dan lapis-atas terlapuk (*parent material*). Oleh karena intensitas pelindian, horizon tidak selamanya terlihat tegas satu dengan yang lain seperti halnya di daerah iklim-sedang. Tanah-atas sangat tipis, sering sekitar 15 cm tebalnya. Biasanya tanah-bawah (*subsoil*) merupakan horizon yang paling tebal, sering berkisar antara 15 sampai 180 cm, dan lapisan atas terlapuk dimulai dari kedalaman ini. Ketebalan nisbinya agak seragam.

Dari penjelasan tersebut, menunjukkan bahwa beberapa tahapan dalam pembentukan tanah melibatkan akumulasi bahan induk dan pamarakan horizon tanah. Kedua tahapan itu bertumpang tindih. Pamarakan horizon timbul karena empat jenis perubahan dalam sistem tanah, yaitu: penambahan (akumulasi), penyingkiran, pemindahan dan pengalihan bentuk. Tanah di daerah tropika yang mengalami pelapukan lanjut, dikenal sebagai *tanah latosol*.

Horizon O, terdiri dari daun-daunan yang masih segar, bentuknya masih terlihat sedikit mengalami dekomposisi, bercampur dengan bahan organik lainnya yang sudah lebih dulu mengalami dekomposisi. Warnanya gelap, dan remah, tidak setiap tanah mempunyai horizon O.

Tersusun atas daun yang baru jatuh dan bahan organik lainnya. Biasanya berwarna gelap. Pada umumnya campuran humus, organisme tanah dan beberapa mineral tanah. Warna lebih gelap dibanding horizon O dan lebih lepas

dibanding horizon B. Lapisan di mana materi yang tersuspensi dan terlarut terlindi ke horizon B. Horizon ini sebagian besar terdiri dari besi, aluminium, humus dan tanah liat yang terlindi dari lapisan di atasnya. Horizon ini merupakan batuan induk yang sebagian sudah mengalami pelapukan.



Gambar 3.10
Profil Tanah dengan Horizon yang Relatif Lengkap

Horizon A, horizon top soil bersama horizon O, merupakan lapisan tanah yang dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman berumur pendek (padi, kacang-kacangan, jagung, sayur-sayuran). Lapisan ini kelihatan kehitam-hitaman pada tanah-tanah yang berada di daerah hutan karena banyak mengandung bahan-bahan organik, lambat laun apabila tanah ini dipergunakan untuk budidaya tanaman secara terus-menerus, lapisan ini akan berwarna pucat dan akhirnya, pada tanah-tanah tertentu akan menjadi warna kemerah-merahan. Keberlangsungan makhluk hidup banyak tergantung pada lapisan ini.

Horizon B, (horizon subsoil) disebut daerah akumulasi senyawa silikat, liat, besi dan senyawa aluminium serta bahan organik dari lapisan atas (horizon A). Horizon ini padat, lapisan kedap air mulai terbentuk. Sifat yang penting dari horizon ini adalah dapat menyimpan air, dan banyak sedikitnya tergantung kepada tebal-tipisnya lapisan.

Horizon C, tersusun dari bahan-bahan yang halus yang *terlindi* dari atas ke bawah dengan batuan induk yang sedikit banyak sudah mengalami pelapukan, sehingga dapat dikatakan sebagai sumber hara mineral (N, P, K, Ca) di masa mendatang. Juga akan mempengaruhi tingkat keasaman tanah. Apabila bahan induknya berupa batuan granit, secara lambat laun tanah yang terbentuk cenderung asam, bila bahan induknya berupa batuan kapur, tanah yang terbentuk lebih cepat dan cenderung basa.

Horizon D, merupakan lapisan batuan yang belum mengalami pelapukan.

F. KLASIFIKASI TANAH

Tanah di dunia menurut sifat-sifatnya diklasifikasikan menjadi beberapa ordo. Sebagai contoh diambil beberapa ordo, yaitu:

Spodosol, (berasal dari bahasa Yunani, **spodos** = abu kayu dan bahasa Latin *solum* = tanah) berkembang di daerah dingin, pada kondisi iklim yang relatif lembab dengan vegetasi hutan cemara di Lake State, di tanah-tanah tinggi New England. Sampah-sampah organik daun-daunan, buah-buahan dan ranting-ranting dalam jumlah besar didekomposisi oleh cendawan menghasilkan bahan organik yang berwarna coklat-gelap yang banyak mengandung asam humus.

Pelindian air dan asam organik menyebabkan larutnya senyawa karbonat dan garam sulfat, seperti senyawa aluminium dan besi, terlindi dari horizon A ke horizon B. Pelindian ini menyebabkan bagian bawah dari horizon A kelihatannya seperti abu. Bagian bawah dari horizon B, sebaliknya karena mengakumulasi senyawa besi dan materi organik menyebabkan berwarna coklat kopi.

Oleh karena tingkat kesuburannya rendah dan pH tanahnya rendah, tanah ini cocok untuk produksi kayu, dan habitat kehidupan liar sedangkan untuk lahan pertanian kurang baik.

Alfisol (berasal dari **Al** dan **Fe** dan **sol** = *solum*, merupakan ciri khas yang dikandung pada horizon B). Alfisol berkembang pada hutan dengan vegetasi tanaman yang merontokkan daunnya. Penimbunan sampah organik yang berasal dari tanaman herbal, semak dan pohon, kadang-kadang per tahun per are sampai

1 ton. Mengalami dekomposisi secara cepat dan melepaskan banyak unsur Ca dibanding bahan organik dari daun berbentuk jarum. Sebagai akibatnya alfisol tidak begitu asam, lebih subur dibanding spodosol dan merupakan tanah pertanian yang pertama-tama digarap oleh petani Amerika. Apabila tanah alfisol diolah dengan benar dapat dipergunakan untuk menanam biji-bijian, tembakau, kentang dan buah-buahan dengan hasil yang tinggi.

Mollisols (*tanah Prairie*). Kata mollisol berarti *tanah lembut*, dengan tekstur tanah mudah hancur. Tanah ini sangat subur, tanah bagian atas (*top soil*) berwarna cokelat kehitam-hitaman kedalamannya tiga sampai empat kaki. Karakteristik yang dominan adalah proses klasifikasi pada bagian subsoil diakibatkan pelindian kalsium karbonat yang terlarut. Oleh karena jumlah hujan yang rendah menyebabkan kalsium karbonat tidak sampai terlindi pada horizon C. Lapisan atas tanah mollisol kaya dengan bahan organik dan hara mineral, merupakan jenis tanah yang paling subur di Amerika Serikat. Tanah jenis ini banyak menghasilkan produk pertanian yang berkualitas tinggi, misalnya jagung, gandum, *barley*, *oats*, *shorgum*, dan *rye*.

Aridisol (**Tanah padang gurun**). Aridisol berasal dari bahasa Latin, **aridus** yang berarti *kering*. Tanah ini berkembang pada bioma padang gurun, di mana rata-rata curah hujan 3-12 inci. Vegetasi yang tumbuh di daerah ini merupakan tanaman yang tahan kering disebut *xerofit*, misalnya kaktus, ocatillo, semak, *creosote*, *mesquite* dan *shadscale*. Aridisol banyak terdapat di sebelah Tenggara California dan Oregon, Idaho, Wyoming, Arizona, New Mexico, Utah, dan Texas. Oleh karena jarak tanam yang jauh, menyebabkan ada ruang yang luas yang dapat tererosi oleh air dan angin. Bahan yang terkandung pada lapisan atas tanah sedikit, tetapi karena pelindian minimal, kandungan nutrisi relatif tinggi. Dengan sistem pertanian dan irigasi yang baik tanah ini dapat ditanami dengan tanaman yang mempunyai nilai ekonomis tinggi.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan pengertian mengenai tanah dan perannya dalam mendukung kelangsungan kehidupan!

- 2) Sebutkan dan jelaskan faktor-faktor apa yang mempengaruhi pembentukan tanah! Pada mulanya faktor manusia tidak dimasukkan, mengapa sekarang ikut diperhitungkan?
- 3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan tekstur dan struktur tanah, apa bedanya!
- 4) Udara tanah sangat berpengaruh bagi perkembangan tanaman, apa sebabnya? Jelaskan!
- 5) Apa manfaat air bagi tumbuhan? Apabila tanah tergenang air, peristiwa apa yang terjadi? Jelaskan!
- 6) Apa yang dimaksud dengan pH tanah? Jelaskan! Apa manfaat kita mengetahui pH tanah?
- 7) Komposisi biotik tanah sangat beragam, jelaskan keragaman biotik tanah!
- 8) Apa yang dimaksud dengan profil tanah, horizon dan batuan induk?
- 9) Manfaat apa yang dapat kita peroleh setelah mengetahui profil tanah? Jelaskan!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan tersebut Anda dapat membaca dan menelaah Kegiatan Belajar 1 tentang manfaat tanah.
- 2) Untuk menjawab pertanyaan tersebut Anda dapat mempelajari mengenai bab faktor pembentukan tanah dan mencoba mencari kegiatan pembangunan di negara kita yang ada hubungannya dengan tanah!
- 3) Bagian penjelasan mengenai struktur dan tekstur tanah akan membantu Anda untuk menjawab pertanyaan tersebut!
- 4) Pembahasan mengenai udara tanah akan membantu menjawab pertanyaan tersebut!
- 5) Pada pembahasan sudah jelas peranan dan fungsi air. Air yang menggenang menyebabkan kondisi anaerobik sehingga akan terjadi senyawa-senyawa apa? Senyawa tersebut menyebabkan tanaman bagaimana?
- 6) Pada pembahasan sudah jelas. Apabila Anda sedang mengadakan perjalanan ke luar kota, perhatikan berbagai jenis tanah, warna tanah, dan tumbuh-tumbuhan yang hidup, dari hal tersebut Anda dapat mengerti bahwa tanah itu berbeda-beda, pH tanah juga ikut menentukan atau berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman.
- 7) Pada pembahasan telah banyak diterangkan. Pergilah Anda ke kebun yang banyak sampah-sampah daun, cari yang agak membusuk dan bukalah.

- Anda akan menemukan berbagai macam makhluk hidup di dalamnya! Seandainya ingin mengetahui jasad-jasad yang kecil, ambillah seresah yang menjadi tanah dan lihatlah di bawah mikroskop!
- 8) Pada penjelasan profil tanah sudah jelas! Anda dapat melihat profil tanah secara tidak sengaja pada tebing-tebing yang baru saja longsor, orang yang membuat lubang tanah. Kalau Anda beruntung akan melihat lapisan tanah yang berbeda warna.
 - 9) Setelah Anda mempelajari hal tersebut di atas, Anda membayangkan bahwa begitu banyak manfaat yang diperoleh dari Profil Tanah, semua kegiatan penting yang berhubungan dengan tanah dapat mengambil manfaat dari Profil Tanah. Coba Anda cari kegiatan apa?



RANGKUMAN

Tanah merupakan lapisan tipis alami paduan unsur-unsur biologis, geologis, dan khemis yang menutupi permukaan bumi dan yang menunjang berbagai ragam kehidupan, termasuk manusia. Tanah membentuk lingkungan untuk sistem perakaran yang rumit pada tumbuhan, menyediakan media untuk pertumbuhan akar dan terus-menerus menyediakan air dan mineral-mineral sebagai nutrisi tumbuhan.

Tanah terbentuk di batuan atau bahan induk lain melalui proses yang dinamakan pelapukan. Kegiatan pertama pada pembentukan bahan induk tanah ialah pelapukan mekanis atau penguraian batuan dan mineral. Peretakan dan pemecahan batuan dibantu oleh hujan dan perubahan suhu.

Sifat-sifat tanah yang utama adalah tekstur, struktur, reaksi tanah, dan pengelolaan tanah. Bagian tanah yang subur (baik) terdiri dari: air (20-30%), udara (20-30%), bagian padat (50%, bahan mineral 45%, bahan organik 5%).

Tanah disusun tidak hanya oleh benda-benda mati, seperti batu, air dan udara, tetapi juga banyak sekali kehidupan di dalamnya. Apabila diambil sedikit tanah subur dan dilihat di bawah mikroskop akan tampak banyak sekali makhluk hidup yang berenang-renang. Makhluk hidup ini berperan penting dalam menentukan tingkat perkembangan tanah dan segala aspeknya dan keberlanjutannya dalam jangka panjang.

**TES FORMATIF 1** _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Tanah terbentuk dari batuan/bahan induk lain melalui proses yang dinamakan pelapukan, *kecuali* pelapukan
 - A. fisika
 - B. biologi
 - C. kimia
 - D. organik

- 2) Sekumpulan benda alam yang menutupi permukaan bumi, tempat hidup tumbuh-tumbuhan, dipengaruhi oleh relief/bentuk wilayah dan jangka waktu lamanya pembentukan, disebut
 - A. tanah
 - B. danau
 - C. sungai
 - D. laut

- 3) Sifat khas iklim yang mempengaruhi pembentukan tanah, *kecuali*
 - A. temperatur
 - B. curah hujan
 - C. tekanan udara
 - D. angin

- 4) Peranan vegetasi dalam proses pembentukan tanah, *kecuali*
 - A. melindungi tanah dari erosi oleh angin dan air
 - B. menghancurkan batuan induk dan merubah struktur dengan akar yang menembus ke bawah
 - C. merupakan siklus hara tanaman yang dapat membantu pembentukan profil tanah
 - D. akar tanaman menyediakan oksigen untuk pertumbuhan mikroorganisme

- 5) Termasuk sifat-sifat fisika tanah, *kecuali*
 - A. tekstur tanah, udara tanah, relief
 - B. tekstur tanah, struktur tanah, udara tanah
 - C. tekstur tanah, udara tanah, kelembaban tanah
 - D. tekstur tanah, struktur tanah, kelembaban tanah

- 6) Profil tanah dibagi menjadi
- A. top soil, subsoil, batuan induk, bedrock
 - B. kerikil, pasir, debu, lempung
 - C. granular, blok, datar
 - D. butir-butir, prismatic, padat
- 7) Contoh klasifikasi tanah
- A. top soil, subsoil, batuan induk, bedrock
 - B. spodosol, alfisol, mollisol
 - C. granular, prismatic, padat
 - D. kerikil, pasir, debu, lempung

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Konservasi Tanah

§ Bagaimana caranya manusia beradab merusak lingkungan hidupnya? Caranya adalah dengan menghabiskan atau merusak sumber daya alam. Pohon-pohon di hutan, di pegunungan, di lembah-lembah ditebangi dan dibakari. Mereka biarkan ternak-ternak menghabiskan rumput di padang-padang rumput sampai padang-padang yang menghidupi ternak menjadi gundul. Mereka biarkan erosi mengikis lapisan atas tanah sawah, ladang, dan mereka biarkan tanah hanyut memenuhi sungai, waduk, saluran air, dan pelabuhan. Kemudian, mundurlah peradaban mereka di tengah-tengah reruntuhan ciptaannya sendiri atau pindah dan membuka tanah yang baru. Memang pernah ada masa, ketika alam, di daerah-daerah berpenduduk sedikit, selalu berpindah-pindah, dan selalu terancam bahaya (penyakit, perang), memulihkan dirinya sendiri. Akan tetapi, di Abad Pertengahan dan kemudian di abad ke-18, sebelum ilmu pertanian dipakai untuk kepentingan manusia, Eropa Timur melintas masa penuh bahaya dan ancaman bahaya kurang makanan akibat tanah mengalami degradasi dan rusak.

Membuka tanah-tanah luas, yang semula padang rumput atau wilayah hutan beriklim sedang (Amerika Utara, Liberia, dan Australia), yang telah dilakukan selama ini mungkin telah dapat mengurangi tekanan-tekanan terhadap sumber-sumber tanah, tetapi untuk sementara saja. Bukan tidak mungkin ini malah ikut memusnahkan tanah karena mesin-mesin yang dipakai dan jumlah penduduk desa yang kecil.

Di Tiongkok Barat, setelah *revolusi Taiping* (1851-1854), yang menyebabkan perpindahan penduduk besar-besaran, rimba yang telah berabad-abad umurnya ditebang dan dibakar, akibatnya, di daerah-daerah sebelah timur timbul banjir yang membinasakan. Seorang ahli Rusia menyimpulkan bahwa peristiwa sedih ini adalah gejala yang ditemui di mana-mana di dunia ini, termasuk kemungkinan terjadi di Indonesia.

Masalah lingkungan di negara-negara berkembang sebagian besar disebabkan karena eksploitasi lahan yang berlebihan, perluasan penanaman, dan penebangan hutan. Beberapa daerah irigasi yang luas telah di rusak oleh salinisasi. Penggunaan pestisida dan pupuk kimia buatan yang semakin meningkat juga menjadi penyebab munculnya masalah-masalah lingkungan. Khususnya degradasi kesuburan tanah dan langkanya bahan bakar kayu menunjukkan gawatnya situasi ini. Tanpa tindakan pelestarian lahan tadah

hujan, erosi tanah atau hilangnya tanah karena angin atau air, salinisasi atau alkalinisasi, penipisan unsur hara tanaman dan bahan organik, memburuknya struktur tanah dan pencemaran akan mengakibatkan hilangnya 544 juta ha lahan tadah hujan 10% di Amerika Serikat, 16,5% di Afrika, 20% di Asia Barat Daya, 30% di Amerika Tengah, dan 36% di Asia Tenggara. Banyak lahan yang juga akan hilang kesuburannya karena hilangnya lapisan tanah atas. Total kerugian produktivitas lahan akan mencapai 29%.

A. EROSI DAN LAHAN KRITIS

Proses erosi terjadi pada permukaan tanah di mana butiran tanah yang mengandung unsur hara terangkut limpasan permukaan dan diendapkan ke tempat lain. Hal ini menyebabkan lapisan tanah menjadi tipis. Proses pencucian di daerah tropis basah seperti di Indonesia terjadi sangat intensif. Air yang meresap ke dalam tanah dapat melarutkan unsur hara kemudian mengangkutnya bersama butiran liat maupun koloida ke lapisan yang lebih bawah. Dalam proses pencucian, ketebalan (*solum*) tanah tidak mengalami penipisan. Sebagai akibatnya, tanah yang tebal belum tentu subur dan sebaliknya tanah yang tipis belum tentu tidak subur. Tanah yang tebal, tetapi tidak subur masih dapat ditingkatkan kesuburannya dengan cara memberikan bahan organik dan pupuk. Sedangkan, tanah yang tipis apabila tererosi dapat kehilangan kesuburannya disebabkan karena akar tanaman yang tidak dapat berpijak atau tumbuh pada tanah yang semakin tipis.

Bahasan tersebut menunjukkan bahwa ketebalan tanah merupakan faktor utama yang perlu lebih diperhatikan dalam menentukan kriteria kekritisitas suatu lahan. Dengan kata lain, erosi merupakan suatu proses kebocoran yang paling berpengaruh dalam siklus atau daur hara tanaman terhadap kemunduran kesuburan lahan. Keadaan seperti ini banyak terjadi di Indonesia, di mana lahan-lahan yang memiliki kecuraman yang tinggi masih dianggap sebagai lahan pertanian yang seharusnya diperuntukkan untuk lahan hutan, sementara lahan hutan yang curam pohon-pohonnya sudah ditebangi sehingga tingkat erosi tinggi dan kemunduran lahan terjadi semakin cepat.

Ketebalan tanah dapat dipengaruhi oleh proses erosi dan proses pembentukan tanah (pelapukan). Dalam keadaan seimbang, laju erosi harus sama dengan laju pembentukan tanah. Apabila laju erosi lebih besar dari laju pembentukan tanah maka akan terjadi keadaan kritis dan lahan yang mengalami keadaan seperti ini disebut lahan kritis.

B. DEFINISI EROSI TANAH

Erosi berasal dari bahasa Latin *erodere*, artinya *menggerogoti* adalah proses terkikisnya atau hilangnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain diakibatkan oleh angin, air atau gaya gravitasi. Terjadinya erosi menyebabkan tanah bagian atas, yang biasanya kaya dengan unsur hara tanaman hilang dan kemampuan tanah untuk meresap air akan berkurang. Tanah yang terbawa oleh erosi ini pindah ke tempat yang lebih rendah, misalnya sungai, danau atau waduk, dan laut.

C. LAJU EROSI YANG DIPERKENANKAN

Laju erosi yang diperkenankan adalah laju erosi pada suatu jenis tanah, yang seimbang dengan laju pembentukan tanah. Menurut Bennett (1939), untuk keadaan alami, laju erosi akan mencapai 23 mm dalam jangka waktu 300 tahun. Pengolahan tanah yang menyebabkan erosi tanah dan pencucian mempersingkat menjadi 30 tahun, yaitu kurang lebih 12,5 ton/ha per tahun. Laju erosi yang diperkenankan tergantung kondisi tanah yang bersangkutan. Apabila suatu profil tanah yang dalam (>1 m), memiliki kesuburan yang homogen, kehilangan lapisan tanah setebal 25 mm dalam waktu 30 tahun, merupakan hal yang tidak begitu kritis dibandingkan dengan yang terjadi pada tanah yang ketebalannya hanya 5-10 cm saja.

Laju erosi yang diperkenankan di Amerika Serikat berkisar antara dua sampai dengan 11 ton/ha per tahun. Laju erosi maksimum yang diperkenankan 11 ton/ha per tahun, berlaku bagi tanah yang tebal, permeabilitas tinggi, drainase baik dan produktif. Sedangkan laju erosi minimum yang diperkenankan ton/ha per tahun untuk tanah yang dangkal yang berbahan induk yang menghambat perakaran dan pembentukan tanah.

Untuk Indonesia yang mempunyai hutan basah dan suhu yang cukup tinggi, laju pembentukan tanah diperkirakan lebih cepat dan laju erosi yang diperkenankan sedikit lebih besar, yaitu 4-14 ton/ha per tahun (Hudson 1977).

D. EROSI GEOLOGI ATAU EROSI ALAMIAH

Erosi geologi adalah proses erosi yang berjalan sangat lambat, tidak berbahaya karena terjadi keseimbangan secara alami. Pegunungan-pegunungan, lembah-lembah, jurang curam, pantai laut dan delta sebenarnya hasil erosi yang

dilakukan oleh angin dan air yang terjadi selama bertahun-tahun secara lambat sekali. Sebagai contoh, New Orleans merupakan kota yang terletak di Teluk Mexico, dahulunya merupakan delta yang terbentuk karena tanah yang diangkut oleh sungai Mississippi yang jauhnya 1000 mil.

E. EROSI YANG DIPERCEPAT

Erosi yang dipercepat adalah proses erosi tanah yang dipercepat karena kegiatan manusia yang merusak lingkungan. Kegiatan ini menyebabkan tanah bagian atas yang relatif subur hilang. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pelayanan Konservasi Tanah di Amerika menunjukkan bahwa lebih jutaan ton tiap tahun tanah di Amerika Serikat hilang tererosi, rata-rata tanah yang hilang lebih dari 300 ton untuk tiap satu mil persegi.

F. BENTUK-BENTUK EROSI

Peristiwa erosi diawali dengan hancurnya agregasi tanah dan terlepasnya partikel-partikel tanah akibat pukulan air hujan dan aliran permukaan. Setelah tanah hancur, kemudian dibawa oleh air dan aliran permukaan, menghasilkan berbagai bentuk erosi.

1. Erosi Percikan (*Splash Erosion*)

Air hujan yang turun dari atas mempunyai energi tertentu yang mampu memukul permukaan tanah sehingga partikel-partikel tanah terlepas. Pukulan air hujan ini mampu melemparkan butir-butir tanah sampai setinggi satu meter ke udara. Erosi percikan terjadi maksimal kira-kira, 2 – 3 menit setelah hujan turun karena pada saat ini tanah dalam keadaan basah sehingga mudah dipercikkan. Setelah dua sampai tiga menit percikan akan menurun mengikuti ketebalan lapisan air.

Jenis tanah yang mengalami erosi akan menentukan terlepasnya partikel tanah dari massa tanah. Jenis tanah liat yang mempunyai gaya kohesi kuat antarpartikelnya, sangat sulit terpisahkan, sebaliknya pada tanah berpasir akan mudah sekali terlepas karena gaya kohesi yang kurang kuat. Akan tetapi, partikel-partikel tanah liat mudah terangkut dibanding partikel-partikel berpasir.

Pada daerah yang berlahan miring erosi percikan menimbulkan permasalahan yang serius karena tanah yang terlempar akibat percikan sebagian besar terlempar ke bawah dengan kekuatan yang besar. Semakin miring

permukaan tanah, semakin kuat erosi percikan yang terjadi, semakin banyak butiran tanah yang terlempar ke bawah. Sedangkan, di daerah yang permukaan datar, terjadinya erosi percikan kurang menimbulkan percikan akan terbagi merata ke segala arah.

2. Erosi Aliran Permukaan atau Erosi Lembar (*Sheet Erosion*)

Setiap jenis tanah mempunyai kemampuan untuk menyerap air berbeda-beda. Jika tanah sudah mencapai batas maksimum untuk menyerap air, sedang air masih datang terus-menerus sehingga terjadilah aliran air. Aliran air ini mempunyai energi yang mampu membawa butir-butir tanah yang terdapat di permukaan tanah sehingga menimbulkan erosi aliran permukaan.

Aliran air pada permukaan yang cukup kuat tidak selamanya membawa butir-butir tanah, tetapi juga partikel-partikel yang lebih besar sehingga membentuk lembaran. Lembaran-lembaran ini akan terbawa oleh kekuatan aliran permukaan sehingga menimbulkan erosi lembar. Erosi ini akan berbahaya karena semakin lama akan membawa tanah bagian atas yang subur.

3. Erosi Alur (*Rill Erosion*)

Proses terjadinya erosi alur merupakan kelanjutan dari erosi aliran permukaan. Aliran permukaan kadang-kadang terhalang oleh benda-benda yang keras sehingga membentuk genangan-genangan air yang sewaktu-waktu air ke luar dengan kekuatan yang besar sehingga membuat alur-alur. Erosi sering terjadi pada lahan-lahan yang berada di lereng gunung. Erosi alur merupakan penyebab utama terjadinya endapan, diperkirakan sekitar 87% endapan butir-butir tanah diangkut melalui alur tersebut.

4. Erosi Gully (*Gully Erosion*)

Apabila alur-alur yang terbentuk akibat erosi alur terus-menerus digerus oleh air, menyebabkan menjadi lebih dalam dan lebar dengan aliran air yang lebih kuat akan menimbulkan erosi *gully*. Jadi, erosi *gully* merupakan lanjutan dari erosi alur.

5. Erosi Selokan (*Channel Erosion*)

Beberapa hal yang menyebabkan terbentuknya erosi selokan, yaitu kelanjutan dari erosi *Gully*, akibat runtuhnya terowongan atau saluran di bawah tanah, dan akibat tanah longsor yang arahnya memanjang.

Berdasarkan arah pengikisan akibat erosi selokan dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu:

- a. tanah terkikis ke arah bawah menuju arah sungai, terjadi pada tanah lempung berliat;
- b. tanah terkikis ke arah depan (ke atas lereng), terjadi pada tanah endapan yang berkerikil;
- c. tanah terkikis mulai dari tepi sungai (sungai merupakan muara dari selokan), sering terjadi pada tanah lempung berpasir dan lebih dikenal dengan istilah *pengikisan tebing*.

6. Erosi Gerak Massa Tanah (Longsor)

Erosi gerak massa tanah, terjadinya agak berlainan dengan erosi-erosi lainnya, terjadi karena gaya gravitasi. Beberapa bentuk erosi gerak massa tanah, yaitu rayapan, longsor, runtuh batu, dan aliran lumpur. Longsor tanah ini baru bisa terjadi bila terdapat adanya lapisan kedap air di bawah permukaan tanah, lereng yang cukup curam sehingga tanah dapat meluncur ke bawah dan terdapat cukup kandungan air di dalam tanah sehingga tanah yang berada di lapisan kedap menjadi jenuh.

7. Erosi Aliran di Bawah Permukaan (Pelarutan)

Erosi ini kurang banyak diperhatikan orang, banyak terjadi di tanah kapur sehingga sering ditemukan sungai-sungai di bawah tanah. Erosi ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap kandungan mineral-mineral basa yang terlarut. Kandungan yang terlarut dapat mencapai dua kali lipat dibanding mineral yang terlarut oleh aliran permukaan.

G. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI EROSI

Intensitas erosi tergantung dari beberapa faktor yang saling berinteraksi, yang terpenting adalah sebagai berikut.

1. Volume dan Intensitas Curah Hujan

Volume hujan rata-rata tahunan yang tinggi tidak akan menyebabkan timbulnya erosi yang berat, apabila hujan hanya jatuh sangat lebat, tetapi hanya sekali kali. Volume hujan menunjukkan banyaknya air hujan selama terjadi 6 jam selama kurun waktu satu bulan atau satu tahun. Intensitas hujan menunjukkan banyaknya curah hujan untuk tiap satuan waktu, biasanya

dinyatakan dalam mm/jam atau cm/jam. Intensitas hujan ini yang sangat mempengaruhi tingginya erosi.

2. Sifat-sifat Tanah

a. *Tekstur tanah*

Dalam bidang pertanian dikenal beberapa nama tanah, misalnya lempung berat, lempung sedang, tanah lengket, tanah pasir, tanah sarang. Sifat tanah tersebut berbeda-beda, sebagai akibat dari butiran-butiran yang menyusun tanah yang bersangkutan maka dikenal tanah yang bertekstur kasar sampai halus. Pada tanah-tanah yang mempunyai tekstur kasar (pasir) lebih kuat menahan erosi karena butiran-butiran partikel yang besar. Untuk mengangkut butiran-butiran yang besar memerlukan tenaga yang lebih kuat. Daya kohesi yang dimiliki oleh tanah-tanah dengan tekstur halus (liat) menyebabkan gumpalan-gumpalan tanah yang sukar dihancurkan. Tekstur tanah yang mengandung debu dan pasir halus karena daya kohesinya rendah dan ringan menyebabkan peka terhadap erosi.

b. *Struktur tanah*

Penyatuan atau penggumpalan butiran pasir dan debu yang diseliputi oleh liat membentuk kelompok-kelompok kecil. Kelompok-kelompok tersebut kemudian saling bergabung membentuk kelompok-kelompok yang lebih besar dengan bentuk tertentu yang disebut *struktur tanah*. Bentuk dan struktur tanah yang mantap (remah, bergumpal) mempunyai porositas yang tinggi sehingga mudah menyerap air dan menghalangi aliran permukaan serta tidak mudah hancur oleh pukulan air hujan menyebabkan tahan terhadap erosi.

Sedangkan struktur tanah yang labil, mudah hancur karena pukulan air hujan. Tanah menjadi butir-butir atau partikel yang lebih kecil, porositasnya rendah, air tidak terserap sehingga aliran permukaan menjadi meningkat. Meningkatnya aliran permukaan ini menyebabkan timbulnya erosi yang lebih besar.

c. *Kandungan bahan organik*

Bahan organik mempengaruhi sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Idealnya bahan organik yang terkandung di dalam tanah sebesar 5%. Penambahan bahan organik ke dalam tanah, menyebabkan tanah mempunyai kemantapan struktur yang tinggi. Struktur tanah yang mantap ini menyebabkan daya infiltrasi meningkat sehingga tanah tahan terhadap erosi. Tanah yang mengandung bahan organik kurang dari 2% pada umumnya peka terhadap erosi.

Sebagai contoh penelitian di Iowa, USA, tanah yang diberi atau dipupuk bahan organik (pupuk hijau) sebanyak 16, 6, dan 0 ton untuk tiap are menyebabkan kehilangan tanah sebanyak 4, 9 dan 22 ton per are. Kehilangan tanah dari lahan yang tidak diberi bahan organik lima kali lebih dibanding tanah yang dipupuk dengan bahan organik. Pemberian bahan organik meningkatkan kemampuan menyerap air, dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman jagung. Pertumbuhan tanaman jagung menjadi lebih bagus, perakarannya berkembang dengan baik sehingga menahan erosi.

3. Topografi Lereng

Sudah dapat dipastikan bahwa, intensitas aliran permukaan dan erosi terkandung pada tingkat kemiringan suatu daerah. Lereng yang semakin curam menyebabkan kecepatan aliran permukaan meningkat sehingga kekuatan mengangkut juga meningkat.

4. Jenis Vegetasi Penutup

Vegetasi penutup tanah sangat membantu menahan erosi, yaitu:

- a. menghalangi air hujan yang langsung menghantam permukaan tanah sehingga kekuatannya jauh berkurang. Keefektifan vegetasi menahan erosi sangat ditentukan oleh kerapatan dan tinggi vegetasi. Makin rapat dan pendek vegetasi makin efektif menahan erosi;
- b. semakin rapat vegetasi akan menghambat aliran permukaan dan daya menyerap air semakin tinggi karena produk biomassa vegetasi menambah bahan organik tanah;
- c. vegetasi yang rapat juga membantu percepatan penguapan lewat tanaman (transpirasi) penyerapan akan lebih banyak.

Sebagai contoh erosi relatif di hutan lebat hanya 3%, pada tanaman legume dan rumput sebesar 7%, pada pertanaman alfalfa sebesar 10% dibanding tanaman yang dibuat baris-baris berjajar yang mengalami erosi 100%.

5. Manusia

Tuntutan kebutuhan hidup manusia dapat menjadi pemicu meningkatnya erosi. Penebangan hutan yang tidak terkendali akan menyebabkan tanah menjadi terbuka, bahan organik cepat terdekomposisi bentuk yang lebih sederhana dan mudah hanyut karena hujan. Tanah yang terbuka sangat peka terhadap erosi, lebih-lebih di daerah tropis basah.

Sistem budidaya tanaman pangan yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah lingkungan juga akan menyebabkan tanah rusak dan mudah mengalami erosi, misalnya penggunaan pupuk kimia terus-menerus tanpa dibarengi dengan penambahan bahan organik. Tanah menjadi keras dan daya serap menjadi rendah sehingga aliran permukaan menjadi lebih besar dan erosi meningkat.

H. KERUSAKAN YANG DITIMBULKAN OLEH EROSI

Erosi merupakan salah satu penyebab utama kerusakan dan kemunduran lingkungan. Oleh karena itu, masalah erosi harus ditangani dengan serius, supaya kerusakan yang ditimbulkannya tidak bertambah parah. Banyak kehancuran negara-negara besar di zaman dulu yang disebabkan oleh erosi, misalnya Kerajaan Babylonia di Mesopotamia, Romawi. Erosi juga akan menimbulkan tanah-tanah kritis yang jumlahnya semakin meningkat.

Di samping suhu, besar curah hujan dalam setahun tidak terbagi merata. Hujan lebat dan masa kering menghancurkan susunan alamiah tanah, menghanyutkan atau menerbangkan seluruh hara-hara tanaman dan bahkan lapisan atas tanah (*top soil*) ke sungai dan akhirnya ke laut. Persoalan bagaimana mengelola kesuburan tanah daerah beriklim panas dan beriklim sedang merupakan permasalahan yang semakin mendesak.

Di Indonesia yang beriklim tropis, akibat erosi yang menyebabkan kerusakan tanah sudah banyak terjadi, misalnya di daerah Gunung Kidul, Pantai Utara Jawa, di sebelah selatan Banjarnegara, daerah Ponorogo dan akan meluas apabila tidak terkendali. Secara garis besar kerusakan yang timbul akibat adanya erosi dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Menurunnya Tingkat Kesuburan Tanah di Tempat yang Tererosi

Tanah yang subur, mengandung banyak bahan organik dan unsur hara umumnya terdapat pada bagian atas atau bagian permukaan (*top soil*), sedangkan lapisan tanah bagian bawah dapat dikatakan kurang subur. Mengapa lapisan atas subur? Oleh karena pada lapisan ini banyak tertimbun bahan-bahan organik dari sisa-sisa tanaman yang dapat menyuburkan tanah. Apabila terjadi hujan dan erosi terjadi maka lapisan bagian atas yang akan terkikis kemudian terbawa oleh aliran air. Dengan terangkutnya lapisan tanah bagian atas maka yang tertinggal tanah bagian bawah yang biasanya kurang subur.

Untuk menyuburkan kembali diperlukan upaya pemberian bahan organik dan pemupukan dan diperlukan biaya yang besar, lama, dan sulit. Bahkan tanah

makin lama akan menjadi gundul dan hancur. Di dalam sistem keseimbangan unsur hara, erosi merupakan salah satu bentuk kebocoran atau kehilangan hara mineral yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman.

2. Menimbulkan Pendangkalan atau Pengendapan di Tempat Lain

Proses terjadinya erosi adalah terkikisnya butir-butir tanah, kemudian dengan adanya aliran air, butir-butir tanah terangkut. Setelah aliran air tidak mampu lagi mengangkut butir-butir tanah tersebut maka tanah tersebut akan diendapkan di suatu tempat. Apabila tanah yang diendapkan itu banyak akan menimbulkan kerusakan dan merupakan pencemaran (polusi) yang disebut *polusi sedimen*.

Endapan erosi yang terjadi di dalam sungai akan mengakibatkan pendangkalan sehingga mengurangi daya tampung sungai. Jika sungai sudah tidak mampu lagi menampung air maka timbullah luapan air yang disebut banjir, misalnya banjir akibat meluapnya Sungai Brantas di Jawa Timur. Di samping itu, pendangkalan sungai dapat mengganggu alur pelayaran kapal, di Jawa dulu banyak sungai yang dapat dilewati kapal, tetapi sekarang sudah tidak ada lagi sungai yang dilewati kapal.

Endapan yang berupa batu-batuan, pasir dan kerikil bila terendapkan pada tanah-tanah yang subur akan sangat merugikan karena tanah menjadi tidak subur lagi. Sebaliknya, endapan yang banyak mengandung unsur hara tanaman akan memberi pengaruh yang baik, yaitu meningkatnya kesuburan pada tempat-tempat pengendapan, misalnya tanah jenis Alluvial di sekitar sungai.

Di samping itu, kadang-kadang endapan yang dibawa karena erosi, melewati daerah pertanian yang intensif sehingga mengandung banyak sekali unsur hara (N, P, K) dan mungkin residu pestisida yang berbahaya. Unsur hara ini akan menimbulkan pencemaran atau polusi kimia pada tempat pengendapan sehingga sangat merugikan lingkungan, misalnya terjadinya *methemoglobin* (penyakit pada bayi karena kelebihan nitrat), *eutrofikasi* atau penyuburan oleh alga (*algal bloom*) tertentu di perairan karena mengandung banyak unsur hara yang terbawa tanah endapan.

Residu pestisida yang terangkut oleh endapan juga akan menimbulkan permasalahan biomagnifikasi atau perbesaran biologi melalui siklus rantai makanan (*food chain cycle*) yang memungkinkan timbulnya permasalahan kesehatan yang meluas dan persediaan air bersih.

I. CARA ATAU METODE KONSERVASI TANAH DAN AIR

Peristiwa erosi sangat sulit untuk dihindari dan memang sangat membahayakan lahan-lahan pertanian, terutama lahan-lahan kering. Namun demikian, terjadinya erosi yang terus-menerus tidak boleh dibiarkan begitu saja. Salah satu cara untuk menanggulangnya adalah dengan melakukan konservasi tanah. Pengertian konservasi tanah adalah memanfaatkan tanah sesuai dengan kemampuannya, sesuai dengan klasifikasi kemampuan lahan dan memperlakukan sesuai dengan syarat yang diperlukan sehingga kerusakan dapat dihindarkan.

Usaha yang dilakukan dalam konservasi tanah tidak hanya mencegah terjadinya erosi, tetapi juga memperbaiki tanah-tanah yang rusak. Penyebab utama timbulnya erosi adalah air hujan yang mempunyai tenaga kinetik baik pada saat jatuhnya ke tanah, maupun waktu terjadinya aliran air. Oleh karena itu, tujuan konservasi tanah adalah melindungi tanah supaya tanah tidak terkena langsung oleh pukulan air hujan, mengurangi aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi tanah dengan agregasi tanah.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan meliputi (1) menjaga tanah supaya terhindar dari penghancuran dan pengangkutan oleh air hujan, (2) melakukan penutupan pada permukaan tanah dengan menggunakan tanaman atau sisa-sisa tanaman (*mulsa organik*), (3) mengatur aliran permukaan supaya mempunyai kekuatan alir yang tidak merusak tanah.

Untuk melakukan konservasi tanah bisa dilakukan beberapa metode, di antaranya *metode vegetatif*, *metode mekanis*, dan *metode kimia*.

1. Metode Vegetatif

Prinsip metode vegetatif adalah memanfaatkan tanaman dengan cara sedemikian rupa sehingga tanah dapat terhindar dari pukulan air hujan dan aliran permukaan. Kemampuan tanaman untuk melindungi tanah dari erosi bergantung pada beberapa faktor antara lain: ketinggian tanaman, keadaan daun tanaman, kepadatan tanaman dan sistem perakaran tanaman.

Tetes air yang jatuh dari pohon yang tinggi mempunyai kekuatan yang besar ketika jatuh ke tanah sehingga kekuatan erosinya juga besar dibanding air yang jatuh dari tanaman yang rendah. Oleh karena itu, tanaman yang berbatang pendek akan lebih baik sebagai pelindung tanah dari erosi.

Besarnya tetesan air hujan akan menentukan energi yang jatuh ke tanah. Semakin besar tetesan air, semakin besar pula energi yang ditimbulkannya. Jenis

tanaman yang berdaun lebar dan berbentuk mangkok yang dapat menampung air hujan banyak, tetesan airnya akan menimbulkan erosi percikan yang lebih besar dibandingkan tanaman yang berdaun kecil. Oleh sebab itu, untuk melindungi tanah dari erosi ditanam tanaman yang berdaun kecil.

Semakin padat atau rapat tanaman yang tumbuh di atas lahan semakin kecil terjadinya erosi. Lahan akan aman dari erosi apabila 70% tertutup oleh tanaman. Sistem perakaran tanaman sangat menentukan hubungan antarbutir tanah dan keadaan pori di dalam tanah. Sistem perakaran yang lebat akan lebih banyak menyerap air dan mengurangi aliran permukaan.

Berdasarkan hal di atas, agar program konservasi tanah dapat berhasil, kita harus dapat memilih jenis tanaman yang sesuai dengan metode yang digunakan. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk keperluan ini, antara lain berikut ini.

a. *Menanam tanaman penutup tanah (cover crop)*

Berbagai jenis tanaman dapat dimanfaatkan sebagai tanaman menutup tanah. Oleh karena itu, pemilihan tanaman harus diperhitungkan habitat tanaman dan pola yang digunakan seperti berikut ini.

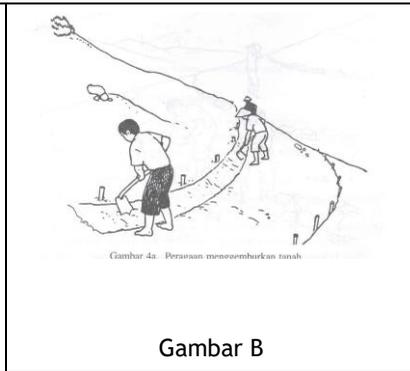
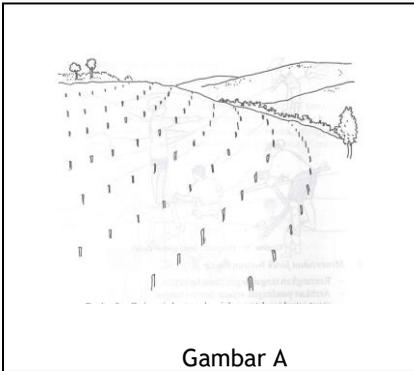
- 1) Jenis tanaman untuk tanah rendah, dilakukan dengan pola tanam:
 - a) pola tanam rapat, misalnya tanaman rebah-bangun (*Mimosa invisa*), kebisin (*Cenrtosoma pubescens*);
 - b) pola tanam barisan, misalnya Eupatorium triplinerve, Ageratum mexinatum;
 - c) untuk melindungi teras dan saluran air, misalnya wedusan (*Ageratum conyzoides*), arum (*Indigofera endecophylla*), gempur batu (*Borreria latt folia*).
- 2) Jenis tanaman untuk tanah sedang, tanaman ini pohonnnya berukuran agak tinggi, pola tanam yang dilakukan:
 - a) ditanam di antara tanaman pokok secara teratur, misalnya: *Clibadium surinamense* dan *Euphorarium pallessens*;
 - b) ditanam dengan pola pagar, misalnya tembelean (*Lantana camara*), *Tephrosia candida*, dan *Desmodium heterophyllum*;
 - c) ditanam di luar areal tanam, sebagai penguat tebing dan sumber bahan organik, misalnya lamtoro (*Leucauna glauca*), tembelean (*Lantana camara*), *Graphtophyllum pectium*.
- 3) Tanaman Pelindung, biasanya merupakan pohon yang tinggi, ditanam berbaris di antara tanaman pokok, tanaman penutup juga dapat berfungsi sebagai tanaman pelindung, misalnya lamtoro (*Leucaena glauca*), Sengon

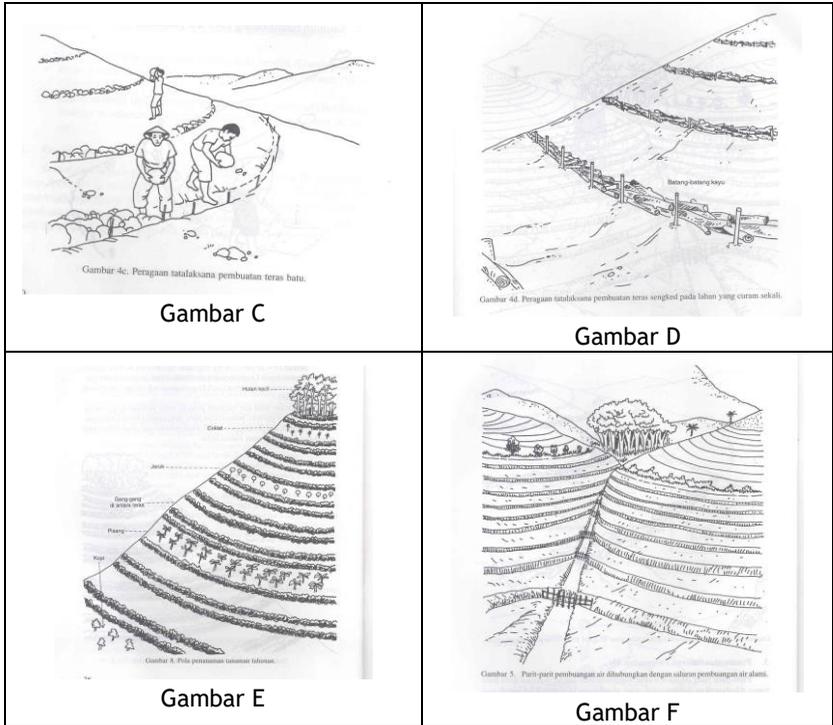
(*Periserianthes falcate*), Gamal (*Glyricidia sepium*) dan Dadap (*Erythrina sp.*).

- 4) Tanaman Penutup Tanah yang tidak disenangi karena sulit diberantas dan tidak dapat ditanam bersama-sama dengan tanaman pokok, misalnya alang-alang (*Imperata cylindrica*), gelagah (*Saccharum spontaneum*), rumput pahit (*Paspalum compressum*)

b. *Penanaman dalam strip (strip cropping)*

Budidaya *strip* merupakan suatu cara mengubah petak lahan di lereng menjadi lahan dataran tinggi yang produktif. Sistem ini memungkinkan menstabilkan dan memperkaya tanah, mempertahankan kelembaban tanah, mengurangi hama dan penyakit serta kebutuhan pupuk kimia. Usaha tani ini, menjadikan sisi bukit yang mengalami erosi menjadi lanskap bertingkat dan hijau. Teknik budidaya *strip* adalah tanah lereng bukit dibuat *strip*, sebidang tanah dengan lebar tertentu dan panjang mengelilingi lereng, ditanami satu jenis tanaman, sedang *strip* berikutnya ditanami tanaman lain. Penanaman dilakukan berselang-seling menurut garis kontur pada lereng gunung. Tanaman yang dipilih dapat tanaman yang permanen (jeruk, kopi, kakao) dan tanaman penghasil pupuk, yaitu tanaman *leguminosae*.





Gambar 3.11
 Penanaman Tanaman Sistem Strip (*Strip cropping*)

Keterangan:

- Gambar A, garis-garis kontur sebagai dasar untuk pembuatan teras.
- Gambar B, peragaan penggemburan tanah.
- Gambar C, pembuatan teras batu.
- Gambar D, pembuatan teras sengked pada lahan yang curam sekali.
- Gambar E, pola penanaman tanaman tahunan.
- Gambar F, parit-parit pembuangan air dihubungkan dengan saluran pembuangan air alami.

c. Penanaman campuran (multiple cropping)

Sistem budidaya tanaman dengan menanam lebih dari satu jenis tanaman dalam sebidang tanah secara bersamaan atau digilir disebut penanaman campuran. Dua alasan utama sistem pertanian campuran digunakan adalah sebagai berikut.

- 1) Alasan teknis dan fisiologi: memanfaatkan kondisi lingkungan dan ekosistem yang tersedia dengan lebih baik, meningkatkan kesinambungan

hasil dan melindungi tanah terhadap erosi karena penutupan permukaan yang lebih baik.

- 2) Alasan sosial-ekonomi: modal dan hasil terbatas, kebutuhan sehari-hari dapat tercukupi.

Sistem budidaya penanaman campuran dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu sebagai berikut.

- 1) Sistem Tumpang Sari, budidaya tanaman pada sebidang tanah dengan menanam dua atau lebih jenis tanaman dalam waktu yang bersamaan. Penanamannya dapat dilakukan secara teratur membentuk barisan yang diselang-seling atau juga tidak membentuk barisan. Sebagai contoh: menanam kacang, ketela dan kedelai di antara tanaman jagung.
- 2) Sistem Budidaya Beruntun, budidaya tanaman dengan dua atau lebih jenis tanaman pada bidang tanah yang sama dengan pengaturan waktu, tanaman kedua ditanam setelah tanaman pertama dipanen. Sebagai contoh, menanam kedelai di sawah setelah padi dipanen.
- 3) Sistem budidaya Tumpang Gilir, merupakan kombinasi antara tumpangsari dengan sistem penanaman beruntun. Budidaya tanaman dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang tanah dengan pengaturan waktu. Penanaman tanaman kedua dilakukan setelah tanaman pertama berbunga.

d. Penggunaan mulsa (mulching)

Mulsa, artinya suatu lapisan dangkal pada titik pertemuan tanah dengan air, dengan sifat-sifat yang berbeda dari lapisan permukaan tanah aslinya (Stigter, 1984). Pemulsaan merupakan teknik yang penting untuk memperbaiki tanah, meningkatkan kehidupan organisme tanah, menjaga struktur dan kesuburan tanah, menjaga kelembaban tanah, mengurangi pertumbuhan gulma, dan mencegah radiasi sinar matahari dan curah hujan (pengendali erosi), dan mengurangi kebutuhan akan pengolahan tanah. Mulsa tradisional yang digunakan secara luas mencakup lapisan rumput yang kering, sampah tanaman (jerami, dedaunan dan sebagainya), bahan-bahan organik segar dari pepohonan.

e. Rotasi tanaman

Rotasi tanaman yang efektif akan merangsang kesuburan tanah dan menghindarkan erosi serta mendukung sistem pertanian atau budidaya yang berkelanjutan. Pola rotasi selama tiga periode tanam yang melibatkan beberapa

jenis komoditi pertanian dapat dijalankan untuk mempertahankan kesuburan. Sebagai contoh, pada periode *pertama* ditanam tanaman yang memerlukan unsur hara yang tinggi, misalnya jagung, tembakau dan kapas. Pada periode *kedua*, ditanam tanaman yang tidak begitu banyak menyerap unsur hara, misalnya gandum, barley atau oats, kemudian pada periode ketiga ditanam tanaman penutup tanah berupa legume atau rumput. Tanaman rumput dan legume penutup tanah sebagai tanaman selingan pada periode ketiga bertujuan menutup tanah, menambah unsur hara dan bahan organik dari hijauan rumput dan legume. Di samping itu, tanah terhindar dari pukulan air hujan dan erosi. Penanaman penutup tanah dengan legume dapat menyumbangkan Nitrogen oleh bakteri penambat N yang hidup pada bintil akar tanaman tersebut sampai 200 pound per are.

Selain rotasi tanaman, dapat juga dengan sistem pertanaman campuran, dan larikan karena mempunyai tujuan sama, yaitu memanfaatkan kekuatan biologi atau pengelolaan yang lebih baik melalui tanaman legume, rerumputan, pakan ternak dan jenis tanaman lain yang berguna. Dengan sistem tersebut, eksploitasi unsur hara tanah dikurangi dan kehidupan biologi tanah diperbaiki. Biomassa yang dihasilkan sebagian langsung dikembalikan ke tanah atau dikomposkan melalui ternak maka tingkat kesuburan tanah dan produktivitas dapat dipertahankan. Kelemahan sistem ini, apabila dieksploitasi berlebihan, seperti pertanaman monokultur, menyebabkan terjadinya kemunduran aktivitas biologi dan penipisan unsur hara serta kesehatan tanah.

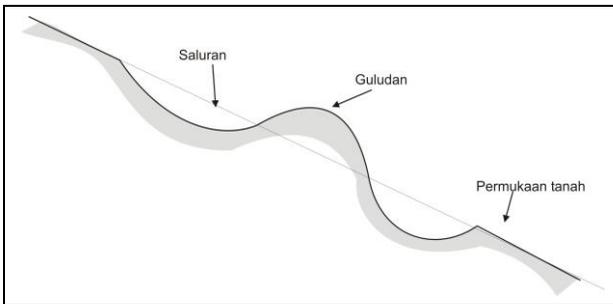
Kesehatan tanah akan mempengaruhi kesehatan tanaman, tanah yang sehat merupakan prakondisi bagi kesehatan tanaman. Kesehatan tanaman dipengaruhi langsung oleh penyerapan senyawa organik tertentu yang dibentuk ketika organisme tanah melakukan proses mineralisasi bahan organik. Sebagai contoh, senyawa asam phenol karboksilat yang dihasilkan ketika Aktinomisetes merombak tanaman kayu. Aktinomisetes berperan penting dalam menghasilkan senyawa antibiotik yang dapat diserap oleh tanaman.

2. Metode Mekanis

Air dan tanah sangat berhubungan erat, setiap melakukan tindakan pada tanah pasti akan membawa pengaruh terhadap rata air pada tanah tersebut. Oleh karena itu, dalam melakukan konservasi tanah sekaligus melakukan konservasi terhadap air. Konservasi tanah secara mekanis bertujuan memperkecil terjadinya aliran permukaan dan menyalurkan aliran air ke dalam tempat atau saluran yang tersedia. Adapun cara-cara yang termasuk ke dalam konservasi tanah secara

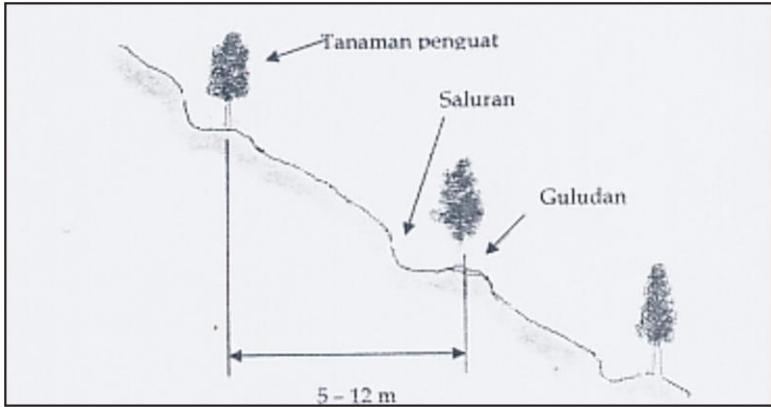
mekanis adalah pembuatan teras atau *sengkedan*. Ada beberapa macam teras yang dapat dibuat untuk keperluan mengurangi panjang lereng, kecepatan aliran dan memberi kesempatan air untuk meresap.

- a. *Teras datar*. Teras datar dibuat dengan tujuan untuk menahan aliran permukaan, kemudian air diserap oleh tanah. Teras ini dibuat pada lereng yang datar dengan kemiringan tidak lebih dari 3%, dilengkapi dengan saluran air baik di atas *guludan* atau di bawah *guludan*. Untuk memperkuat *guludan* ditanami tumbuh-tumbuhan penguat, sebaiknya dibuat sejajar dengan garis kontur.



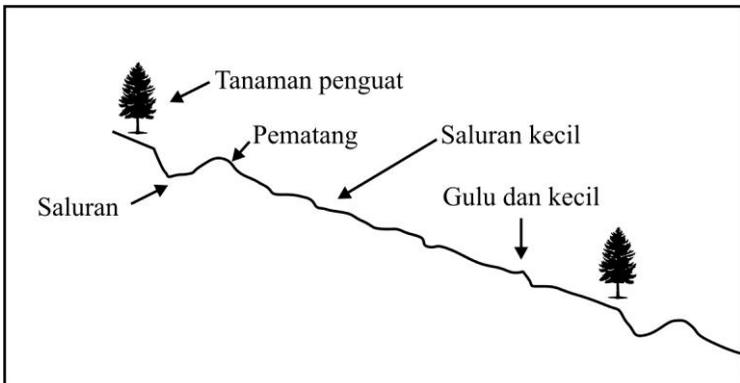
Gambar 3.12
Teras Datar

- b. *Teras kridit*. Teras kridit dibuat dengan tujuan mempertahankan kesuburan tanah, pada lereng dengan kemiringan 3-10%. Tahap pertama yang harus dibuat adalah pembuatan *guludan* penguat yang sejajar dengan garis kontur. *Guludan* dibuat dengan jarak 5 -12 m dan harus ditanami tanaman penguat, seperti lamtoro, kaliandra. Untuk memperkuat guludan, lebih baik guludan dibuat dari batu-batu yang ditumpuk.



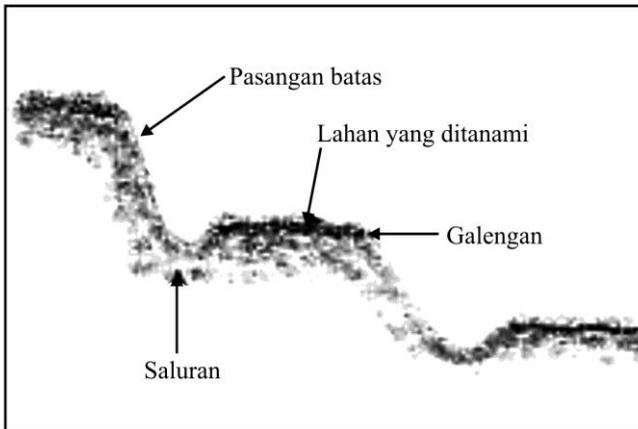
Gambar 3.13
Teras Kridit

- c. *Teras pematang*. Teras pematang dibuat sejajar dengan garis berbentuk pematang, digunakan pada lereng dengan kemiringan 10 - 40%. Jarak pematang satu dengan yang lain sekitar 10 m dan di antara pematang dibuat guludan-guludan kecil dengan jarak dua sampai tiga meter. Untuk memperkuat pematang harus ditanami tanaman penguat dan tanaman penutup tanah berupa rumput.



Gambar 3.14
Teras Pematang

- d. *Teras bangku*. Teras ini dibuat dengan cara memotong lereng, kemudian diratakan sehingga menyerupai, seperti bangku, cocok dibuat pada lereng dengan kemiringan 10 - 30%. Semakin curam lereng maka semakin dekat jarak teras atas semakin sempit lebar bidang yang rata. Pada tepi teras dibuat pematang dengan lebar 20 dan tinggi 30 cm. Tanaman penguat ditanam di pematang, misalnya dengan lamtorogung, kahandra atau rumput makanan ternak. Di bawah teras perlu dibuat saluran.



Gambar 3.15
Teras Bangku

3. Metode Kimia

a. Menggunakan bahan organik

Keuntungan menggunakan bahan organik adalah sebagai berikut.

Peranan bahan organik ada yang bersifat langsung terhadap tanaman, tetapi sebagian besar mempengaruhi tanaman melalui perubahan sifat dan ciri tanah. Pengaruh langsung senyawa organik sebetulnya dapat diabaikan, sekiranya kemudian tidak ditemukan bahwa beberapa zat tumbuh dan vitamin dapat diserap langsung dan dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Pada mulanya orang menganggap bahwa hanya asam amino alanin dan glisina yang diserap tanaman. Serapan senyawa Nitrogen (N) tersebut ternyata relatif rendah daripada bentuk N yang lain. Hasil-hasil dekomposisi bahan organik dari sifat-sifat humus yang telah dikemukakan, dapat dikatakan bahwa bahan organik akan sangat mempengaruhi sifat fisika, kimia dan biologi tanah.

1) Pengaruh Bahan Organik terhadap Sifat Fisik Tanah

- a) *Kemampuan menahan air.* Kemampuan bahan organik untuk menahan air dapat dihubungkan dengan sifat polaritas air yang bermuatan negatif dan positif. Muatan-muatan listrik ini berhubungan dengan partikel tanah dan bahan organik. Air tanah mempengaruhi organisme (*makro-mikroorganisme*) tanah dan tanaman di atasnya. Kadar air optimal bagi tanaman dan mikroorganisme adalah 0.5 bar/atmosfer. Dalam hal ini bahan organik dapat berfungsi untuk menjaga kelembaban sehingga kelangsungan kehidupan di dalam tanah terjamin. Bahan organik yang telah menjadi humus dengan rasio C-N 20 dan kadar bahan organik 57% dapat menyerap air dua sampai empat kali lipat bobotnya. Oleh karena itu, humus dapat menjadi penyangga ketersediaan air.
- b) *Mengubah warna tanah.* Penambahan bahan organisme dalam tanah menyebabkan warna tanah menjadi lebih gelap (cokelat-hitam). Hal ini berpengaruh terhadap suhu tanah. Warna gelap menyerap energi panas lebih banyak sehingga tanah menjadi lebih hangat, dan suhu meningkat. Meskipun bahan organik tersebut menyerap panas yang tinggi, tetapi juga berfungsi sebagai isolator panas karena bersifat menghantarkan panas yang rendah. Kestabilan suhu ini menyebabkan aktivitas organisme tanah lebih aktif.
- c) *Bahan organik meningkatkan porositas tanah.* Porositas ini ditentukan oleh ukuran dan padatan tanah yang dapat meningkatkan aerasi, kandungan air, dan menentukan perbandingan tata udara dan air yang baik. Pori-pori akan membentuk jaringan dalam tanah dalam bentuk tiga dimensi. Udara dalam ruang pori tanah umumnya didominasi oleh gas-gas O₂, N₂, dan CO₂. Hal ini penting bagi respirasi akar tanaman dan organisme tanah yang kemudian mempengaruhi jumlah mikroorganisme tanah.
- d) *Memperbaiki struktur tanah.* Sifat humus (bahan organik) adalah gembur, bobot yang rendah, kelembaban tinggi sehingga pencampuran dengan tanah mineral memberikan struktur yang lebih gembur, remah dan mudah diolah. Struktur tanah yang demikian merupakan kondisi fisik tanah yang baik untuk media pertumbuhan tanaman. Tanah yang bertekstur liat, pasir, atau gumpal akan diperbaiki apabila bercampur dengan bahan organik.

- e) *Merangsang dan memantapkan agregasi tanah.* Pembentukan agregat yang stabil terjadi karena mudahnya membentuk kompleks dengan bahan organik dengan mekanisme:
 - (1) Peningkatan secara fisik misel-misel tanah oleh miselia jamur dan aktinomisetes, dengan mekanisme seperti ini pembentukan struktur tanpa adanya fraksi liat dapat terjadi di dalam tanah.
 - (2) Peningkatan secara kimia misel-misel liat melalui ikatan bagian-bagian pada senyawa organik yang membentuk rantai panjang dan antarbagian negatif liat dengan bagian negatif (karboksil, hidroksil) dari senyawa organik dengan perantara basa dan ikatan Hidrogen dan sebaliknya, mengurangi erosi tanah.
 - f) *Menurunkan sifat plastisitas,* kohesi dan sifat buruk lainnya dari tanah liat.
 - g) *Peningkatan porositas tanah.* Hal ini ditentukan oleh ukuran dan padatan tanah yang dapat meningkatkan aerasi, kandungan air, dan menentukan perbandingan tata udara dan tata air yang baik. Pori-pori akan membentuk jaringan dalam tanah dalam bentuk tiga dimensi. Udara dalam ruang pori tanah umumnya didominasi oleh gas-gas O₂, N₂, dan CO₂. Kondisi ini penting untuk pernafasan akar tanaman dan mikroorganisme tanah, dan mempengaruhi mikroorganisme aerobik dan anaerob.
- 2) Pengaruh bahan organik terhadap sifat Kimia Tanah
- a) *Meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KPK) tanah.* Dalam proses dekomposisi bahan organik akan dihasilkan humus mempunyai muatan negatif (gugus karboksil, -COO-, dan hidroksil, -O-) yang mampu mengkelat unsur hara dan menahan air sehingga pemberian bahan organik dapat membantu menyimpan pupuk dan air yang diberikan ke dalam tanah.
 - b) *Menyediakan hara mineral hasil dekomposisi.* Dekomposisi bahan organik pada akhirnya akan menghasilkan hara makro mineral (N, P, K, S) dan mikro mineral (Mg, Ca, Fe, Mn, Zn) yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
 - c) *Menghasilkan asam humus (humic acid).* Asam humus sangat berperan dalam proses pelarutan hara mineral tertentu sehingga menjadi bentuk tersedia bagi tanaman, mengemburkan tanah, membantu menciptakan top soil, dan mempengaruhi perkembangan akar tanaman.

- 3) Pengaruh Bahan Organik terhadap Sifat Biologi Tanah.
- a) *Meningkatkan jumlah populasi dan aktivitas organisme tanah.* Bahan organik akan menjadi sumber makanan organisme tanah (serangga) dan memberikan perlindungan dan kenyamanan bagi kehidupannya sehingga aktivitasnya meningkat.
 - b) *Aktivitas mikroorganisme tanah meningkat.* Bahan organik merupakan sumber energi (sumber karbon) bagi mikroorganisme tanah. Bahan organik yang masih segar dan kompleks akan dirombak (dekomposisi) menjadi bentuk yang lebih sederhana diikuti dengan perkembangan jumlah populasi mikroorganisme. Meningkatnya aktivitas organisme dan mikroorganisme tanah ini menyebabkan tanah menjadi "hidup" dan meningkat kesuburannya. Aktivitas mikroorganisme di daerah tropis sangat aktif sehingga bahan organik akan cepat terurai.

b. Menggunakan pupuk kandang

Pupuk kandang artinya kotoran atau urine yang dikeluarkan oleh hewan, seperti kuda, kerbau, sapi, domba, babi atau ayam setelah mengalami fermentasi. Pupuk kandang mengandung unsur hara lengkap yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya. Di samping mengandung unsur makro, seperti N, P, dan K, pupuk kandang juga mengandung unsur hara mikro, seperti Ca, Mg, dan S. Unsur fosfor dalam pupuk kandang sebagian besar berasal dari kotoran padat, sedangkan N dan K berasal dari kotoran cair. Satu ton pupuk kandang sapi, terdiri 75% berupa air, sisanya 500 pounds berupa bahan organik mengandung 10 pounds N, 5 pounds asam fosfat dan 10 % K. Air dalam pupuk kandang hanya sebagai pembawa (*carrier agent*) sehingga secara kuantitatif kadar pupuk dan bahan organik lebih tinggi. Pupuk kandang dengan kandungan air lebih rendah, seperti kotoran padat dan cair dari ternak sapi sebanyak satu kg hanya akan diperoleh sebanyak 0,14 kg pupuk organik, sedangkan kotoran ayam sebanyak satu kg diperoleh 0,45 kg pupuk organik.

Pupuk kandang yang dibiarkan terpapar oleh cuaca (hujan-panas) sebelum disebar di areal pertanian kemungkinan kehilangan unsur haranya sampai 50% melalui pelindian oleh air hujan. Penggunaan lima ton pupuk kandang per are di Michigan menghasilkan 46 gantang jagung per are dibanding tanah yang tidak dipupuk hanya 35 gantang, ada peningkatan 31.4%.

c. *Menggunakan pupuk hijau*

Pupuk hijau adalah pupuk yang bahannya berasal dari tanaman hijau. Pengaruhnya terhadap tanah hampir sama dengan pupuk kandang, yaitu meningkatkan produktivitas tanah. Jenis tanaman yang sering digunakan sebagai pupuk hijau antara lain tanaman rumput-rumputan, leguminosae dan non-legume, yang mempunyai ciri (1) pertumbuhan cepat, (2) perakaran dangkal, bagian atas lebat dan sukulen, dan (3) dapat tumbuh di daerah lahan kritis atau tanah tidak subur. Jenis tanaman yang disarankan dan sudah dikenal sebagai pupuk hijau adalah tanaman leguminase (polong-polongan). Tanaman leguminase mempunyai keunggulan (1) mampu menambat N_2 udara dengan bakteri bintil akar yang bersimbiosis dengan tanaman inang, (2) mampu merangsang aktivitas mikroorganisme, (3) cepat pertumbuhannya dan perkembangannya sehingga mampu menghasilkan biomassa bahan organik dalam jumlah besar, (4) kandungan rasio karbon (C) dan Nitrogen (N) rendah sehingga cepat terdekomposisi menjadi bentuk yang tersedia bagi tumbuhan atau cepat mengalami mineralisasi, (5) mampu sebagai tanaman penutup tanah (*cover crop*).

Tanaman pupuk hijau dapat bermanfaat sebagai berikut.

- 1) Tanaman Pupuk Hijau sebagai Pupuk Organik. Pemberian pupuk hijau ke dalam tanah dengan cara membenamkan jaringan tanaman yang belum mengalami dekomposisi ke dalam tanah. Tanaman leguminosae yang sering digunakan adalah *Crotalaria juncea* (orok-orok), *Crotalaria usaramuensis*, *Tephrosia vogelli*, *T. candida* dan *Desmodium gyroides*. Pemanfaatan tanaman sebagai pupuk hijau harus tepat, agar tidak terjadi persaingan antara tanaman dengan mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik pupuk hijau. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemupukan dengan pupuk hijau, yaitu berikut ini.
 - a) Untuk daerah dengan curah hujan rendah, penggunaan pupuk hijau harus mempertimbangkan ketersediaan air yang cukup agar perombakan pupuk hijau dapat berlangsung cepat
 - b) Bahan pupuk hijau dipilih pada waktu jaringannya masih muda atau sukulen belum mengandung lignin agar mudah terdekomposisi. Biasanya tanaman pupuk hijau mencapai keadaan demikian ketika masih setengah umur. Pembenaman ke dalam tanah sebaiknya dilakukan ketika musim hujan karena akan lebih efektif terdekomposisi.

- 2) Mengatur jadwal antara penanaman tanaman pokok dengan penanaman pupuk hijau, agar pertumbuhan tanaman pokok tidak terganggu.
Tanaman Pupuk Hijau sebagai Penutup Tanah. Beberapa manfaat dari penggunaan pupuk hijau sebagai penutup tanah dengan tanaman leguminosae adalah melindungi permukaan tanah (top soil) dari pukulan air hujan dan aliran permukaan, melindungi bahan organik tanah dari sinar matahari langsung, menurunkan suhu tanah, kelembaban tanah tinggi, menambah unsur hara, terutama Nitrogen (N) dan menambah bahan organik tanah. Bahan organik yang jatuh ke tanah akan merangsang mikroorganisme tanah untuk berkembang dan mempercepat dekomposisi bahan organik menjadi bentuk tersedia bagi tanaman. Di samping itu, pertumbuhan penutup tanah yang cepat akan menekan pertumbuhan gulma pengganggu. Jenis tanaman legume yang sering dimanfaatkan sebagai tanaman penutup tanah antara lain: *Pueraria javanica* (PJ), *Calopogonium mucunoides* (CM), *C. Caeruleum* (CC) dan *Centrosoma Pubescens* (CP). Istilah umum untuk tanaman legume penutup tanah adalah LCC, (*legume cover crop*). Keempat jenis tanaman tersebut dapat ditanam dengan berbagai kombinasi atau ditanam tunggal.
- 3) Tanaman Pupuk Hijau sebagai Pohon Pelindung. Biasanya tanaman pelindung ini juga merupakan tanaman legummosae, sebagai contoh tanaman lamtoro (*Leuca-ena glauca*), sengan laut (*Periserianthes falcataria*), turi (*Sesbania glandiflora*). Banyak digunakan di perkebunan-perkebunan, untuk menaungi tanaman teh, kopi, dan panili. Manfaat dan fungsi tanaman pelindung: mencegah terjadinya erosi sehingga hara tanah tidak berkurang, menambah kandungan bahan organik tanah dengan biomassa yang dihasilkan oleh tanaman pelindung, menambah unsur hara Nitrogen (N), melindungi tanah dari angin kencang dan memompa unsur hara yang tercuci ke lapisan bawah tanah karena perakaran tanaman pelindung dalam.

d. *Menggunakan pupuk kimia*

Pupuk kimia atau mineral adalah suatu unsur hara alami atau buatan, mengandung unsur hara penting agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang secara normal. Pupuk merupakan bagian integral ekonomi pertanian di negara berkembang. Di antara berbagai sarana pertanian, pupuk, mungkin merupakan sarana penting setelah air yang berperan secara maksimal dalam peningkatan produksi pertanian. Sudah diperkirakan bahwa kira-kira 50% peningkatan

produksi pertanian di negara berkembang sangat ditentukan oleh penggunaan pupuk kimia.

Dalam penggunaannya, pupuk buatan terbukti mempunyai kelebihan yang positif dibanding pupuk organik, seperti pupuk kandang, air kotor kandang, dan kompos sebagai berikut.

- 1) Dengan pupuk kimia buatan, dapat diberikan bermacam-macam unsur hara tanaman dalam jumlah dan perbandingan yang dibutuhkan.
- 2) Unsur hara tanaman dari pupuk buatan dalam banyak hal lebih cepat tersedia daripada pupuk organik lebih mudah larut, diberikan dalam waktu yang tepat dan dapat diberikan sebagai pupuk tambahan.
- 3) Pupuk buatan lebih ringkas, mudah diatur pengangkutannya, lebih murah dan cepat dibanding pupuk organik.

1) Jenis-jenis Pupuk Kimia Buatan

Sebagai sumber unsur hara buatan bagi tanaman agar berproduksi maksimal, dikenal berbagai jenis pupuk buatan, yaitu sebagai berikut.

- a) Pupuk tunggal, yang hanya mengandung satu jenis unsur hara saja, misalnya Nitrogen NPK saja.
- b) Pupuk majemuk, yang mengandung dua atau tiga unsur hara, N dan P atau P dan K atau NPK, kadang-kadang ada yang ditambah unsur hara mikro tertentu.

2) Kerugian penggunaan pupuk kimia

Para petani menghargai pupuk buatan karena pengaruh yang cepat, penanganannya relatif mudah dan dapat meningkatkan produksi pertanian secara nyata. Pengalaman demi pengalaman di lapangan setelah beberapa waktu, petani dan ilmuwan mulai mengakui berbagai keterbatasan pupuk kimia buatan. Pupuk kimia buatan ternyata mempunyai keterbatasan seperti berikut ini.

- a) Pupuk buatan ternyata dapat mengganggu kehidupan organisme dan keseimbangan tanah, meningkatkan dekomposisi bahan organik, kemudian menyebabkan degradasi struktur tanah, kerentanan yang lebih tinggi terhadap kekeringan dan keefektifan yang lebih rendah dalam menghasilkan panen aplikasi pupuk mineral N yang tidak seimbang meningkatkan kemasaman sehingga menurunkan ketersediaan hara Fosfor (P).
- b) Penggunaan pupuk majemuk NPK yang terus-menerus menyebabkan penipisan unsur-unsur hara mikro, seperti Zn, Fe, Cu, Mn, Mg, Mo, B,

yang dapat mempengaruhi produksi tanaman, kesehatan hewan dan manusia. Ternyata manusia dan hewan juga sangat membutuhkan senyawa mikro untuk kehidupannya. Apabila unsur ini di tanah tidak tercukupi, tanaman akan menurun produktivitasnya, mudah terserang hama dan penyakit tumbuhan.

- c) Efisiensi pupuk buatan ini terbukti lebih rendah dari yang diharapkan. Tanaman lahan kering di daerah tropis kehilangan sampai 40-50% Nitrogen yang diberikan, padi sawah kehilangan Nitrogen kurang dari 60-70%. Apabila kondisi kurang mendukung, misalnya curah hujan tinggi, musim kemarau yang panjang, tanah dengan erosi tinggi dan tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah maka efisiensinya bahkan lebih rendah lagi.
- d) Penggunaan pupuk buatan di negara maju dan berkembang memberikan andil pada risiko global yang muncul dari pelepasan Nitrogen oksida (N_2O) pada atmosfer dan lapisan di atasnya. Pada lapisan stratosfer, N_2O akan menipiskan lapisan ozon dan dengan menyerap gelombang sinar infra merah tertentu, meningkatkan suhu global (efek rumah kaca) dan mengganggu kestabilan iklim. Hal ini dapat mengakibatkan perubahan pola, tingkat dan risiko produksi pertanian. Di samping itu, penggunaan pupuk buatan Nitrogen yang berlebihan akan menimbulkan pencemaran air dan menyebabkan penyakit *methemoglobinemia*, yaitu penyakit berbahaya pada darah yang diderita oleh bayi dan bersifat mematikan. *Methemoglobinemia* terjadi karena nitrat yang berasal dari pupuk dan mencemari air masuk ke dalam usus, dan diubah menjadi nitrit. Senyawa nitrit kemudian terikat dengan sel darah merah, Hemoglobin membentuk methemoglobin. Afinitas methemoglobin untuk mengangkut oksigen lebih rendah dibanding hemoglobin, sebagai akibatnya bayi harus bernapas dengan cepat dan akhirnya kekurangan oksigen. Kondisi ini menyebabkan bayi mengalami kematian dan akhirnya berwarna kebiru-biruan.

Mengingat bahayanya penggunaan pupuk buatan, pengaturan dan larangan penggunaan pupuk buatan di seluruh dunia di masa datang perlu dipertimbangkan. Oleh karena itu, diperlukan usaha yang lebih besar untuk mempromosikan penggunaan pupuk N yang lebih efisien, mengurangi polusi dan menggunakan sumber-sumber pengganti N, misalnya pupuk hijau, pupuk kandang, pemanfaatan tanaman legume, Azolla, bakteri penambat N.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskanlah apa itu erosi tanah dan bagaimana terjadinya proses erosi!
- 2) Sebutkan bentuk-bentuk erosi yang Anda ketahui!
- 3) Bagaimana cara atau metode konservasi tanah dan air? Jelaskan!
- 4) Apa saja unsur hara tanah alami yang dibutuhkan oleh tumbuhan? Jelaskan!
- 5) Menurut pendapat Anda, upaya apa saja yang dapat dilakukan untuk perbaikan kesuburan tanah? Jelaskan!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, perlu Anda pahami dahulu definisi dari erosi, apa penyebab erosi tersebut dan proses erosi yang dapat terjadi.
- 2) Dengan serentetan pertanyaan tersebut kami yakin Anda akan mampu menjawab pertanyaan tersebut dengan benar!
- 3) Coba Anda kaji kembali peristiwa terjadinya erosi!
- 4) Untuk menjawab soal ini, Anda cukup mengingat kembali uraian tentang konservasi tanah dan air.
- 5) Coba Anda pahami bagaimana tumbuhan membutuhkan makanan untuk pertumbuhan dan perkembangannya sehingga Anda dapat mengetahui unsur-unsur hara apa saja yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya!

Untuk menjawab pertanyaan ini, Anda dapat melihat uraian tentang kesuburan tanah, pentingnya kesuburan tanah bagi tanaman. Dengan demikian kami yakin Anda dapat menjawabnya dengan baik.



RANGKUMAN

Erosi berasal dari bahasa latin *erodere*, yang artinya ‘menggerogoti’ adalah proses terkikisnya atau hilangnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain diakibatkan oleh angin, air atau gaya gravitasi. Terjadinya erosi menyebabkan tanah bagian atas, yang biasanya kaya dengan unsur hara tanaman hilang dan kemampuan tanah untuk meresap air

akan berkurang. Tanah yang terbawa oleh erosi ini pindah ke tempat yang lebih rendah, misalnya sungai, danau atau waduk, dan laut.

Peristiwa erosi diawali dengan hancurnya agregasi tanah dan terlepasnya partikel-partikel tanah akibat pukulan air hujan dan aliran permukaan. Setelah tanah hancur, kemudian dibawa oleh air dan aliran permukaan, menghasilkan berbagai bentuk erosi.

Pengertian konservasi tanah adalah memanfaatkan tanah sesuai dengan kemampuannya sesuai dengan klasifikasi kemampuan lahan dan memperlakukan sesuai dengan syarat yang diperlukan sehingga kerusakan dapat dihindarkan.

Seperti semua bentuk kehidupan, tumbuhan membutuhkan makanan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Manusia dan hewan hanya dapat makan dalam bentuk bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Sebaliknya, tumbuhan mempunyai kemampuan membuat bahan organik langsung dari senyawa-senyawa anorganik. Tumbuhan hidup, berkembang dan bereproduksi dengan mengambil air dan mineral-mineral dari tanah, karbondioksida dari udara dan energi dari sinar matahari untuk membentuk jaringan tanaman.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Proses terkikisnya/hilangnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain diakibatkan oleh angin, air atau gaya gravitasi disebut
 - A. erosi tanah
 - B. pemusnahan tanah
 - C. topografi lereng
 - D. aliran permukaan tanah

- 2) Termasuk dalam sifat-sifat tanah, *kecuali*
 - A. tekstur tanah
 - B. struktur tanah
 - C. kandungan bahan organik
 - D. topografi lereng

- 3) Kerusakan yang ditimbulkan erosi, *kecuali*
 - A. menurunnya kesuburan tanah di tempat yang tererosi
 - B. menimbulkan pendangkalan di tempat lain
 - C. menimbulkan pengendapan di tempat lain
 - D. menimbulkan pencemaran/polusi kimia

- 4) Berikut metode konservasi tanah, *kecuali* metode
- A. vegetatif
 - B. kualitatif
 - C. mekanis
 - D. kimia
- 5) Ada beberapa macam teras yang dapat dibuat untuk keperluan mengurangi panjang lereng, kecepatan aliran dan memberi kesempatan air untuk meresap
- A. teras datar, teras kridit, teras pematang, teras bangku
 - B. teras datar, teras kridit, teras pematang, teras memanjang
 - C. teras kridit, teras menurun, teras pematang
 - D. teras pematang, teras datar, teras memanjang
- 6) Termasuk unsur hara makro esensial
- A. C, H, O, N, Hg
 - B. C, H, O, N, B
 - C. C, H, O, N, P, K
 - D. C, H, O, Cd
- 7) Kegunaan unsur hara, *kecuali*
- A. proses tumbuhan
 - B. produksi buah dan biji
 - C. fermentasi
 - D. fotosintesis
- 8) Pengaruh bahan organik terhadap sifat fisik tanah, *kecuali*
- A. kemampuan menahan air
 - B. mengubah warna tanah
 - C. memperbaiki struktur tanah
 - D. meningkatkan jenis populasi dan aktivitas organisme tanah

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D. Pelapukan organik.
- 2) A. Tanah.
- 3) C. Tekanan udara.
- 4) D. Akar tumbuhan menyediakan nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor.
- 5) A. Tekstur tanah, udara tanah, relief.
- 6) A. Top soil, subsoil, batuan induk, bedrock.
- 7) B. Spodosol, alfisol, mollisol.

Tes Formatif 2

- 1) A. Erosi tanah.
- 2) D. Topografi lereng.
- 3) D. Menimbulkan pencemaran atau polusi kimia.
- 4) B. Metode kualitatif.
- 5) A. Teras datar, teras kridit, teras pematang, teras bangku.
- 6) C. C, H, O, N, P, K.
- 7) C. Fermentasi.
- 8) D. Meningkatkan jumlah populasi dan aktivitas makroorganisme tanah.

Daftar Pustaka

- Dalzell, H.W., Biddlestone, K.R. Gray & K. Thurairajan. (1987). *Soil Management: Compost nro uctimn anLusa-in F9 and Subtropical Environments*. Rome: FAO.
- Darmawijaya, M.I. (1990). *Klasifikasi Tanah*. Jakarta: Gadjah Mada University Press.
- FAO. (1984). *Fertilizer and Plant Nutrion Guide*. Rome: FAO fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 9.
- Hardjowigeno, S. (1995). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademi Pressindo.
- Notohadiprawiro, T. (1999). *Tanah dan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Depdikbud.
- Owen, S, Oliver. (1980). *Natural Resources Conservation: an Ecological Approach*. New York: Mcmillan Publishing Co, Inc.
- Paul, E.A. & Clark, F.E. (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego, New York: Academic Press, Inc.
- Rajagopal, D & U. g. Bhat. (1995). *Distribution and Abundance of Different Soil Microarthropod Communities in Different Habitats*. In: Structure and Function of Soil Communities.
- Reijntjes, C., B. Haverkort & a. Waters-Bayer. (1992). *Farming for The Future, An Introduction to Low-External-Input and Sustainable Agriculture*. London Basingstoke: The Macmillan Press Ltd.
- Satchell, J.E. (1983). *Earthworm Ecology, from Darwin to Vermiculture*. London, New York: Chapman & Hall.
- Schumacher, U.S. (1973). *Small is Beautiful*. Blond & Briggs, Ltd.

Soepardi, G. (1983). *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor: Departemen Ilmu-ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB.

Tanuwidjaya, U. (1990). *Ekologi Tropika Membicarakan Alam Tropika, Afrika, Asia, Pasifik, dan Dunia Baru*. Terjemahan: *Element of Tropical Ecology*, Ewusie, J.Y. Bandung: Penerbit ITB

Konservasi Sumber Daya Udara

Ir. Imam Sentosa, M.S.



PENDAHULUAN

Modul keempat ini bertujuan untuk menjelaskan bahwa atmosfer merupakan sumber daya alam yang sangat diperlukan untuk adanya kehidupan dan kelangsungan kehidupan, termasuk manusia di permukaan bumi. Di dalamnya dijelaskan tentang atmosfer, manfaat atmosfer, dan gas-gas yang terkandung di dalam udara bersih. Juga dijelaskan tentang pencemaran udara, sumber-sumber pencemar udara, pengaruh pencemaran udara, analisis pencemaran udara dan upaya konservasi sumber daya udara.

Modul 4 ini kami sajikan dalam 2 kegiatan belajar, yaitu sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1: membahas Sumber Daya Udara dalam Suatu Sistem Atmosfer.

Kegiatan Belajar 2: membahas Pencemaran Udara dan Konservasi Sumber Daya Udara.

Setelah mempelajari Modul 4 ini, Anda akan dapat memahami tentang atmosfer dengan komposisi udara di dalamnya, manfaat atmosfer dan pencemaran atau polusi udara. Secara lebih terperinci, Anda akan dapat memahami dan menjelaskan:

1. atmosfer dan manfaat atau fungsinya;
2. komposisi gas-gas di atmosfer;
3. pencemaran udara dan sumber-sumber pencemar udara;
4. pengaruh pencemar udara;
5. analisis pencemaran udara;
6. upaya konservasi sumber daya udara.

Pemahaman terhadap materi Modul 4 ini akan lebih baik apabila Anda mempelajari materi dengan saksama dan mengerjakan setiap latihan.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Sumber Daya Udara

A. ATMOSFER

Di dalam sistem bumi atau sistem teresterial, ada empat subsistem yang saling berinteraksi dan saling mendukung, yaitu litosfer (padat), hidrosfer (cair), atmosfer (gas) dan biosfer (yang bersifat organik). Keempat subsistem tersebut, termasuk atmosfer merupakan bagian yang tak terpisahkan dari planet bumi. Atmosfer merupakan bagian yang terluar dari permukaan bumi maka haruslah diakui bahwa batas luar permukaan bumi yang sebenarnya adalah atmosfer. Oleh karena udara hampir tidak berbobot apabila dibandingkan dengan daratan dan air dengan batas luarnya yang tidak begitu jelas maka permukaan daratan dan air biasanya dianggap permukaan planet bumi, meskipun ini tidak tepat.

Berdasarkan adanya perubahan suhu karena perubahan ketinggian dari permukaan laut, atmosfer dapat dibagi menjadi beberapa lapisan yang dapat dibedakan dengan jelas. Lapisan utama yang paling bawah adalah Troposfer, mulai dari permukaan laut sampai ketinggian 8 km di daerah kutub dan 16 km di daerah ekuator, rata-rata ketinggian puncak Troposfer di seluruh dunia adalah 12 km lapisan ini mengandung 75% dari total massa atmosfer, hampir seluruh uap air, air, es dan aerosol berada di lapisan ini, dan berlangsungnya proses evaporasi dan kondensasi atau pengembunan. Di dalam lapisan ini berlangsung pembentukan dan perubahan cuaca, seperti angin, awan, presipitasi, badai, kilat, guntur. Di Troposfer terjadi penurunan suhu udara menurut ketinggian yang dikenal dengan *lapse rate*. Rata-rata *lapse rate* di seluruh dunia adalah $-6,5^{\circ}\text{C}$ per kilometer, di Pulau Jawa sekitar $0,61^{\circ}\text{C}$ untuk setiap kenaikan 100 meter. Makin tinggi dari permukaan laut atau daratan, kecepatan angin makin tinggi.

Gejala *lapse rate* tersebut sudah tidak lagi terjadi pada ketinggian 8 km di atas kutub dan 16 km di atas wilayah ekuator. Pada ketinggian ini terdapat lapisan di mana turbulensi tidak terjadi, yang disebut lapisan Tropopause, merupakan pembatas antara lapisan Troposfer dan lapisan Stratosfer.

Lapisan utama kedua atmosfer adalah lapisan Stratosfer, pada kisaran ketinggian 20 - 50 km di atas permukaan laut. Lapisan ini tidak mengalami proses turbulensi maupun sirkulasi, merupakan lapisan atmosfer utama yang mengandung ozon (O_3). Sifat ozon adalah menyerap radiasi ultraviolet yang berbahaya bagi makhluk hidup apabila intensitasnya yang mencapai permukaan

bumi terlalu tinggi, misalnya dapat menyebabkan kanker kulit pada manusia. Sebagian radiasi ultraviolet dari matahari diserap oleh lapisan ozon di Stratosfer sehingga lapisan ini sangat besar perannya untuk melindungi bumi dari radiasi ultraviolet yang berlebihan. Konsentrasi ozon tertinggi adalah pada ketinggian 20 sampai 30 km yang disebut lapisan Ozonosfer, dengan titik puncak 0,2 ppm pada ketinggian 22,5 km. Ozon terbentuk dan terurai secara alamiah dalam keadaan keseimbangan sehingga pada keadaan alamiah kandungan ozon di Stratosfer relatif tetap, atau mantap dan lestari. Penggunaan bahan-bahan berpartikel halus dan ringan, seperti Chloro Fluoro Carbon (CFC) dalam berbagai jenisnya, seperti CFC₁₁, dan CFC₁₂ yang banyak digunakan untuk pendingin (*refrigerant*), apabila terjadi kebocoran maka akan mencapai lapisan Ozonosfer dan mengurai ozon. Dalam keadaan demikian maka akan terjadi perusakan lapisan ozon, dan apabila ini terjadi maka akan makin banyak radiasi ultraviolet yang mencapai permukaan bumi dan membahayakan makhluk hidup, termasuk manusia.

Lapisan utama ketiga atmosfer adalah lapisan Mesosfer, pada ketinggian 50 km sampai 80 km. Pada lapisan ini terjadi perubahan suhu menurut ketinggian, sekitar -5°C pada dasar lapisan hingga -95°C pada puncaknya. Lapisan atmosfer ini tidak mengalami turbulensi atau sirkulasi udara, merupakan lapisan di mana terjadi penguraian O₂ menjadi O. Batas atas lapisan ini di mana sudah tidak terjadi perubahan suhu (*isothermal*) disebut lapisan Mesopause.

Lapisan atmosfer utama yang paling atas adalah lapisan Termosfer. Lapisan ini terdapat pada ketinggian sekitar 80 km sampai pada batas atas yang sulit ditentukan karena partikel gas yang mencapai lapisan ini sangat jarang. Di kalangan ilmuwan ada yang berpendapat bahwa puncaknya mencapai ketinggian 100 km, ada yang mengatakan 250 km. Pada lapisan ini terdapat molekul O₂ dan N₂T dan atom O dan N, terjadi inversi suhu, yaitu suhu udara meningkat menurut ketinggian -95°C pada ketinggian 80 km, -50°C pada ketinggian 100 km dan -38°C pada ketinggian 110 km. Pada lapisan ini terjadi ionisasi N₂ menjadi N dan O₂ menjadi O sehingga lapisan ini sering disebut lapisan Ionosfer.

B. FUNGSI ATMOSFER

Atmosfer memegang peranan sangat penting dalam sistem bumi atmosfer, termasuk memungkinkan adanya kehidupan di permukaan bumi serta

kelestariannya. Tanpa atmosfer tidak mungkin ada kehidupan, termasuk manusia di permukaan bumi. Peran atmosfer dalam proses-proses fisika dan pada kehidupan di permukaan bumi adalah berikut ini.

1. Atmosfer merupakan sumber gas-gas tertentu bagi makhluk hidup, menyediakan oksigen (O_2) yang mutlak diperlukan untuk pernapasan manusia, hewan, dan tumbuhan.
2. Atmosfer sebagai sumber air untuk proses *presipitasi*
Air dari permukaan laut, danau dan permukaan daratan yang mengandung air menguap ke atmosfer dan membentuk awan. Melalui proses cuaca yang cukup kompleks, awan membentuk awan hujan dan turun air, baik dalam bentuk cair maupun es ke permukaan bumi sebagai *presipitasi*. Bentuk *presipitasi* yang paling umum di Indonesia adalah hujan.
3. Atmosfer sebagai filter spektrum radiasi tertentu
Dengan adanya atmosfer maka spektrum radiasi surya tertentu yang membahayakan makhluk hidup di permukaan bumi dapat dikurangi.
4. Atmosfer berfungsi sebagai pelindung bumi dari pemanasan dan pendinginan yang berlebihan
Atmosfer menyerap dan memantulkan sebagian radiasi gelombang pendek dari surya pada siang hari sehingga yang sampai ke permukaan bumi tidak terlalu besar. Dengan demikian, permukaan bumi tidak mengalami pemanasan yang berlebihan pada siang hari. Diperkirakan apabila tidak ada atmosfer, suhu di permukaan bumi pada siang hari dapat mencapai $93^{\circ}C$. Pada malam hari di mana tidak ada radiasi gelombang pendek dari matahari, bumi kehilangan energi dalam bentuk pancaran gelombang panjang. Dengan adanya atmosfer maka pancaran energi dalam bentuk radiasi gelombang panjang dapat ditahan oleh atmosfer sehingga permukaan bumi tidak mengalami pendinginan yang berlebihan. Diperkirakan kalau tidak ada atmosfer, pada malam hari suhu di permukaan bumi dapat mencapai $-184^{\circ}C$.
5. Atmosfer pelestari mekanisme cuaca dan iklim
Atmosfer di permukaan bumi dapat disebut sebagai mesin raksasa, dengan adanya energi radiasi matahari maka terjadilah mekanisme cuaca dan iklim. Proses cuaca dan iklim melibatkan perpindahan energi, massa dan momentum di dalam sistem atmosfer seluruh permukaan bumi.

C. KOMPOSISI UDARA/ATMOSFER

Atmosfer merupakan lingkungan fisik di mana manusia dan organisme lain hidup di permukaan bumi. Tanpa kehadiran atmosfer di atas permukaan bumi ini, tidak mungkin ada kehidupan di bumi. Fungsi utama atmosfer dalam menopang kehidupan di permukaan bumi adalah untuk mencegah pemanasan dan pendinginan permukaan bumi yang berlebihan dan menyediakan gas-gas tertentu bagi organisme.

Atmosfer dengan susunan atau komposisi gas-gas yang ada di dalamnya secara alamiah mampu melakukan kedua fungsi tersebut. Perubahan kandungan gas-gas tertentu di atmosfer menyebabkan terganggunya kedua fungsi atmosfer tersebut yang menyebabkan gangguan terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia. Pencemaran udara terutama dari industri dan kendaraan bermotor apabila tidak dikendalikan dapat menurunkan fungsi atmosfer tersebut. Untuk menilai apakah udara sudah mengalami pencemaran dan tingkat pencemarannya maka perlu pengetahuan mengenai komposisi atmosfer. Atmosfer adalah suatu campuran mekanis beberapa jenis gas, bukan merupakan senyawa kimia. Seperti terdapat pada Tabel 4.1, empat macam gas terbanyak di udara adalah nitrogen (78,08%), oksigen (20,94%), argon (0,90%) dan karbondioksida (0,03%). Keempat gas tersebut meliputi 99,99% dari volume udara kering, dan karbondioksida bervariasi volumenya. Di samping keempat gas tersebut, udara mengandung gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, di antaranya ada yang merupakan pencemar udara, yaitu NH_3 , SO_2 , CO , dan H_2S . Selain mengandung gas, di atmosfer juga terdapat aerosol, salah satu di antaranya debu, yang sangat bervariasi menurut waktu dan tempat.

Tabel 4.1
Susunan Gas di Atmosfer pada Suhu dan Tekanan Udara Baku

Jenis Gas	Simbol	Volume (%)	Kandungan $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
			(A)	(B)
Nitrogen	N_2	78,08	$9,75 \times 10^8$	
Oksigen	O_2	20,94	$2,99 \times 10^8$	
Argon	Ar	0,93	$1,60 \times 10^7$	
Karbondioksida	CO_2	0,03	$5,90 \times 10^5$	
Neon	Ne		$1,60 \times 10^7$	
Helium	He			920

Jenis Gas	Simbol	Volume (%)	Kandungan $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
			(A)	(B)
Krypton	Kr			4,100
Hidrogen	H			26 - 90
Ozon	O ₃			10 - 15
Methana	CH ₄			1,080
Oksida nitrogen	NO/NO ₂			0 - 6
Sulfur dioksida	SO ₂			2 - 50
Ammonia	NH ₃			0 - 15
Karbon monoksida	CO			130
Hidrogen sulfida	H ₂ S			3 - 30

- Sumber: A) Barry and Chorley (1968); Gordon *et.al.* (1998), di Troposfer sampai ketinggian 25 km.
 B) Bowen (1979), sampai ketinggian 100 m. Suhu baku adalah 25 °C, tekanan baku adalah 1 atmosfer.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan empat subsistem di dalam sistem bumi! Bagian subsistem mana yang menempati bagian terluar dalam sistem bumi!
- 2) Sebutkan lapisan-lapisan atmosfer berdasarkan perubahan suhu dari permukaan laut!
- 3) Suatu tempat di Pulau Jawa berada pada ketinggian 700 meter dari permukaan laut. Berapa suhu udara rata-rata harian di tempat tersebut, apabila suhu udara rata-rata harian di permukaan laut 26,3°C?
- 4) Sebutkan fungsi-fungsi atmosfer! Bagaimana apabila di permukaan bumi tidak ada atmosfer?
- 5) Sebutkan empat gas utama atau yang dominan di atmosfer! Sebutkan pula empat gas yang keberadaannya dalam jumlah kecil!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Pelajari susunan empat subsistem bumi di dalam sistem bumi, berdasarkan urutan kedudukan atau posisinya.

- 2) Pelajari dengan saksama perubahan suhu di atmosfer yang mencirikan tiap lapisan dan proses-proses fisik yang terjadi di tiap lapisan atmosfer.
- 3) Dengan mengetahui laju (*rate*) penurunan/perubahan suhu menurut ketinggian di lapisan Troposfer maka dapat dihitung suhu udara rata-rata pada ketinggian tertentu.
- 4) Kaji kembali fungsi-fungsi atmosfer, renungkan baik-baik maka Anda akan tahu apa yang akan terjadi di permukaan bumi apabila tidak ada atmosfer.
- 5) Pelajari kembali susunan gas di atmosfer, baik gas-gas yang jumlahnya besar dan gas-gas dalam jumlah kecil di atmosfer.



RANGKUMAN

Atmosfer merupakan salah satu subsistem di dalam sistem bumi. Atmosfer merupakan bagian terluar dari permukaan bumi, harus diakui bahwa batas luar permukaan bumi adalah atmosfer. Atmosfer dapat dibagi menjadi berbagai lapisan karena adanya perubahan suhu menurut ketinggian, lapisan yang terbawah di mana makhluk hidup berada dan terjadi perubahan cuaca adalah lapisan troposfer.

Atmosfer berfungsi sebagai sumber gas-gas tertentu bagi makhluk hidup, sebagai sumber air untuk proses *presipitasi*, sebagai filter bumi dari spektrum radiasi surya tertentu, melindungi bumi dari pemanasan dan pendinginan yang berlebihan, dan sebagai pelestari mekanisme cuaca dan iklim.

Atmosfer merupakan campuran mekanis dari beberapa jenis gas. Empat gas yang dominan adalah H_2 , O_2 , Ar, dan CO_2 . Karbon dioksida (CO_2) sering disebut gas rumah kaca. Gas rumah kaca yang lain di antaranya CH_4 . Atmosfer juga mengandung beberapa gas yang apabila dalam jumlah besar dapat merupakan pencemar udara/atmosfer, misalnya NO_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 , dan O_3 .



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Tekanan udara di permukaan laut adalah
 - A. sekitar 1,013 mb
 - B. sekitar 760 mb
 - C. sekitar 13,8 lb per inci
 - D. sekitar 980 mb

- 2) Di lapisan Troposfer
 - A. terdapat 90% total massa atmosfer
 - B. tebalnya seragam di seluruh permukaan bumi
 - C. suhu udara makin ke atas makin tinggi
 - D. terjadinya proses cuaca
- 3) Gas yang dimanfaatkan langsung oleh organisme adalah
 - A. O_2 dan O_3
 - B. O_2 dan N_2
 - C. O_2 , N_2 dan CO_2
 - D. O_3 dan CO_2
- 4) Berdasarkan komposisi gas di udara, oksigen menempati peringkat
 - A. pertama
 - B. kedua
 - C. ketiga
 - D. keempat
- 5) Ozon (O_3) paling banyak terdapat di lapisan
 - A. Troposfer
 - B. Stratosfer
 - C. Mesosfer
 - D. Ionosfer
- 6) Radiasi ultraviolet yang membahayakan bagi kehidupan diserap oleh
 - A. O_2 dan CO_2
 - B. CO_2
 - C. O_3
 - D. O_3 dan CO_2
- 7) Gas di udara yang merupakan produk penghancuran bahan organik
 - A. O_2
 - B. N_2
 - C. SO_2 dan CO_2
 - D. CH_4 dan H_2S
- 8) Gas di atmosfer yang cenderung meningkat terus akibat kegiatan manusia adalah
 - A. O_2
 - B. N_2
 - C. CO_2
 - D. O_3

- 9) pH air hujan adalah sekitar
- A. 5,0
 - B. 5,6
 - C. 6,5
 - D. 7,0
- 10) Gas semburan dari bawah yang dapat meracuni penduduk sekitar adalah
- A. CO₂ dan NH₄
 - B. NO₂ dan O₃
 - C. Hidrokarbon
 - D. SO₂ dan H₂S

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Pencemaran Udara dan Konservasi Sumber Daya Udara

A. PENCEMARAN UDARA DAN SUMBER-SUMBER PENCEMAR UDARA

1. Pengertian Pencemaran Udara

Kehadiran suatu bahan kimia di suatu tempat yang tidak tepat atau pada konsentrasi yang tidak tepat maka bahan kimia tersebut disebut "pencemar" (Welburn, 1990). Jadi, ada dimensi ruang atau tempat dan dimensi konsentrasi yang harus diperhatikan untuk menyatakan adanya pencemaran. Dimensi tempat berhubungan dengan keberadaan organisme, khususnya manusia. Suatu bahan kimia bukan merupakan bahan pencemar apabila terdapat di udara dalam hutan yang jauh dari pemukiman, namun apabila bahan kimia ini hadir di pemukiman maka bahan kimia tersebut disebut pencemar udara. Dimensi kedua untuk menyatakan suatu bahan kimia yang hadir di udara merupakan pencemar atau bukan adalah konsentrasinya. Hal ini didasarkan pada kenyataan berikut.

- a. Bahan kimia tertentu khususnya gas secara alami sudah terdapat di atmosfer.
- b. Kegiatan pembangunan khususnya bidang industri dan transportasi mau tidak mau menghasilkan bahan atau gas pencemar udara. Usaha yang dilakukan adalah menekan atau mengendalikan bahan atau gas pencemar yang dihasilkan.
- c. Kehadiran gas-gas tertentu di atmosfer pada konsentrasi tertentu justru menguntungkan, sebaliknya melebihi konsentrasi tertentu, gas-gas tersebut dapat menjadi pencemar udara karena membahayakan kesehatan. Sebagai contoh, Hartogensis (1977) mengemukakan bahwa ozon (O_3) yang terdapat di alam sampai konsentrasi $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bukan dianggap sebagai pencemar, tidak berbahaya untuk kesehatan. Di Los Angeles, konsentrasi O_3 sebesar $0,2$ sampai $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ merupakan pencemar yang penting karena menghasilkan senyawa kombinasi dengan gas pencemar lainnya menyebabkan penurunan jarak pandang (*visibility*), iritasi dan kerusakan tanaman. Perubahan konsentrasi gas-gas tertentu di atmosfer dapat membahayakan kehidupan manusia, *vegetasi* atau hewan. Dalam keadaan

demikian, terjadi polusi atau pencemaran udara. Ia menyatakan bahwa pencemar udara terjadi apabila atmosfer memiliki komposisi gas-gas yang mengganggu atau merusak kesehatan atau merusak *vegetasi*, binatang atau barang.

2. Sumber Pencemar Udara

Pencemar udara atau atmosfer dihasilkan oleh alam dan terutama oleh kegiatan manusia (*man-made pollution*). Kejadian atau gejala alam yang dapat menghasilkan pencemar udara di antaranya letusan gunung berapi, badai pasir, dan penyebaran serbuk sari dari tanaman tertentu, yang dapat menyebabkan penyakit asma. Pencemaran udara yang disebabkan oleh manusia terutama merupakan hasil dari kegiatan transportasi, industrialisasi dan urbanisasi. Sumber-sumber pencemaran udara/atmosfer adalah sebagai berikut.

a. Proses pemanasan

Proses pemanasan, meliputi loncatan elektrik dan pembakaran gas alam dan bahan bakar minyak. Pemanasan berupa loncatan listrik dengan suhu yang tinggi dapat menghasilkan gas NO_2 . Gas alam sebagian besar adalah metana (CH_4) dan sebagian kecil berupa etana (C_2H_6) dan propana (C_3H_8). Pembakaran gas alam dapat menghasilkan gas CO_2 dan CO dan pada suhu tinggi dapat menghasilkan NO_2 . Pembakaran bahan bakar minyak (BBM) terutama menghasilkan gas SO_2 dan hanya sedikit sebagai SO_3 . Abu juga dihasilkan, tetapi dalam jumlah yang sangat kecil (kurang dari 0,1%). Gas SO_2 yang dihasilkan dari pembakaran BBM, tergantung pada kandungan sulfur di dalam tiap jenis BBM. Kandungan sulfur yang umum di dalam tiap jenis BBM, disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2
Kandungan Sulfur di dalam Bahan Bakar

No.	Jenis Bahan Bakar	Kandungan Sulfur (%)
1.	Avtur	0,11
2.	Premium	0,01
3.	Minyak tanah	0,03
4.	H.S.D./Solar	0,14
5.	I.D.F.	0,07
6.	I.F.O	1,65

Sumber: Pertamina U.P. IV Cilacap (2003).

Bahan bakar padat terutama batu bara memiliki kandungan abu yang tinggi, sulfur sekitar 1% dan kadang-kadang mengandung fluor sekitar 0,01%. Pembakaran bahan bakar padat khususnya batu bara menghasilkan abu yang sebagian berbentuk abu terbang dan gas SO₂. Sebagian sulfur tidak ke luar sebagai SO₂, tetapi masih terikat dalam abu.

b. Industri

Jenis pencemar udara yang dihasilkan oleh industri berbeda-beda, tergantung pada jenis industrinya. Biasanya pencemar udara dari industri dibuang melalui cerobong (*stack*) yang tinggi sehingga pencemar udara dapat terdispersi secara sempurna di udara. Industri minyak dan gas bumi (migas) menggunakan cerobong setinggi 75 meter atau lebih. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Suralaya menggunakan cerobong setinggi 200 meter agar abu dan gas SO₂ yang terbang ke udara dapat terdispersi secara baik sehingga tidak mencemari udara di pemukiman sekitarnya. PLTU ini memanfaatkan bahan bakar batu bara sekitar 5000 ton/hari.

Pada Tabel 4.3. disajikan beberapa jenis industri dengan pencemar udara yang dihasilkannya. Chi-Wen (1999) meneliti penyebaran pencemar udara dari industri kimia dan serat di Taiwan, yang dilakukan sebagai tanggapan atas keberatan atau reaksi penduduk terhadap bau yang ditimbulkan. Pencemar udara yang diemisikan adalah senyawa sulfur (SO₂, H₂S, CS₂ dan merkaptan) dan beberapa senyawa organik volatil (benzena, toluene, P Xylene, aseton, khloroform dan MEK). Pengukuran di udara *ambien* dilakukan di empat lokasi sekitar industri tersebut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa di keempat lokasi pengukuran, H₂S dengan rata-rata hasil pengukuran 7,6 ppb telah melewati ambang batas bau (*odoran threshold*) sekitar 0,47 ppb, di satu lokasi CS₂ pada malam hari dapat mencapai 256 ppm melewati ambang batas bau sebesar 210 ppb.

Tabel 4.3
Jenis Industri dan Bahan Pencemar Udara yang Dihasilkan

Jenis Industri	Pencemaran yang Dihasilkan
Industri besi dan baja	Debu, senyawa fluorida dan SO ₂ .
Kilang minyak bumi	Hidrokarbon, senyawa sulfur, SO ₂ , H ₂ S, NO, NO ₂ , debu dan merkaptan,
Industri kayu lapis	Padatan tersuspensi, fenol dan asam resin,

Jenis Industri	Pencemaran yang Dihasilkan
Industri rayon dan pulp	Senyawa sulfur (bahan basah), misalnya CS ₂ dan H ₂ S, metil merkaptan, dimetil merkaptan dan metil sulfida,
Industri semen	Debu,
Industri kimia	Tergantung jenis industri kimia, misalnya HCl, C ₁₂ , NO ₂ , NH ₃ , hidrokarbon aromatik, pestisida dan lain-lain,
Industri pengolahan karet	NH ₃ dan H ₂ S,
Industri logam dan pengecoran logam	SO ₂ , sulfida, khlorin, HCl dan debu.

Sumber: Hartogenesis, (1977); Winarso, (1991); Strauss dan Mainwaring, (1994).

c. Kendaraan bermotor

Kendaraan bermotor baik dengan bahan bakar bensin maupun dengan bahan bakar solar (diesel) mengeluarkan gas buangan yang terdiri CO₂, CO, NO₂, H₂, hidrokarbon, nitrogen oksida dan SO₂. Komposisi gas buangan tersebut dari pembakaran bensin dan solar dalam volume (dalam % volume) disajikan pada Tabel 4.4. Hill (1984) menyatakan bahwa 75% gas CO di atmosfer bersumber dari emisi kendaraan bermotor. Oleh karena itu, gas pencemar udara ini merupakan suatu masalah di daerah yang padat lalu-lintas. Gas ini dapat bertahan di udara selama 3 tahun. Jumlah gas buang yang diemisikan oleh kendaraan menurut Direktorat Lalu-lintas dan Angkutan Jalan Raya, Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (Direktorat LLAJR Ditjen Hubdar, 1998) ditentukan oleh kecepatan kendaraan, umur kendaraan dan perawatan kendaraan. Pemasangan anti pencemaran pada kendaraan bermotor dapat menurunkan emisi gas buang.

Tabel 4.4
Komposisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasar % Volume (a) dan Rata-rata Emisi Gas dalam gram/km (b) menurut Jenis Bahan Bakar yang digunakan

a. Komposisi gas buang (% volume)

Jenis Gas Buang	Bensin	Solar
CO ₂	9,0	9,0
CO	4,0	0,1
NO ₂	4,0	9,0

Jenis Gas Buang	Bensin	Solar
H ₂	2,0	0,03
Hidrokarbon	0,5	0,02
Nitrogen Oksida	0,06	0,04
SO ₂	0,006	0,02

Sumber: Hartogenesis, (1977).

b. Rata-rata emisi gas dalam gram/km

Jenis Gas Buang	Bensin	Solar
CO	60,00	0,69 - 2,57
Hidrokarbon	5,90	0,14 - 2,07
NO ₂	2,20	0,68 - 1,02
SO ₂	0,17	0,47
Debu	0,22	1,28
Timbal	0,49	-

Sumber: Strauss dan Mainwaring, (1984).

Makin tinggi kecepatan kendaraan, emisi NO₂ makin meningkat, sementara emisi CO makin rendah. Sebaliknya, makin rendah kecepatan kendaraan, emisi NO₂ makin rendah, sedangkan emisi CO makin tinggi. Hubungan antara kecepatan kendaraan dan emisi gas CO dan nitrogen oksida. Banyaknya kendaraan di perkotaan menyebabkan gas SO₂, NO₂ dan CO merupakan gas di antara pencemar udara yang sering dijumpai di daerah perkotaan. Pencemar udara tersebut merupakan pencemar primer yang berasal dari kendaraan bermotor (Budirahardjo, 1991).

Menurut Adel (1995) jumlah pencemar udara yang diemisikan di Jakarta dari sektor transportasi per tahun sebanyak 373.662 ton CO, 15.388 ton NO₂ dan 7.476 ton SO₂. Dalam kondisi demikian ini, pencemaran udara akibat emisi NO₂ telah melebihi baku mutu udara *ambien*. Hasil pemantauan kualitas udara pada tahun 1994/1995 menurut Rax (1995/1996) kandungan SO₂ di tepi jalan raya berkisar dari 0,002 sampai 0,0013 ppm, sementara NO₂ berkisar dari 0,046 sampai 0,083 ppm. Baku Mutu Udara *Ambien* menurut Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 586/1990, untuk SO₂ adalah 0,01 ppm dan NO₂ 0,050 ppm. Hal ini berarti bahwa SO₂ masih berada di bawah Baku Mutu Udara *Ambien*, sedangkan NO₂ sudah berada di atas Baku mutu udara *Ambien*.

Hasil studi terhadap kendaraan dinas di kota Yogyakarta (Zudianto dan Norojono, 2002), menunjukkan bahwa dari 406 kendaraan dinas yang terdiri dari mobil penumpang, kendaraan operasional dan sepeda motor setiap tahun mengonsumsi premium sebanyak 457.815 liter. Dari jumlah kendaraan dan konsumsi premium sebanyak itu, setiap tahun diemisikan NO₂ sebanyak 9.037.268 g, SO₂ sebanyak 672.374 g dan CO sebanyak 120.496.908 g. Emisi dari tiap jenis kendaraan disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5
Konsumsi Bahan Bakar (Premium) dan Emisi Gas Buang Kendaraan Dinas di Kota Yogyakarta

No.	Tipe/Jenis Kendaraan	Jumlah	Konsumsi premium per Tahun (liter)	Emisi Gas Buang per Tahun (gram)		
				NO ₂	SO ₂	CO
1.	Mobil Penumpang	80	138.000	2.724.120	202.675	36.321.600
2.	Kendaraan Operasional	79	234.600	4.631.004	344.547	61.746.720
3.	Sepeda Motor	247	85.215	1.682.144	125.152	22.428.588
	Jumlah	406	457.815	9.037.268	672.374	120.496.908

Sumber: Zudianto dan Norojono, (2002).

d. *Sumber lainnya*

Sumber pencemar udara yang lain, misalnya kebakaran hutan, pembakaran sampah rumah tangga dan penambangan bahan galian. Akibat kebakaran hutan, yang sekarang disebut sebagai kebakaran hutan dan lahan, bahan pencemar udara yang timbul dan berbahaya bagi manusia adalah SO₂, NO_x, O₃ dan Debu (Nukman, 1998, Kandun, 1998). Selain gas pencemar udara tersebut, menurut Dieterle (1998), dari kebakaran hutan juga diemisikan karbon monoksida (CO) dan amoniak. Sudah barang tentu akibat kebakaran hutan juga diemisikan karbon dioksida (CO₂) yang merupakan gas rumah kaca terbesar. Menurut Levine (1998) dalam Dieterle (1998), diperkirakan dari kebakaran hutan tahun 1997 di Kalimantan dan Sumatra, diemisikan 85 sampai 316 juta ton CO₂, 7 sampai 52 juta ton CO, 4 sampai 16 juta ton partikulat, 2 sampai 12 juta ton O₃, 0,1 sampai 4 ton ammonia dan 0,2 sampai 1,5 juta ton NO_x. Walaupun banyak jenis pencemar udara dari kebakaran hutan, namun kebanyakan pemerintah daerah hanya mampu memantau partikulat saja.

Pada peristiwa kebakaran hutan tahun 1997, Tim Proyek JICA telah melakukan pemantauan PM_{10} , SO_2 dan NO_x , di beberapa lokasi hasil pemantauan kadar partikulat (TSP) beberapa kali nilai baku mutu. Sebagai contoh, angka hasil pemantauan di Jambi, nilai rata-rata harian PM_{10} pada bulan Oktober 1997 dapat mencapai $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, baku mutu PM_{10} adalah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PP No. 41 Tahun 1999). Hasil studi lebih lanjut dari Proyek JICA menunjukkan bahwa akibat kebakaran hutan dan lahan tidak hanya menghasilkan bahan pencemar udara umum, seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil analisis terhadap partikulat didapatkan 17 senyawa Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH). Hasil analisis komponen gas menunjukkan adanya senyawa Asetone (C_3H_6O), isoprene, dimetil sulfide dan metil halida.

B. DAMPAK PENCEMARAN UDARA

Pencemaran udara dapat berpengaruh terhadap iklim, vegetasi atau tanaman, hewan dan manusia. Pengaruh terhadap iklim adalah berikut ini.

1. Meningkatkan Suhu Rata-rata Bumi

Hal ini disebabkan meningkatnya CO_2 di atmosfer, dengan istilah yang lebih populer meningkatnya efek rumah kaca (*green house effect*). Belakangan ini muncul pendapat baru bahwa peningkatan gas metan (CH_4) di udara juga menimbulkan efek rumah kaca, dan salah satu sumber CH_4 adalah sawah.

2. Penurunan Suhu Rata-rata Bumi

Peningkatan partikel padat di udara (debu), jelaga menghalangi radiasi surya yang mencapai permukaan bumi dengan cara membaurkannya. Hal ini menyebabkan penurunan suhu di permukaan bumi.

3. Merangsang Terjadinya Hujan

Partikel padat berupa debu dan jelaga di atmosfer dapat bertindak sebagai inti kondensasi yang dapat merangsang turunnya hujan. Pengaruh pencemaran udara terhadap tanaman dan hewan relatif kurang diperhatikan. Perhatian yang paling besar adalah adanya pengaruh pencemaran udara terhadap manusia. Pengaruh polusi udara terhadap vegetasi atau tanaman telah diamati beberapa negara maju. Sebagai contoh, di Amerika Serikat dilaporkan bahwa gas buangan kendaraan bermotor telah menurunkan produksi tanaman komersial di ladang-ladang dekat jalan, beberapa senyawa diketahui telah merusak/melukai tanaman

di antaranya NO_2 , SO_2 , fluorida ethilyne, herbisida, oksida dan hidrokarbon. Hujan asam dilaporkan telah merusak biota sebuah danau di Amerika Serikat. Pengaruh pencemaran udara terhadap manusia tergantung pada pencemar yang ada di udara. Pada Tabel 6 dimuat beberapa jenis pencemar udara dan pengaruhnya terhadap manusia. Menurut Adel (1995) dan Hill (1984), CO merupakan gas tidak berwarna dan tidak berbau, mempunyai afinitas yang tinggi dengan hemoglobin, yaitu sekitar 240 kali lebih kuat dibandingkan afinitas O_2 terhadap hemoglobin. Dengan demikian apabila CO masuk ke dalam paru-paru akan berikatan dengan hemoglobin membentuk karboksi-hemoglobin (CO-Hb). Hill (1984) menyebutkan gas CO sebagai gas mematikan, dampaknya tidak dapat berbalik (*irreversible*). Dengan demikian kemampuan darah untuk membawa oksigen sangat terhambat. NO_2 terbentuk pada ruang bakar kendaraan karena suhunya sangat tinggi. SO_2 berbau tajam, sangat korosif, terbentuk karena ketidakmurnian bahan bakar kendaraan yang mengandung belerang. Menurut Forsdyke (1970), baik batu bara maupun minyak yang merupakan bahan bakar utama mengandung 1 sampai lebih 3 persen sulfur. Pembakaran 1.000 kg bahan bakar tersebut dapat menghasilkan SO_2 sebanyak 60 kg yang dibuang ke atmosfer.

Tabel 4.6
Beberapa Jenis Pencemar Udara dan Pengaruhnya Terhadap Manusia

Jenis Pencemaran Udara	Pengaruh terhadap Manusia
Karbon monoksida (CO)	Menurunkan kemampuan darah membawa oksigen, melemahkan berpikir, penyakit jantung, pusing dan kematian, kelelahan dan sakit kepala.
Sulfur dioksida (SO_2)	Memperberat penyakit saluran pernapasan, melemahkan pernapasan dan iritasi mata.
Nitrogen oksida (NO_2)	Memperberat penyakit jantung dan pernapasan, dan iritasi paru-paru.
Hidrokarbon	Mempengaruhi sistem pernapasan, beberapa jenis dapat menyebabkan kanker.
Oksigen fotokimia (O_3)	Memperberat penyakit jantung dan pernapasan, iritasi mata, iritasi kerongkongan dan saluran pernapasan.
Debu	Penyakit kanker, memperberat penyakit jantung dan pernapasan, batuk, iritasi kerongkongan dan dada tak enak.
Amonia (NH_3)	Iritasi saluran pernapasan.
Hydrogen Sulida (H_2S)	Mabuk (pusing), iritasi mata dan kerongkongan dan racun pada kadar tinggi.

Jenis Pencemaran Udara	Pengaruh terhadap Manusia
Logam dan Senyawa Logam	Menyebabkan penyakit pernapasan, kanker, kerusakan syaraf dan kematian.

Sumber: Hartogensis, (1977); Fardiaz, (1992); Nukman, (1998), Holper dan Noonan, (2000).

Staf dari *Research and Education Association* (1980) mengemukakan bahwa SO_2 merupakan gas yang tidak dapat terbakar, tidak eksplosif dan tidak berwarna, yang dapat mulai dirasakan apabila konsentrasi 0,3 ppm sampai 1 ppm ($0,9 \text{ mg/m}^3$ sampai 3 mg/m^3). Pada konsentrasi 3 ppm ($8,6 \text{ mg/m}^3$) sudah menimbulkan bau tajam dan menimbulkan iritasi yang kuat pada sistem pernapasan, akibatnya dapat bersifat sementara dapat juga bersifat permanen. SO_2 segera terserap dalam sistem pernapasan, gejala iritasi yang sangat kuat yang diakibatkan menimbulkan gejala yang sangat menyakitkan pada orang yang menderita asma, bronchitis, emphysema dan penyakit paru-paru.

Dalam kaitannya dengan pencemaran udara akibat kebakaran hutan, Nukman (1998) mengemukakan adanya beberapa penyakit yang mungkin timbul, sesuai dengan jenis pencemar udara sebagai penyebabnya. Gas SO_2 dan NO_x menyebabkan iritasi saluran pernapasan, seperti pharyngitis, tracheitis dan bronchitis dan juga paseumonionis dan ashmatis. Partikel silika akibat pembakaran batu bara dan kayu dapat menyebabkan bronchitis chronic, emphysema dan peumocosis. Gas CO menyebabkan asphyxia dan hypoxia, sedangkan hidrokarbon aromatic sebagai hasil pembakaran batu bara dan kayu dapat menyebabkan gejala karsinogen. Partikulat yang dapat masuk ke saluran pernapasan adalah yang berukuran kurang dari $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}). Dalam jangka panjang dapat menyebabkan penyakit saluran pernapasan, iritasi mata dan iritasi kulit.

Landis dan Ming-Ho (1995), menyatakan bahwa toksisitas pencemar udara terhadap manusia dipengaruhi oleh faktor genetik, faktor perkembangan penyakit, gaya hidup dan nutrisi. Biaya yang timbul akibat pencemaran udara dapat dihitung melalui biaya pengobatan dan biaya perawatan kesehatan serta kehilangan pendapatan karena sakit. IBRD (1994) telah melakukan penelitian biaya kesehatan pencemar udara akibat kendaraan di Jakarta. Parameter kualitas udara yang diteliti adalah Total Suspended Solid (TSP), timbal (Pb) nitrogen oksida (NO_x). TSP menyebabkan infeksi pernapasan atas dan penyakit saluran pernapasan kronis yang berperan signifikan terhadap mortalitas dan gangguan kesehatan. Pb menyebabkan hipertensi, penyakit jantung koroner dan penurunan IQ pada anak-anak, sedangkan NO_x menyebabkan gangguan pernapasan. Biaya

ekonomi total akibat pengaruh TSP, Pb dan NO_x yang dihitung menggunakan nilai kesehatan dan kehilangan upah, berkisar dari yang terendah US\$ 97.000.000 sampai yang tertinggi US\$ 425.000.000 dengan nilai tengah US\$ 220.000.000.

C. ANALISIS PENCEMARAN UDARA

Analisis pencemaran udara pada dasarnya adalah untuk menentukan tingkat pencemaran udara terhadap dampak yang ditimbulkan. Dalam kaitannya dengan dampaknya terhadap pemanasan global sebagai akibat peningkatan gas rumah kaca di atmosfer (CO_2 , N_2O , CH_4), analisis dilakukan berdasarkan hasil pemantauan kandungan gas-gas tersebut di atmosfer secara berkala dan untuk jangka waktu lama. Pada saat yang bersamaan juga dipantau suhu udara/atmosfer, baik dilakukan di stasiun meteorologi/ klimatologi yang tersebar di seluruh dunia maupun melalui satelit. Selanjutnya dapat dibuat hubungan antara peningkatan kandungan gas rumah kaca di atmosfer dengan suhu atmosfer pada selang atau periode waktu jangka panjang, misal 10 tahun, 50 tahun, atau 100 tahun. Beberapa model simulasi telah dikembangkan untuk menduga kecenderungan kenaikan suhu atmosfer dalam kaitannya dengan kenaikan kandungan gas rumah kaca khususnya CO_2 di atmosfer.

Analisis pencemaran udara dalam kaitannya dengan dampaknya terhadap tumbuhan dan hewan belum banyak dilakukan karena perhatian ke arah itu masih sangat rendah. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai dampak pencemaran udara terhadap tumbuhan. Dampak pencemaran udara terutama di perkotaan terhadap tumbuhan dikaji melalui proses fisiologi dan morfologi tanaman, khususnya di daun. Pencemaran udara dari gas buang kendaraan bermotor merusak klorofil yang ditandai dengan adanya gejala khlorosis dan nekrosis pada tanaman penghijauan di tepi jalan raya di DKI Jakarta. Gejala khlorosis dan nekrosis tersebut diakibatkan oleh reaksi asam yang terbentuk antara gas buang kendaraan bermotor dan uap air di udara dengan Fe dan Mg, pada matriks khlorofil.

Karliansyah (1999) mengemukakan bahwa pada pohon angkana dan mahoni terdapat korelasi negatif antara NO_2 dengan khlorofil a dan b, makin tinggi kadar NO_2 di udara makin rendah kadar khlorofil.

Dalam kaitannya dengan gangguan terhadap kesehatan manusia, kadar pencemar udara hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu udara *ambien*. Apabila parameter pencemar udara pada tingkat di bawah baku mutu

udara *ambien* maka dikatakan bahwa udara masih tergolong bersih. Namun, apabila ada pencemar udara yang lebih tinggi dan baku mutu udara *ambien* maka udara sudah dapat digolongkan udara kotor atau tercemar dan membahayakan bagi kesehatan manusia. Baku mutu udara *ambien* tingkat nasional adalah menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dapat dilihat pada Tabel 4.7. Apabila di suatu provinsi, gubernur telah menetapkan baku mutu udara *ambien* maka yang digunakan adalah baku mutu yang ditetapkan oleh gubernur.

Tabel 4.7
Baku Mutu Udara *Ambien* Nasional

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
1.	SO ₂ (Sulfur Dioksida)	1 jam 24 jam 1 thn	900 µg/Nm ³ 365 µg /Nm ³ 60 µg /Nm ³	Pararosanilin	Spektrofotometer
2.	CO (Karbon Monoksida)	1 jam 24 jam 1 thn	30.000 µg /Nm ³ 10.000 µg /Nm ³	NDIR	NDIR Analyzer
3.	NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 jam 24 jam 1 thn	400 µg /Nm ³ 150 µg /Nm ³ 100 µg /Nm ³	Saltzman	Spektrofotometer
4.	O ₃ (Oksida)	1 jam 1 thn	235 µg /Nm ³ 50 µg /Nm ³	Chemiluminescent	Spektrofotometer
5.	HC (Hidro Karbon)	3 jam	160µg /Nm ³	Flame Ionization	Gas Chromatografi
6.	PM ₁₀ (Partikel < 10 µm)	24 jam	150µg /Nm ³	Gravimetrik	Hi - Vol
7.	PM ₂₅ (Partikel < 2,5 µm)	24 jam 1 thn	65µg /Nm ³ 15µg /Nm ³	Gravimetrik Gravimetrik	Hi - Vol Hi - Vol
8	TSP (Debu)	24 jam 1 thn	230µg /Nm ³ 90µg /Nm ³	Gravimetrik	Hi - Vol
9.	Pb (Timah Hitam)	24 jam 1 thn	2µg /Nm ³ 1µg /Nm ³	Gravimetrik Ekstraktif Pengabuan	Hi - Vol
10.	Dustfall (Debu Jatuh)	30 hari	10 Ton/Km ² /Bulan (Pemukiman) 20 Ton/Km ² /Bulan (Industri)	Gravimetrik	Cannister
11.	Total Fluorides (as F)	24 jam 90 hari	3 µg /Nm ³ 0,5 µg /Nm ³	Spesific ion Electrode	Impinger atau Continous Analyzer

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Buku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
12.	Fluor Indeks	30 hari	40 /100 Cm ² dari kertas limed filter	Colourimetric	Limed Filter Paper
13.	Klorine & Klorine Dioksida	24 jam	150 µg /Nm ³	Spesific ion Electrode	Impinger atau Continous Analyzer
14.	Sulphat Indeks	30 hari	1 mg SO ₃ /100 Cm ³ Dari Lead Peroksida	Colourimetric	Lead Peroxida Candle

Untuk lebih mudah memberikan informasi tingkat pencemaran udara kepada masyarakat maka digunakan angka yang lebih mudah untuk dipahami masyarakat, yaitu Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara *ambien* di suatu lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampaknya terhadap kesehatan, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Dalam penelitian ini maka ISPU yang dihitung adalah untuk pencemar udara SO₂, NO₂ dan CO. Rentang nilai ISPU, kategori dan penjelasan dampaknya terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8
Kategori, Rentang Nilai ISPU dan Penjelasan Dampaknya
(Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-45/MENLH/10/1997)

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika.
Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan, tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika.
Tidak Sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan.
Sangat tidak sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada tidak sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi.

Adapun pengaruh ISPU untuk tiap parameter udara tersebut disajikan pada Tabel 4.9. Perhitungan ISPU menggunakan metode yang ditetapkan melalui Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. KEP-107/KABAPEDAL/11/1997, yaitu untuk menentukan besarnya ISPU terhitung adalah:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_a - X_b) + I_b$$

Keterangan:

- I = ISPU terhitung
- I_a = ISPU batas atas
- I_b = ISPU batas bawah
- X_a = Ambien batas atas
- X_b = Ambien batas bawah
- X_x = Kadar *ambien* nyata hasil pengukuran

Apabila di suatu laboratorium atau stasiun pemantauan kualitas udara dipantau/direkam lebih dari satu parameter maka nilai ISPU yang diumumkan adalah nilai ISPU untuk parameter yang mempunyai nilai ISPU tertinggi. Apabila di suatu kota ada lebih dari satu stasiun pemantau kualitas udara maka nilai ISPU yang diumumkan adalah nilai ISPU untuk parameter yang mempunyai nilai ISPU tertinggi di salah satu stasiun pemantauan. Nilai ISPU berlaku 24 jam dari hari tanggal (n) pukul 15.00 sampai pukul 16.00 hari besoknya tanggal (n + 1).

Tabel 4.9
Pengaruh ISPU untuk Setiap Parameter Pencemar Udara yang Dikaji
(Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan
No. KEP-107/KABAPEDAL/11/1997)

Kategori	Rentang	Sulfur dioksida (SO ₂)	Nitrogen dioksida (NO ₂)	Karbon monoksida (CO)
Baik	0-50	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₂ (selama 4 jam).	Sedikit berbau	Tidak ada efek
Sedang	51-100	Luka pada beberapa spesies tumbuhan.	Berbau	Perubahan kimia darah, tetapi tidak terdeteksi.
Tidak Sehat	101-199	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman.	Bau dan kehilangan warna, peningkatan reaktivitas pertumbuhan tenggorokan pada penderita asma.	Peningkatan pada kardiovestular pada perokok yang sakit Jantung.
Sangat tidak sehat	200-299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis.	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronchitis.	Meningkatnya kardiovaskular pada Orang, bukan perokok yang berpenyakit jantung dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata.
Berbahaya	300-lebih	berbahaya bagi semua populasi yang terpapar.	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar.	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar.

Nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, *Ambien* batas atas dan *Ambien* batas bawah menggunakan nilai pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10

Batas Indeks Standar Pencemar Udara menurut Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. KEP-107/KABAPEDAL/11/1997.

Indeks Standar Pencemaran Udara	24 jam SO ₂ µg/m ³	1 jam NO ₂ µg/m ³	8 jam CO µg/m ³
50	80	(2)	5
100	365	(2)	10
200	800	1.130	17
300	1.600	2.260	34
400	2.100	3.000	46
500	2.620	3.750	57,5

D. UPAYA KONSERVASI SUMBER DAYA UDARA

Pada uraian terdahulu telah dijelaskan jenis-jenis pencemar udara. Di antara gas-gas pencemar udara, ada kalangan yang memasukkan gas-gas rumah kaca, seperti CO₂ sebagai pencemar udara/atmosfer. Dalam bagian ini, CO₂ lebih tepat dipisahkan sebagai gas rumah kaca, dibedakan dengan pencemar udara lain. Hal ini disebabkan karena dampak yang ditimbulkannya berbeda sehingga upaya aspek konservasi udara juga berbeda antara gas rumah kaca dan gas pencemar udara.

1. Upaya Konservasi Sumber daya Udara dari Peningkatan Gas Rumah Kaca

Pengendalian atau pengurangan gas rumah kaca dilakukan melalui sumber (*source*) dan penyerap (*sink*). Pengendalian melalui sumber adalah untuk mengendalikan atau mengurangi emisi gas rumah kaca, sedangkan pengendalian melalui penyerap adalah untuk meningkatkan penyerapan gas rumah kaca di atmosfer. Pengendalian melalui sumber dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

a. Perawatan mesin atau fasilitas proses produksi/pembangkit energi

Perawatan mesin atau fasilitas proses produksi/pembangkit energi yang dilakukan secara rutin dan tepat akan memperbaiki kinerja mesin dan peralatan sehingga penggunaan bahan bakar minyak, gas atau batu bara lebih efisien. Efisiensi penggunaan BBM, gas atau batu bara selain secara ekonomis mengurangi biaya produksi atau operasi juga mengurangi emisi gas buang, termasuk CO₂.

b. *Pemilihan bahan bakar*

Pemilihan bahan bakar yang bersih akan mengurangi emisi pencemar udara dalam gas buang, termasuk CO₂. Penggantian bahan bakar batu bara atau BBM dengan bahan bakar gas (BBG) sangat signifikan dalam mengurangi emisi pencemar dalam gas buang, termasuk CO₂.

c. *Penggunaan listrik dari PLN atau pembangkit listrik di kawasan industri sebagai sumber energi*

Banyak industri dalam pemenuhan energi listrik mengoperasikan sendiri generator pembangkit listrik. Hal ini tentu tidak efisien dalam penggunaan BBM atau BBG yang berarti emisi gas buang khususnya CO₂ juga tinggi. Pemanfaatan listrik dari sumber PLN atau pembangkit listrik kawasan industri akan menghemat penggunaan BBM atau BBG yang juga memberi sumbangan dalam menekan emisi gas rumah kaca CO₂.

d. *Pemilihan proses produksi dan bahan bakar*

Beberapa alternatif proses produksi dan bahan bakar dapat dipilih oleh suatu industri dalam rangka efisiensi biaya produksi atau peningkatan kinerja di bidang lingkungan, termasuk pengendalian pencemaran air dan udara.

e. *Memasyarakatkan penggunaan sarana transportasi massal*

Penyediaan sarana angkutan atau transportasi umum di kota-kota dan antarkota, seperti kereta api dan bis dalam jumlah yang cukup, aman dan nyaman akan mendorong masyarakat lebih suka menggunakan angkutan umum daripada menggunakan mobil pribadi. Penggunaan mobil pribadi dalam jumlah besar menyebabkan pemborosan penggunaan BBM yang berarti juga peningkatan emisi gas buang, khususnya CO₂. Kebiasaan masyarakat untuk meninggalkan penggunaan mobil pribadi, dan memanfaatkan sarana angkutan umum akan menghemat penggunaan BBM, yang berarti mendukung upaya pengurangan emisi gas rumah kaca terutama CO₂.

Pengendalian melalui penyerap (*sink*) dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

a. *Reboisasi*

Reboisasi adalah penanaman kembali sebagai upaya merehabilitasi lahan kritis dan padang alang-alang di lahan kawasan hutan. Jenis-jenis yang dipilih harus sesuai dengan kondisi lingkungan setempat khususnya iklim. Menurut

ALGAS (1997), reboisasi merupakan alternatif paling baik dalam penyerapan CO₂, yaitu 783 ton CO₂ per hektar.

b. Penghijauan kawasan penyangga

Kawasan penyangga adalah kawasan hutan yang berbatasan langsung dengan lahan milik masyarakat, dapat juga disebut daerah antara hutan dengan tanah masyarakat. Program penghijauan di kawasan penyangga dikenal sebagai "social forestry", sebagai upaya untuk mengurangi tekanan atau gangguan terhadap hutan oleh anggota masyarakat sekitar yang tidak bertanggung jawab. Menurut ALGAS (1997), kemampuan serap CO₂ penghijauan di kawasan penyangga adalah 345 ton CO₂ per hektar.

c. Penghijauan

Penghijauan merupakan penanaman kembali jenis-jenis pohon di lahan kritis dan lahan masyarakat di lahan yang tidak termasuk kawasan hutan. Dalam program ini pemerintah menyediakan bibit, sedangkan penanaman dan perawatan pohon dilakukan oleh masyarakat. Jenis yang dipilih adalah jenis yang tumbuhnya cepat, bisa yang menghasilkan kayu pertukangan atau kayu untuk bahan bakar. Daya serap CO₂ tanaman penghijauan adalah 388 ton CO₂ per hektar (ALGAS, 1997).

d. Hutan Tanaman Industri (HTI)

Salah satu kebijakan pembangunan di sektor kehutanan adalah pengembangan Hutan Tanaman Industri (HTI). Program HTI adalah program penanaman di areal hutan produksi, tetapi jenis-jenis pohon untuk memenuhi bahan bakar industri, seperti *Acacia niangiuni*, *Paraserianthes falcataria*, *Tectona grandis*. Penyerapan HTI terhadap CO₂ sangat tinggi karena pertumbuhan pohon yang baik sesuai dengan perlakuan *silvikultur* yang intensif.

e. Regenerasi alamiah

Regenerasi alamiah diterapkan pada hutan alam dalam suatu sistem Tebang Pilih Indonesia (TPI). Dalam regulasi tentang HTI diatur tentang kriteria pohon yang ditebang, pengaturan blok tebangan dan lain-lain agar regenerasi atau permudaan secara alamiah dapat berlangsung. Untuk memperbaiki regenerasi di hutan alam, selain mengandalkan regenerasi alam juga dilakukan penanaman. Untuk itu maka dikembangkan kebijakan Tebang Pilih Tanaman Industri (TPTI).

2. Upaya Pengendalian Pencemar Udara

Upaya pengendalian pencemar udara dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pengendalian pencemar di sumbernya dan pengenceran secara alamiah (*material dilution*) pencemar. Pengendalian pencemar di sumbernya dimaksudkan agar tidak terjadi jumlah pencemar udara yang berlebihan diemisikan ke atmosfer. Dalam pengenceran secara alamiah dimaksudkan untuk mencapai konsentrasi pencemar di udara agar tidak berbahaya atau merusak manusia, binatang, *vegetasi* dan material.

a. Pengendalian pencemar udara di sumbernya

Pengendalian pencemar udara dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

- 1) Mencegah terbentuknya pencemar tertentu sebagai contoh dalam industri minyak dan gas bumi, apabila ada gas yang harus diemisikan ke udara, gas yang berbentuk hidrokarbon tersebut dibakar sebelum masuk ke udara/atmosfer.

- 2) Merusak atau menangkap pencemar udara

Pada industri tertentu, misalnya industri makanan, limbah organik dapat membusuk dan menyebar bau ke sekitarnya. Agar tidak terjadi hal ini, limbah dibakar dengan suhu tinggi di dalam *Incenerator*. Untuk pencemar udara yang sudah terbentuk dapat ditangkap/dikumpulkan sebelum teremisikan ke udara. Sebagai contoh, debu dapat ditangkap sebelum terbuang ke udara/atmosfer. Beberapa jenis alat perangkap debu adalah *Electrostatic Precipitator* (EP), siklon, filter dan scrubber. *Electrostatic precipitator* bekerja dengan prinsip memberikan muatan listrik (+) atau (-) pada suatu pelat atau lempengan logam yang berlawanan dengan muatan listrik debu (-) atau (+) sehingga debu menempel ke pelat logam tersebut dan tidak terbuang ke udara. Setelah debu terkumpul di permukaan pelat logam tersebut, debu dijatuhkan dari permukaan pelat dan dikumpulkan di lokasi pengumpulan debu. Pengoperasian EP memerlukan biaya besar karena harga EP sangat mahal dan untuk mengoperasikannya memerlukan tenaga listrik yang besar. EP sudah digunakan oleh industri semen, misalnya PT Indocement dan dapat menangkap debu sampai 99.99%. Siklon bekerja dengan prinsip adanya perubahan mendadak arah aliran gas buang, makin besar momentum partikel yang lebih besar (debu) maka debu akan meninggalkan aliran gas buang. Scrubber bekerja dengan prinsip "mengkondisikan partikel", dengan kontak intensif antara partikel debu dan air maka debu akan basah dan memisahkan diri dengan aliran gas buang.

Penurunan udara yang berbentuk gas dapat diperangkap menggunakan penyerap yang berbentuk cairan atau bahan padat. Sebagai contoh dalam skala kecil, bau yang tidak sedap dapat diserap dengan kamper.

3) Pengendalian pencemar udara melalui operasi industri

Untuk industri yang sudah beroperasi, pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan dengan pemilihan atau perubahan bahan baku, perubahan prosedur operasi, modifikasi atau penggantian peralatan proses atau mencari alternatif metode untuk menghasilkan produk yang sama dengan operasi yang lebih efisien menggunakan peralatan yang sudah ada. Pendekatan semacam ini, sesuai dengan penerapan prinsip "produksi bersih" (*Clean Production*).

b. *Pengendalian Pencemar udara melalui penyebaran (dispersi) di atmosfer*

1) Penggunaan cerobong (*stack*) yang tinggi

Dengan penggunaan cerobong dengan ketinggian yang cukup diharapkan emisi gas buang/pencemar yang relatif tinggi akan terencerkan dan terdispersi oleh gerakan udara. Dengan demikian, apabila pencemar udara mencapai permukaan tanah, konsentrasinya sudah tidak membahayakan.

2) Pengendalian secara meteorologi

Di dalam metode ini kegiatan industri dikurangi atau berhenti selama keadaan cuaca tidak menguntungkan. Misalnya, pada malam hari di mana udara stabil atau tidak ada gerakan udara maka untuk industri yang menimbulkan pencemar udara dapat menurunkan intensitas kegiatannya atau berhenti sama sekali untuk menghindari pencemaran udara terhadap pemukiman di sekitarnya.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan yang dimaksud pencemaran atau polusi udara! Berikan contohnya dengan memperlihatkan tempat dan jenis pencemar udara!
- 2) Sebutkan sumber-sumber pencemar udara dan contoh pencemar udara yang ditimbulkannya!

- 3) Makin tinggi kandungan CO₂ di atmosfer maka suhu udara makin meningkat. Jelaskan mengapa CO₂ di atmosfer makin meningkat dan akibatnya suhu udara makin tinggi!
- 4) Jelaskan mengapa penghijauan, reboisasi, pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) dapat mengendalikan emisi CO₂ ke atmosfer!
- 5) Sebutkan cara-cara pengendalian pencemar udara di sumbernya. Bagaimana untuk industri yang sedang beroperasi?
- 6) Bagaimana cara menentukan/menyatakan kondisi kualitas udara berdasarkan nilai ISPU?
- 7) Di suatu lokasi, konsentrasi SO₂ udara di *ambien* adalah 322 µg/Nm³. Ubah nilai tersebut menjadi nilai ISPU. Berdasarkan nilai ISPU tersebut, kondisi udara termasuk kategori apa?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Di atmosfer/udara memang ada bahan-bahan pencemar udara, namun masih dalam kadar yang sangat kecil sehingga tidak membahayakan. Walaupun ada pencemar udara dalam kadar yang cukup tinggi, namun belum tentu adanya di lokasi yang ada penduduk. Pelajari kembali pengertian atau definisi pencemaran udara.
- 2) Coba lagi kembali. Sumber-sumber pencemar udara dan jenis-jenis pencemar udara yang ditimbulkan. Jenis-jenis pencemar yang ditimbulkan oleh sumber pencemar udara sangat terkait dengan proses fisik-kimia yang berlangsung di sumber tersebut.
- 3) Untuk menjawab soal No. 3, coba Anda pelajari kembali sumber-sumber emisi CO₂ dan kecenderungan ke waktu mendatang. Pelajari perilaku CO₂ terhadap gelombang radiasi, khususnya radiasi gelombang panjang. Anda dapat memanfaatkan pustaka atau buku tentang klimatologi atau meteorologi.
- 4) Pelajari kembali proses fisiologi tanaman yang memanfaatkan CO₂ dengan bantuan tenaga radiasi surya sehingga terbentuk biomassa. Manfaatkan pustaka atau buku tentang biologi atau fisiologi tumbuhan.
- 5) Pelajari kembali cara-cara pengendalian pencemar udara di sumbernya dan contoh-contoh yang dikemukakan.
- 6) Pelajari kembali apa arti ISPU, langkah-langkah perhitungan ISPU dan kategori kualitas udara berdasarkan rentang nilai ISPU.

- 7) Pelajari cara menghitung nilai ISPU berdasarkan hasil pengukuran nilai konsentrasi pencemar udara di udara *ambien*.



RANGKUMAN

Pencemaran udara terjadi apabila ada kehadiran pencemar udara di suatu tempat yang tidak tepat atau pada konsentrasi yang tidak tepat. Jadi, dalam menilai ada pencemaran udara harus memperhatikan dimensi ruang atau tempat dan konsentrasi.

Sumber-sumber pencemar udara terdiri dari proses pemanasan dan pembakaran, kegiatan industri, kendaraan bermotor dan sumber-sumber lainnya. Pemanasan dan pembakaran, misalnya proses loncatan listrik dan pembakaran gas alam. Jenis-jenis pencemar udara dari kegiatan industri tergantung pada jenis industrinya. Kendaraan bermotor mengemisikan gas buang akibat pembakaran BBM di dalam mesinnya, jenis BBM dan kecepatan kendaraan menentukan jenis dan konsentrasi gas buang. Sumber pencemar udara lainnya, misalnya kebakaran hutan, pembakaran sampah rumah tangga/sampah kegiatan industri dan penambangan bahan galian.

Pengendalian emisi gas rumah kaca di atmosfer dapat dilakukan melalui kegiatan penghijauan, reboisasi, pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) dan pengelolaan hutan alam secara lestari. Pengendalian pencemar udara dapat dilakukan di sumbernya dan dilakukan dengan pendekatan penyebaran (dilusi) pencemaran di atmosfer. Pengendalian pencemaran udara di sumbernya dilakukan dengan mencegah terbentuknya pencemar, merusak atau menangkap pencemar, dan pengendalian melalui operasi. Pengendalian dengan pendekatan penyebaran (dilusi) pencemar di atmosfer dilakukan dengan penggunaan cerobong tinggi untuk mengemisikan gas buang dan membatasi atau memberhentikan operasi pada waktu cuaca tidak menguntungkan.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Gas yang timbul akibat pembakaran atau loncatan listrik pada suhu tinggi adalah
- SO₂
 - N₂O
 - NO₂
 - H₂S

- 2) Bahan Bakar Minyak (BBM) yang paling banyak mengandung sulfur (belerang) adalah
 - A. premium
 - B. IFO/minyak bahan industri
 - C. aftur
 - D. minyak tanah

- 3) Industri yang mengeluarkan CO_2 , H_2S , metil merkaptan dan dimetil merkaptan adalah industri
 - A. rayon dan pulp
 - B. pengolah karet
 - C. pengecoran logam
 - D. besi dan baja

- 4) Pencemar udara yang mengikat hemoglobin adalah
 - A. CO_2
 - B. H_2S
 - C. SO_2
 - D. CO

- 5) Di antara gas-gas rumah kaca yang dapat dikendalikan melalui kegiatan penghijauan adalah
 - A. CH_4
 - B. CO_2
 - C. O_3
 - D. O_2

- 6) Pencemaran udara yang dapat dihancurkan di sumbernya melalui pembakaran adalah
 - A. CO_2
 - B. Hidrokarbon
 - C. SO_2
 - D. NH_3

- 7) Pencemaran udara yang selain mengganggu kesehatan manusia, juga menyebabkan hujan asam adalah
 - A. H_2S dan CO
 - B. NH_3 dan Hidrokarbon
 - C. SO_2 dan NO_2
 - D. O_3

- 8) Pencemar udara yang merusak sistem syaraf adalah
- A. SO₂
 - B. NO₂
 - C. Pb
 - D. O₃
- 9) Kondisi udara termasuk kategori sangat tidak sehat apabila nilai ISPU
- A. 51-100
 - B. 101-199
 - C. 200-299
 - D. 200
- 10) Apabila kadar PM₁₀ di udara 250 µg/Nm³ maka nilai ISPU adalah
- A. 100
 - B. 120
 - C. 130
 - D. 150

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Tekanan udara 1 atm. setara dengan 1.013 mb.
- 2) D. Proses cuaca yang melibatkan perpindahan massa dan momentum hanya berlangsung di lapisan Troposfer.
- 3) C. O_2 untuk pernapasan, N_2 diserap oleh tanaman dalam proses fiksasi nitrogen, dan CO_2 dimanfaatkan untuk proses fotosintesis.
- 4) B. Kandungan O_2 di udara sekitar 20,93%, nomor 2 setelah N_2 , sebesar 78,08%.
- 5) B. O_3 terbesar di lapisan 20-30 km di lapisan Stratosfer.
- 6) C. O_3 menyerap radiasi ultraviolet.
- 7) D. CH_4 dan H_2S dihasilkan dari pembusukan bahan organik secara anaerobik.
- 8) C. CO_2 terbesar adalah hasil pembakaran BBM dan bahan-bahan lain, intensitasnya cenderung meningkat terus.
- 9) B. Coba perhatikan dan renungkan bahwa di udara ada CO_2 . Apa yang terjadi apabila air (H_2O) bertemu CO_2 ?
- 10) D. Gas semburan dari bawah di antaranya CO_2 , H_2S dan SO_2 , yang bersifat racun adalah N_2S dan SO_2 .

Tes Formatif 2

- 1) C. Akibat suhu tinggi pada pembakaran dan loncatan listrik, O_2 akan bereaksi dengan N_2 membentuk NO_3 .
- 2) B. IFO atau minyak bakar dalam pengilangan minyak merupakan hasil dari proses terpendek dan merupakan fraksi terberat dibandingkan BBM lain sehingga kandungan sulfur masih tinggi.
- 3) A. CS_2 , H_2S , metil merkaptan dan dimetil merkaptan diemisikan dari industri rayon dan pulp.
- 4) D. CO akan bergabung dengan hemoglobin membentuk CO-Hb, afinitas CO dengan Hb lebih kuat dari afinitas O_2 dengan Hb.
- 5) B. CO_2 digunakan tanaman dalam proses fotosintesis untuk meningkatkan biomassa.
- 6) B. Dapat dibakar adalah hidrokarbon membentuk H_2O dan CO_2 .
- 7) C. SO_2 dan NO_2 bereaksi dengan air hujan, masing-masing membentuk H_2SO_3 dan HNO_3 .

- 8) C. Pb merupakan logam berat yang terdapat dalam bensin, apabila gas buang kendaraan bermotor masuk ke pernapasan maka Pb akan terbawa darah dan merusak sistem syaraf.
- 9) C. Lihat tabel pengaruh ISPU untuk tiap parameter perencanaan udara.
- 10) D. Merupakan hasil konversi hasil pengukuran menjadi nilai ISPU (lihat metode untuk memperoleh nilai ISPU).

Daftar Pustaka

- Anonim, (1997). *Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca*. Asian Least-Cost Greenhouse Gas Abatement Strategy.
- Anonim, (2003). *Laboratory Certificate of Quality*. Pertamina U.P. IV Cilacap.
- Adel U., Adlin. (1995). *Kebijaksanaan Pengendalian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor di Wilayah DKI Jakarta*. Makalah dalam Panel Diskusi Forum Komunikasi Lingkungan DKI Jakarta. Jakarta 23 Agustus 1995.
- Barry, R.G. and J.R. Chorley. (1968). *Atmosphere*. London: Weather and Climate. Methuen.
- Budiraharjo, E. (1991). *Pencemaran Udara*. Widyapura No. 5 Tahun VII Januari 1995.
- Bowen, H.J.M. (1979). *Environmental Chemistry of The Elements*. London: Academic Press.
- Chi-Wen, Lin. (1999). *Hazardous Pollutant Source Emissions for A Chemical Fiber Manufacturing Facility in Taiwan*. Changhua: Dept. of Env. Engineering DaYeh University.
- Dieterle, Gerhard and Angelika Heil. (1998). *Impact of Large Sacle Forest and Land Fires in Indonesia 1997 on Regional Air Pollution. Paper Presented in International Cross Sectoral Forum On Forest Management in South East Asia*. Jakarta 17-18 December 1998.
- Direktorat Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Raya, Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. (1998). *Emisi Kendaraan Bermotor*. Widyapura No. 6 Tahun V Oktober 1988.
- Forsdyke, A.G. (1970). *Meteorological Factors in Air Pollution*. Geneva: Technical Note. No. 114 World Meteorological Organization. Geneva.

- Gordon, Adrian *et.al.* (1998). *Dynamic Meteorology, A Basic Course*. London: Arnold. London.
- Hartogensis, P. (1977). *Atmospheric Pollutan*. Delft: Int. Ins. for Hydrolics and Civil Engineering. Delft.
- Hill, John. W. (1984). *Chemistry for Changing Time 4thed.* Minnesota: Burgess Publishing Company.
- Kandun, I Nyoman. (1998). *Role of The Health Sector in Preventing Adverse Health Impacts From Forest Fire Haze in Indonesia. Paper Presented in International Cross Sectoral Forum on Forest Management in South East Asia*. Jakarta 17-18 December 1998.
- Landis, Wayne G. and Ming-Ho Yu, (1995). *Introduction to Environmental Toxicology: Impacts of Chemicals Uppon Ecological Systems*. London: Lewis Publishers.
- Nukman, Atrisman. (1998). *Role of Health Sector to Prevent Adverse Health Impact of Haze in Indonesia. Paper Presented in International Cross Sectoral Forum on Forest Management in South East Asia*. Jakarta 1718 December 1998.
- Rax, Rafdjon. (1995/1996). *Kualitas Udara di Wilayah DKI Jakarta 1994/1995*. Himpunan Karangan Ilmiah di Bidang Perkotaan dan Lingkungan Vol II/1995/1996.
- Staff of Research and Education Association. (1980). *Modern Pollution Control Technology*. New York: Research and Education Association.
- Trewartha, Glenn T. and Lyle H. Horn. *An Introduction to Climate 5th Ed.* New York: McGraw-Hill.
- Welbum, Alan. (1990). *Air Pollutan and Accid Rain, The Biological Impact*. New York: Longman Scientific and Technical.

Zudianto, Herry and Olly Norojono. (2002). *Engaging Local Universities for Technical Assistance: A Case Study of Yogyakarta, Indonesia. Paper Presented in Workshop on "Energizing Cities": City Executives Regional Exchange on Local Energy Management as A Feature of Good Governance.* Iloilo City, Philippine, February, 11-13, 2002.

Konservasi Sumber Daya Energi

Ina Rosdiana, S.Si.
Dr. Ir. Muhadiono, M.Sc.



PENDAHULUAN

Modul 5 ini bertujuan memberikan pengetahuan mengenai macam-macam energi serta menjelaskan masalah-masalah yang berkaitan dengan energi. Dalam sajian modul ini saudara akan mendapat pengetahuan tentang berbagai macam sumber energi, terjadinya krisis energi, bahaya energi bagi kesehatan manusia, sumber energi alternatif, dan konservasi sumber daya energi.

Modul ini kami sajikan dalam dua kegiatan belajar, yaitu sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1: membahas Krisis Energi.

Kegiatan Belajar 2: membahas Konservasi Sumber Daya Energi.

Setelah mempelajari modul ini, saudara dapat menjelaskan sumber daya energi, masalah-masalah yang berkaitan dengan energi serta upaya-upaya konservasi energi. Secara lebih terperinci, setelah mempelajari modul ini, saudara dapat menjelaskan:

1. macam-macam sumber daya energi;
2. masalah-masalah terjadinya krisis energi;
3. bahaya energi terhadap kesehatan manusia;
4. alternatif sumber daya energi;
5. upaya-upaya konservasi sumber daya energi.

Agar semua tujuan tersebut dapat tercapai, saudara diharapkan mempelajari modul ini dengan saksama dan mengerjakan setiap latihan dan kegiatan yang ada.

Selamat belajar, semoga berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Krisis Energi

A. PENGERTIAN ENERGI

Energi dan materi merupakan dua unsur fisik tentang segala yang ada. Semua materi mengandung energi. Materi atau massa, dapat berubah menjadi energi. Dapat pula dikatakan energi adalah konsep untuk dapat menerangkan gerak. Bergerak adalah hasil kerja. Oleh karena itu, energi adalah sesuatu yang diperlukan untuk melakukan kerja. Tanpa energi kita tidak dapat melakukan kerja. Contoh tentang kerja ialah berjalan kaki, mengangkat barang. Energi secara fisik tidak terlihat, yang terlihat adalah akibat dan energi itu sendiri karena ada energi yang bekerja pada suatu benda maka benda tersebut dapat bergerak.

Energi dapat diubah atau ditransformasi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, tetapi jumlah energi tidak dapat berubah artinya, jumlah energi sebelum dan sesudah proses transformasi selalu sama. Jadi, kita tidak dapat membentuk atau memusnahkan energi. Inilah yang disebut Hukum Termodinamika I. Walaupun jumlah energi tetap, tetapi dalam proses transformasi sebagian energi berubah ke bentuk yang tidak dapat digunakan untuk melakukan kerja. Walaupun jumlah totalnya tetap sama, daya guna energi itu telah berkurang. Kita katakan setelah proses transformasi itu tingkat entropi sistem bertambah. Inilah yang disebut hukum Termodinamika II, yaitu suatu proses spontan yang selalu diikuti dengan berkurangnya daya guna energi. (Lihat juga bab I-32).

Energi di Indonesia merupakan bagian dari kegiatan Kementerian ESDM (Energi dan Sumber daya Mineral) atau dahulu yang dikenal sebagai Departemen Pertambangan. Aktivitas ini terkait dengan tulisan dari buku Von Bemmelen 1949, yang mengemukakan adanya potensi sumber daya mineral yang terbagi atas 3 bagian, yaitu mineral organik, bijih logam dan mineral lainnya. Termasuk mineral organik adalah minyak bumi, gas alam, batubara dan aspal. Bijih logam dalam hal ini mencakup adalah timah, emas, perak, bauksit, nikel, mangan, tembaga, timah hitam/timbal, seng dan platinum. Mineral lain mencakup pelikan atau bahan tambang berupa fosfat, sulfur, yodium, batu kapur, kaolin, tras, liat, pasir, batu kembang/apung, intan, besi, khromit, air raksa, dan sebagainya.

Energi pada dasarnya terdiri dari energi yang tidak terbarui (*non renewable*) dan energi yang terbarui (*renewable*). Energi yang tidak terbarui terdiri dari energi yang telah dikembangkan yaitu minyak, gas, dan batu bara. Energi yang tidak terbarui yang belum dikembangkan adalah uranium (nuklir), dan *Coal Bed Methane* (CBM), yaitu gas methane yang berada di lapisan batu bara jauh di dalam tanah. Sedangkan energi yang terbarui terdiri dari air, panas bumi, biomassa, angin, dan laut. Energi selain dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan energi maupun bahan baku untuk industri, juga merupakan sumber penerimaan atau devisa bagi suatu negara.

Pada kesempatan ini kita akan membahas macam-macam energi, terjadinya krisis energi dan bahaya yang ditimbulkan dari energi terhadap kesehatan manusia. Untuk lebih jelasnya ikutilah uraian berikut.

B. MACAM - MACAM ENERGI

Seperti disinggung di awal, bahwa sumber energi terdiri dari energi yang tidak terbarui (*nonrenewable*) dan energi yang terbarui (*renewable*). Sumber energi non renewable, tidak terbarukan umumnya sekaligus juga *unsustainable* atau tidak berkelanjutan. Saat ini sebagian besar energi yang digunakan dalam peradaban manusia modern perkotaan umumnya berasal dari bahan bakar fosil, yaitu bahan bakar minyak, gas dan batubara. Kerugian penggunaan bahan bakar fosil selain merusak lingkungan adalah juga tidak terbarukan.

Fakta menunjukkan bahwa konsumsi energi terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Untuk melakukan pembangunan yang merata dan menyeluruh menyentuh semua lapisan masyarakat diperlukan catu energi yang cukup terjamin. Peningkatan pembangunan harus disertai peningkatan dan pemanfaatan teknologi. Sedangkan dalam praktik pemanfaatan teknologi memerlukan energi yang cukup. Oleh karena itu, catu energi harus ditingkatkan sejajar dengan peningkatan pembangunan.

Agar catu energi meningkat dan bermanfaat maka kemampuan konsumsi energi kita harus juga ditingkatkan. Konsumsi energi dibagi dua golongan besar, yaitu konsumsi untuk rumah tangga dan konsumsi untuk produksi atau komersial. Peranan utama energi dalam pembangunan adalah untuk menaikkan daya dukung lingkungan dengan menaikkan produktivitas dan menciptakan

lapangan kerja bagi golongan lemah, agar mereka dapat menuju pada kehidupan layak dan pada ujungnya akan menyejahterakan masyarakat.

Oleh karena itu, perlu dipahami bahwa penerangan listrik bagi daerah tertinggal perlu dilakukan untuk pemberdayaan kaum perempuan menjadi lebih produktif, baik dalam bidang kesenian, budaya maupun kegiatan ekonomi rumah tangga, dan mereka bukan sekedar hanya untuk meningkatkan jumlah populasi anak sumber tenaga kerja bagi kesejahteraan rumah tangga saja.

Energi sangat berperan penting dalam pembangunan suatu bangsa atau *nation*. Tanpa energi pembangunan tidak akan berlangsung. Energi merupakan determinan penentu sebuah ekosistem, merupakan “pusat berlangsungnya sistem ekologi”. Untuk ini pemanfaatan energi dalam pembangunan perlu ditata dan dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan risiko buruk terhadap sebuah ekosistem. Contoh berlangsungnya ekologi perkotaan perlu diupayakan kegiatan yang bersifat: 1) hemat energi; 2) daur ulang; 3) pemanfaatan limbah; 4) efisiensi pengelolaan sumber daya alam setempat; 5) berkelanjutan atau berkesinambungan.

Kesenjangan antara kebutuhan energi dan penyediaannya merupakan masalah yang perlu segera dicari pemecahannya. Menurut perkiraan para ahli tahun 2010-an produksi minyak akan menurun tajam dan akan berkembang menjadi titik awal kesenjangan energi. Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan kita berpaling perlu mengembangkan energi terbarukan dan melakukan konservasi energi yang disebut pengembangan energi hijau (“*green energy*”).

Energi terbarukan adalah energi nonfosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui. Pengembangan sumber energi terbarukan memerlukan kurun waktu cukup sebelum sampai pada pemanfaatan secara ekonomi yang berarti. Di Indonesia pemanfaatan energi terbarukan dapat digolongkan menjadi empat. *Pertama* adalah energi sudah dikembangkan komersial, seperti biomassa, panas bumi dan tenaga air. *Kedua* adalah energi sudah dikembangkan tetapi masih secara terbatas, yaitu energi surya. *Ketiga* adalah energi yang baru sampai pada tahap penelitian seperti energi pasang surut, energi gelombang laut, dan energi angin. *Keempat* adalah energi atomik sedang menuju ke tahap penelitian, pengembangan dan pemanfaatan melalui elektrolisis air menjadi energi mono hidrogen (satu ion H atomik) dan di hidrogen (dua ion H atomik).

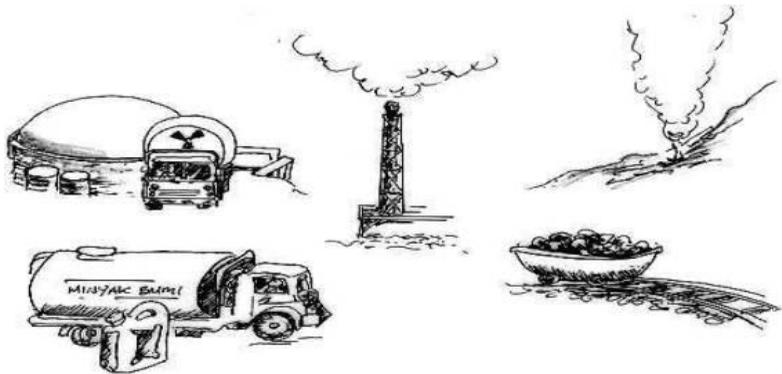
Kegiatan Belajar 1 hanya menjelaskan sumber energi yang tidak terbarui. Sedang sumber energi terbarui dijelaskan pada Kegiatan Belajar 2.

C. SUMBER ENERGI TIDAK TERBAHARUI

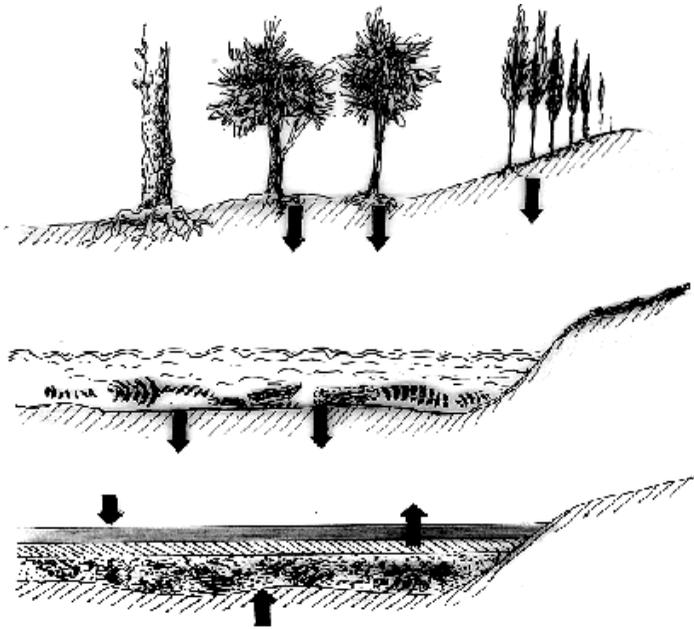
Keberadaan sumber energi tak terbarui sangat terbatas karena proses pembentukannya memerlukan waktu sangat panjang (mencapai jutaan tahun). Proses pembentukannya (kembali) berjalan sangat lama dibandingkan dengan eksploitasinya sehingga sumber energi tersebut dapat habis.

Sumber Energi Tak Terbaharui dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu bahan bakar fosil dan bahan bakar nuklir.

Bahan bakar fosil berupa minyak bumi, gas bumi dan batu bara yang selama jutaan tahun terbentuk dan tersimpan di dalam bumi, berasal dari mikroorganisme, tumbuh-tumbuhan, dan binatang yang mati berjuta tahun silam. Proses pembentukan sumber energi fosil memerlukan tekanan dan suhu tinggi yang terdapat di dalam bumi.



Gambar 5.1
Sumber-sumber Energi Tak Terbaharui



Gambar 5.2
Proses Pembentukan Bahan Bakar Fossil, contoh: Batu Bara

1. Minyak Bumi

Minyak bumi terbentuk sebagai hasil akhir dari penguraian bahan-bahan organik (sel-sel dan jaringan hewan/tumbuhan laut) yang tertimbun selama berjuta tahun di dalam tanah, baik di daerah daratan atau pun di daerah lepas pantai. Hal ini menunjukkan bahwa minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Terbentuknya minyak bumi sangat lambat, oleh karena itu perlu penghematan dalam penggunaannya.

Minyak bumi adalah cairan berwarna hitam yang merupakan campuran bermacam-macam jenis molekul hidrogen-karbon sehingga apabila dibakar akan menghasilkan gas karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O).

Minyak bumi terdapat di bawah permukaan bumi pada kedalaman 500 - 2500 m. Untuk itu minyak mentah ini harus dipompa ke luar kemudian dialirkan ke instalasi penyulingan minyak guna diproses untuk mendapatkan bermacam-macam jenis bahan bakar minyak, misalnya bensin, solar, minyak tanah. Selain digunakan sebagai bahan bakar, minyak bumi juga dipakai untuk bahan baku dalam industri plastik dan kimia. Sebagai sumber energi, minyak bumi sesuai

untuk keperluan transportasi, misalnya untuk bahan bakar kendaraan karena mempunyai kandungan energi yang tinggi setiap volumenya.

Di Amerika, pada tahun 1978 perusahaan minyak Amerika membelanjakan \$29 juta untuk eksplorasi minyak. Lokasi deteksi minyak dibangun di Pennsylvania, Virginia Barat, Oklahoma, Texas, dan Oregon. Di Beverly Hills, California dilakukan pengeboran minyak di area sekolah tinggi Beverly Hills. Pengeboran minyak juga dilakukan di Samudra California Selatan, di Teluk Alaska dan di perairan pantai Lautan Atlantik dan Teluk Mexico.

Di Indonesia, minyak bumi banyak terdapat di bagian utara Pulau Jawa, bagian Kalimantan dan Sumatra, daerah kepala burung Papua, serta bagian timur pulau Seram. Minyak bumi juga diperoleh di lepas pantai pulau Jawa dan timur pulau Kalimantan.

Indonesia merupakan salah satu negara OPEC walaupun demikian cadangan minyaknya hanya 0,6% dari cadangan minyak dunia. Cadangan minyak Indonesia adalah 9.692% miliar barel. Dengan produksi sekitar 485 juta barel per tahun rasio cadangan terhadap produksi adalah 20 tahun. Cadangan yang besar berada di wilayah Riau, Kalimantan Timur, Jawa Barat dan Sumatra Selatan.

2. Gas Bumi/Gas Alam

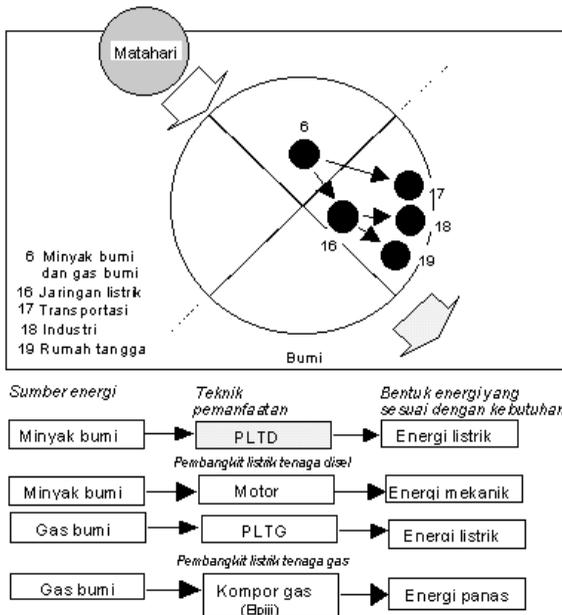
Proses pembentukan minyak bumi selalu diikuti oleh pembentukan gas bumi. Gas bumi terutama terdiri dari gas metana (CH_4), yaitu sebesar 75-95% dan sedikit karbon dioksida (CO_2) serta belerang. Gas CH_4 (methan) juga merupakan bahan bakar fosil, seperti batu bara dan minyak, yang dibentuk dalam periode lama akibat pembentukan sisa binatang/tumbuhan yang tidak sempurna sehingga menjadi sedimen/endapan.

Gas bumi digunakan, misalnya untuk pembangkit tenaga listrik dengan bahan bakar gas (LPG). Selain sebagai pemasok keperluan energi, gas bumi juga digunakan untuk bahan baku dalam industri pupuk. Oleh karena gas bumi mengandung metana (CH_4) dalam jumlah besar, gas tersebut menyebabkan efek rumah kaca jika tidak dibakar.

Tahun 1971, Amerika mengonsumsi 49% dari total konsumsi gas alam dunia. Jumlah produksi gas alam di sumur gas di AS menyusut lebih dari 50% selama tahun 1955-1963 sehingga pada tahun 1973 Komisi Pengawas Tenaga Atom mengusulkan suatu proyek yang akan merangsang munculnya gas alam dengan aturan peledakan nuklir di Colorado. Rencana ini bagaimanapun menimbulkan konflik antara perusahaan minyak dan gas. Pembebasan gas ini

mungkin akan memerlukan sedikitnya 250 ledakan nuklir, yang pasti merupakan suatu cara yang tidak akan disetujui baik oleh aktivis lingkungan maupun oleh sektor publik Amerika.

Indonesia merupakan negara pengekspor gas alam dalam bentuk cair (LNG) terbesar di dunia saat ini, walaupun dari segi cadangan hanyalah 1.4% dari cadangan minyak dunia. Cadangan gas bumi Indonesia tercatat sebesar 136.5 TCF. Produksi gas bumi Indonesia sekitar 3.2 TCF per tahun maka rasio cadangan terhadap produksi adalah 41 tahun. Walaupun demikian, apabila gas harus menggantikan sebagian peran minyak maka waktunya akan lebih pendek. Cadangan gas yang besar ada di wilayah Kalimantan Timur, Sumatra Selatan, Irian Jaya, dan Natuna Timur.



Gambar 5.3
Pemanfaatan Minyak dan Gas Bumi/Gas Alam

3. Batu Bara

Batu bara adalah bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen, terkena pengaruh panas, dan tekanan yang berlangsung selama jutaan tahun. Proses terbentuknya batu bara

diawali dengan terbentuknya sisa tumbuhan menjadi gambut, kemudian *lignit*, *subbituminous*, *bituminous* dan akhirnya antrasit. Proses tersebut sesungguhnya adalah terjadinya proses pengeluaran secara berangsur dari zat pembakar, karbondioksida, dan air hingga terjadi peningkatan konsentrasi karbon. Pada saat terbentuk gambut, kandungan air mencapai 60%, kemudian menurun sampai 1-3% pada batu bara antrasit.

Batu bara saat ini merupakan salah satu bentuk sumber energi yang dimiliki Indonesia. Di Indonesia, batu bara banyak ditemukan di Kalimantan dan Sumatra. Persediaan batu bara di Indonesia sangat melimpah dan diperkirakan dapat digunakan selama beberapa abad mendatang bila angka tingkat eksploitasinya tetap seperti saat ini.

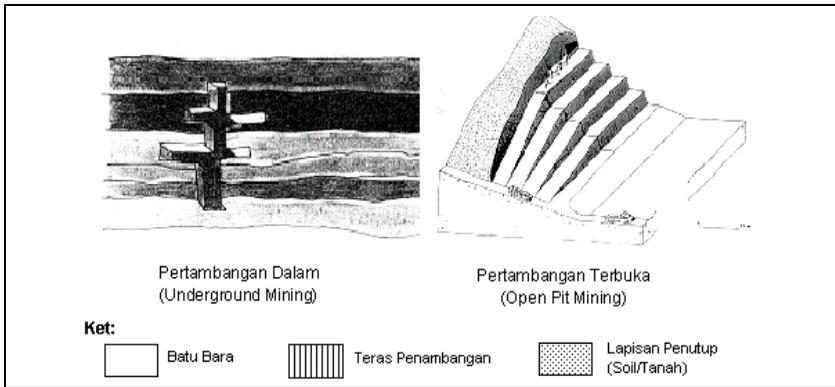
Oleh karena itu, batu bara cukup potensial bila dikembangkan secara serius untuk menunjang pembangunan dengan tetap memperhatikan dampak pencemaran lingkungan yang ditimbulkan akibat dari pertambangan maupun sisa hasil pemanfaatannya.

Proses terbentuknya batu bara mirip dengan proses terbentuknya sumber energi fosil lainnya, seperti gas bumi dan minyak bumi. Batu bara juga berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang dan mikroorganisme yang mati jutaan tahun lalu, setelah melalui proses yang sangat lama disertai pengaruh panas dan gerakan bumi, kemudian membentuk lapisan-lapisan tebal dan tertimbun di dalam tanah.

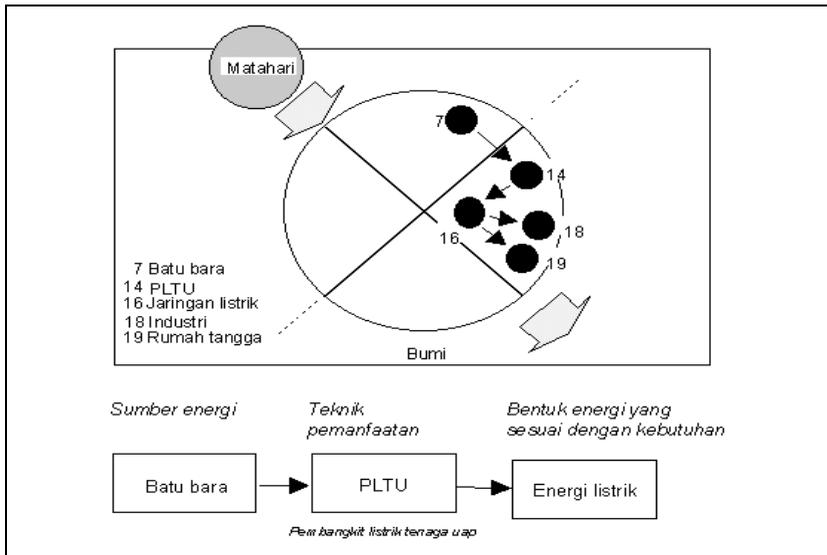
Batu bara mudah dieksploitasi dan diangkut ke tempat tujuan. Terdapat dua sistem penambangan batu bara, yaitu Pertambangan Dalam (*Underground Mining*) dan Pertambangan Terbuka (*Open Pit Mining*).

Pertambangan Dalam adalah sebuah tambang yang terdapat di dalam tanah memiliki satu atau lebih terowongan yang menerobos masuk ke dalam lapisan batu bara. Melalui sebuah terowongan itu, penambang-penambang membuat terowongan-terowongan lain menuju ke lapisan batu bara.

Pertambangan Open Pit adalah pertambangan batu bara yang terdapat di permukaan tanah, jadi tidak memerlukan lubang yang dalam, tetapi hanya mengeruk lapisan tanah dan memindahkannya ke tempat lain. Sesudah semua batu bara tergali, lapisan tanah dikembalikan menjadi tanah pertanian atau diubah menjadi taman. Batu bara merupakan salah satu sumber energi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).



Gambar 5.4
Dua Sistem Penambangan Batu Bara



Gambar 5.5
Pemanfaatan Batu Bara

Selain itu, batu bara dapat juga digunakan di berbagai industri, antara lain peleburan logam dan industri semen. Batu bara dapat digunakan sebagai bahan bakar alat transpor, misalnya kereta api dan kapal. Batu bara juga dapat

digunakan untuk membangkitkan listrik. Batubara dengan kadar energi rendah (masih muda) dapat dimanfaatkan sebagai bahan pupuk cair untuk diekstrak kandungan asam humat yang berguna bagi tanaman sebagai agen pengkelat hara sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah di daerah tropis. Jenis pupuk ini selain menyubstitusi hara juga merupakan pembenah tanah, yaitu dari tanah yang pejal akan menjadi gembur dan dari tanah pasir lepas akan membantu membuat remah dalam ikatan gumpal lebih besar.

4. Uranium (Nuklir)

Sumber energi tak terbarukan selain bahan bakar fosil adalah bahan bakar nuklir. Uranium merupakan bahan bakar nuklir utama. Seperti batu bara, uranium juga terdapat di dalam tanah, dan untuk mengeksploitasinya harus dilakukan penambangan.

Energi nuklir dibangkitkan dalam reaksi nuklir. Dalam reaksi ini sebenarnya massa diubah menjadi energi. Reaksi nuklir ada dua jenis, yaitu pemecahan dan penggabungan. PLTN yang sekarang ada menggunakan reaksi nuklir pemecahan dengan bahan bakar uranium. Reaksi nuklir penggabungan masih dalam taraf eksperimental yang sangat awal. Bahan bakarnya ialah inti hidrogen yang digabungkan menjadi helium. Hasil reaksi nuklir yang berupa helium diperkirakan tidak berbahaya. Hal ini berbeda dengan reaksi nuklir pemecahan dengan bahan bakar uranium yang menghasilkan plutonium yang radioaktif dan berbahaya.

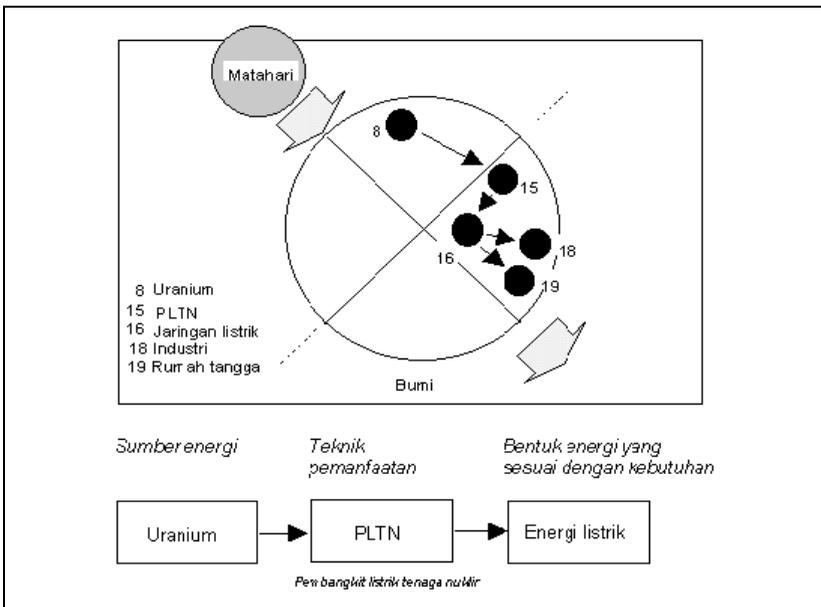
Energi dari uranium tidak dilepaskan melalui proses pembakaran (seperti batu bara dan minyak bumi), tetapi melalui proses reaksi khusus berupa pemisahan inti atom yang akan menghasilkan energi sangat besar. Pemisahan satu atom uranium akan melepaskan beberapa neutron yang akan membantu proses pemisahan atom uranium lainnya. Proses pemisahan tersebut berjalan cepat disertai energi panas yang tinggi.

Energi panas yang dihasilkan, antara lain digunakan untuk memanaskan air sehingga terbentuk uap. Di Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) uap tersebut dimanfaatkan untuk memutar turbin dan selanjutnya turbin akan menggerakkan generator listrik.

Dalam proses pemisahan inti atom uranium, neutron-neutron dilepaskan disertai dengan energi tinggi. Neutron-neutron ini membentuk suatu sinar khusus yang disebut "sinar radioaktif". Sinar radioaktif ini mengandung sangat banyak energi yang merugikan makhluk hidup karena sinar ini dapat menghancurkan sel tubuh sehingga dapat mengakibatkan, antara lain leukemia

dan kanker kulit. Untuk melindungi lingkungan hidup dari sinar radioaktif maka instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) harus dibangun sesuai dengan persyaratan keamanan dan keselamatan.

Uranium telah menjadi unsur mineral yang paling kontroversial di bumi ini. Di satu sisi uranium diperlukan manusia untuk mendukung berbagai kegiatan, termasuk pengembangan teknologi. Di seluruh dunia, hanya terdapat beberapa negara saja yang menguasai teknologi nuklir. Tetapi di sisi lain, pemanfaatan uranium selalu diikuti oleh rasa khawatir dari para penggunanya, misalnya rasa tidak aman dan bahaya bocornya reaktor nuklir yang setiap saat dapat terjadi.



Gambar 5.6
Pemanfaatan Bahan Bakar Nuklir Uranium

Oleh karena itu, hanya negara-negara berteknologi tinggi saja yang benar-benar mampu memanfaatkan uranium sebagai bahan bakar. Bencana alam seperti halnya dengan tsunami dapat menyebabkan kerusakan reaktor dan menyebabkan kebocoran. Teknologi nuklir efisien menghasilkan tenaga listrik tetapi dalam reaksinya memerlukan jumlah air yang banyak bagi pendinginan. Bahkan ini dapat mengeringkan sumber air sekitar secara dahsyat. Selain itu

reaktor akan melambat setelah dua tahun, kemudian penggantian sisa bahan bakar radioaktif dalam penyimpanannya merupakan masalah besar tersendiri. Penyimpanan akhir dalam bunker tanah berakibat rawan jika terjadi gempa bumi. Pembuangan di laut apalagi sangat rawan dengan tsunami. Polusi thermal akan mengubah jenis dan komposisi biota yang hidup di dalamnya. Jenis komunitas perairan sangat rawan dengan bahan panas seperti ini. Komposisi algae, plankton akan berubah mempengaruhi rantai makan dan pada ujungnya berpengaruh terhadap populasi ikan sumber protein bagi manusia.

5. Radiasi

Penggunaan energi nuklir secara ekstensif untuk memproduksi tenaga listrik, setidaknya untuk beberapa dekade selanjutnya, sama tingginya, seperti kenaikan pemakaian atau pekerjaan di dalam bidang pertanian, kesehatan dan penelitian biologis serta terapi biologis, kenaikan pemakaian dalam pesawat ruang angkasa dan kekuatan bawah laut. Hal ini menandakan bahwa umat manusia akan selalu cenderung meningkatkan level atau tingkat penggunaan radiasi.

Secara fisika pengaruh bahan radioaktif ditandai dengan kemampuan bahan tersebut memancarkan sinar radiasi pengion baik oleh peristiwa peluruhan dari unsur yang tidak stabil ke unsur yang lebih stabil di alam maupun dari buatan manusia.

Sumber radiasi alamiah berasal dari batuan atau tanah, seperti Uranium, Radium dan Thorium, sinar kosmis dari matahari dan bintang. Sedang yang berasal dari buatan manusia adalah reaktor nuklir baik sebagai reaktor riset maupun reaktor daya dan senjata nuklir. Ada dua bentuk penyinaran radioaktif yang mempengaruhi jaringan hidup, yaitu penyinaran internal dan penyinaran eksternal. Penyinaran internal adalah penyinaran radioaktif yang berada dalam makhluk hidup akibat terserap atau ditelan atau terkumpul dalam jaringan. Hal ini umumnya berlaku bagi penyinaran radiasi yang berdaya tembus pendek, seperti sinar Alpha dan Beta. Kedua, penyinaran eksternal adalah penyinaran radioaktif yang mempengaruhi makhluk hidup atau organisme melalui keberadaannya di luar jaringan. Penyinaran ini adalah penyinaran yang memiliki daya tembus tinggi seperti sinar Gamma. Ada penyinaran lain yang tidak menyebabkan ionisasi tetapi keberadaannya dapat menyebabkan atom lain tidak stabil sehingga mampu memproduksi bahan radioaktif lain. Unsur tersebut adalah neutron.

Bagi kesehatan manusia radiasi ini akan meningkatkan penyakit berkaitan kelenjar dan jaringan lymphatic, sel darah putih, sel epitel dalam ovarium, testis, kelenjar ludah dan kulit; sel endotelium saluran darah dan rongga badan, sel jaringan penghubung tulang dan tulang rawan, sel otot dan sel syaraf. Pada fetus dan orok lebih sensitif terhadap radiasi dibanding pada orang dewasa.

D. KRISIS ENERGI

1. Latar Belakang Krisis Energi

Setelah sekian lama minyak bumi menjadi sumber utama bahan bakar utama, muncul kekhawatiran terhadap peranan minyak yang dominan tersebut karena merupakan sumber energi yang tidak terbaharui yang apabila pemanfaatannya tidak efisien suatu saat akan habis. Kandungan minyak di perut bumi diperkirakan 10 tahun lagi akan mencapai titik krisis hingga berakhir riwayatnya. Kondisi ini tentu saja akan memperlambat roda perekonomian dan peradaban dunia.

Isu lingkungan terutama pemanasan global adalah akibat dari peningkatan pemakaian gas dan energi yang dapat diperbaharui, seperti air, panas bumi dan biomassa sehingga mendorong pengembangannya. Pemakaian gas dunia diperkirakan meningkat 40% dalam sepuluh tahun mendatang. Jaminan atas pasokan energi di masa depan mendorong negara-negara yang tidak memiliki cadangan migas dan batu bara untuk mengembangkan energi domestik, seperti Filipina (panas bumi dan air) dan negara-negara Amerika Latin (biomassa). Indonesia yang energi fosilnya sedang-sedang saja seharusnya mengembangkan gas dan energi yang dapat diperbaharui, terutama panas bumi, air dan biomassa secara optimal.

Hal-hal lain yang mempengaruhi perkembangan energi dunia adalah (1) perubahan-perubahan geopolitik (usainya perang dingin) yang mengakibatkan eksplorasi dan eksploitasi migas berkembang pesat di negara-negara komunis dan bekas komunis mengakibatkan perpindahan sebagian modal ke negara-negara tersebut. (2) Revolusi Iptek mengakibatkan penurunan pemakaian energi sebanyak 30% di negara industri.

2. Penyebab Terjadinya Krisis Energi

Adanya embargo minyak bumi dari negara-negara Arab tahun 1973-1974 dan adanya revolusi Iran pada tahun 1979 menyebabkan terjadi krisis energi. Selain itu kemungkinan ada faktor penting yang menyebabkan terjadinya krisis energi di antaranya sebagai berikut.

a. *Menipisnya cadangan minyak bumi*

Setelah terjadi krisis energi yang mencapai puncak pada dekade 1970, dunia menghadapi kenyataan bahwa persediaan minyak bumi, sebagai salah satu tulang punggung produksi energi terus berkurang

Bahkan beberapa ahli berpendapat, bahwa dengan pola konsumsi seperti sekarang maka dalam waktu 50 tahun ke depan, cadangan minyak bumi dunia akan habis. Keadaan ini bisa diamati dengan kecenderungan meningkatnya harga minyak di pasar dunia, serta ketidakstabilan harga tersebut di pasar internasional karena beberapa negara maju sebagai konsumen minyak terbesar mulai melepaskan diri dari ketergantungan pada minyak bumi sekaligus berusaha mengendalikan harga, agar tidak meningkat. Sebagai contoh, pada tahun 1970 negara Jerman mengonsumsi minyak bumi sekitar 75% dari total konsumsi energinya, namun pada tahun 1990 konsumsi tersebut menurun hingga tinggal 50% (Pinske, 1993).

Jika dikaitkan dengan penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar sistem pembangkit listrik maka kecenderungan tersebut berarti meningkatkan pula biaya operasional pembangkitan yang berpengaruh langsung terhadap biaya satuan produksi energi listriknya. Di lain pihak, biaya satuan produksi energi listrik dari sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan menunjukkan tendensi menurun sehingga banyak ilmuwan percaya bahwa pada suatu saat biaya satuan produksi tersebut akan lebih rendah dari biaya satuan produksi dengan minyak bumi atau energi fosil lainnya.

b. *Kelakuan yang tidak kompetitif*

Subsidi harga BBM mencegah energi lain semacam gas, batu bara, panas bumi, air dan biomassa memasuki pasar (diversifikasi) dan mengakibatkan pemakaian energi yang boros. Hal ini juga mencegah penelitian dan pengembangan untuk konservasi energi dan penggunaan energi baru, seperti panas bumi, air, biomassa, dan elektrolisis air menjadi hidrogen mono dan hidrogen di atomik.

c. *Preferensi (masalah budaya)*

Di beberapa negara, khususnya negara berkembang termasuk Indonesia budaya malu menggunakan kendaraan umum, kebiasaan menikmati harga energi murah, serta budaya yang tidak hemat energi di kantor, industri, hotel maupun di rumah serta pola hidup konsumtif, telah mengakibatkan pemborosan pemakaian energi.

d. Standar hidup tinggi dalam konsumsi energi

Konsumsi energi rata-rata warga Amerika dan Eropa tinggi, hal ini terjadi karena terbiasa mendapat kenyamanan hidup, penggunaan kendaraan bermotor dengan kekuatan tinggi, seperangkat TV berwarna, unit AC, sepeda motor, mobil salju, alat penghangat tubuh, kereta pengangkut peralatan golf, peralatan rumah tangga menggunakan listrik. Peningkatan konsumsi energi ini mengakibatkan konsumsi BBM meningkat dengan pesat pula, terutama pada sektor transportasi yang mengonsumsi BBM di atas 90% dari total energi yang digunakan.

Senator daerah Wisconsin, Amerika sudah melakukan observasi bahwa jumlah energi yang diperlukan oleh warga Amerika untuk AC lebih tinggi dari total energi oleh 800 juta warga Cina. Hal ini disebabkan oleh telah majunya teknologi dan peralatan pengguna energi yang mereka gunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Dengan demikian, sangat penting untuk menjaga keseimbangan antara pasokan dan cadangan energi dengan laju permintaan terhadap energi itu sendiri. Apabila terjadi ketidakseimbangan antara cadangan dan laju permintaan energi, akibatnya cadangan energi akan terkuras habis dengan cepat.

E. BAHAYA ENERGI TERHADAP KESEHATAN MANUSIA

Setiap bentuk produksi energi dan pemakaian energi pada prinsipnya dapat menimbulkan bahaya bagi manusia karena pencemaran udara, air tanah, akibat pembakaran energi fosil, seperti batu bara, minyak, dan gas dari industri, pusat pembangkit maupun kendaraan bermotor. Limbah produksi energi listrik konvensional, dari sumber daya energi fosil, sebagian besar memberi kontribusi terhadap polusi udara, khususnya berpengaruh terhadap kondisi iklim yang pada akhirnya berpengaruh pada kesehatan manusia dan lingkungan.

Pada kesempatan ini dipaparkan beberapa bahaya energi terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

1. Bahaya Minyak Bumi dan batu Bara

Penggunaan minyak bumi dan batu bara menimbulkan beberapa masalah lingkungan. Misalnya, pembakaran batu bara menghasilkan zat pencemar oksida belerang, oksida nitrogen, dan abu. Oksida belerang dan oksida nitrogen dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan hujan asam yang dapat menaikkan derajat keasaman air dan tanah. Pembakaran minyak bumi menghasilkan emisi

yang dapat mencemari lingkungan dengan zat pencemar CO₂, NO_x, SO₂, Pb. Zat-zat pencemar yang dihasilkan kedua bahan bakar tersebut secara tidak langsung juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia.

Sebagai contoh nitrogen, zat lemas atau pencemaran N atau kelebihan N metabolisme tubuh menyebabkan penyakit “*bayi muka biru*” (*blue baby*). Nitrogen adalah bahan dasar pembuatan protein melalui rangkaian gugus amin (NH₂). Akibat pencemaran lingkungan, berlebihan hara N dalam sistem (ekosistem/makrokosmologi atau sistem tubuh/mikrokosmologi) menyebabkan kerusakan. Pada sistem tubuh terjadi kerusakan antibodi tubuh, di mana Ibu dengan Rh negatif sementara bayinya memiliki Rh positif, sehingga orok yang dilahirkan ke dunia penuh dengan penderitaan anemia dan kerap kali fatal menjadi kematian. Peristiwa demikian disebut dengan “*erythroblastosis fetalis*”.

Demikian pula pada bayi lahir dengan air ketuban pecah beberapa waktu sebelumnya, bayi akan lahir dengan muka kebiruan karena kekurangan oksigen dan keracunan N dari air kencing sendiri walaupun setelah mendapat oksigen luar normal wajah bayi akan memerah kembali akibat adanya aliran darah beroksigen yang lebih kuat. Hal demikian juga dapat pula terjadi pada bayi lahir Caesar, apabila kita juga lambat mengganti baju dan alas tidurnya, maka bayi juga dapat menunjukkan muka kebiruan sebagai tanda keracunan dari N akibat dari terendam air kencing sendiri.

Peristiwa di atas pada udara dengan kondisi karbon mono oksida berlebih adalah juga dapat merusak ibu dan bayinya karena kapasitas darah menyediakan oksigen ke seluruh jaringan organ tubuh menurun. Kondisi ini umum menyebutnya sebagai “*hipoksia*”.

Peristiwa akan menjadi semakin berat jika dipicu efek sinergis dari beberapa jenis minuman beralkohol (“*drugs*”). Termasuk kelompok ini adalah kecanduan pada rokok cigarette dan hasil dari sumber pembakaran industri-industri lainnya yang banyak mengeluarkan karbon mono oksida.

Banyak kasus belum terdeteksi terutama di perkotaan yang menyebabkan penuaan dini akan lebih dipercepat akibat dari pencemaran karbon mono oksida. Termasuk kelompok ini adalah peristiwa sejalan penggunaan sinar X dan bentuk lain radiasi dari beragam bahan yang bersifat toksik bagi peradaban dan kehidupan manusia.

2. Efek/Bahaya Radiasi

Pengaruh radiasi pada kesehatan manusia, antara lain berikut ini.

a. *Efek somatik*

Pertama-tama perlu ditekankan bahwa sensitivitas dari suatu radiasi terhadap manusia bervariasi menurut umur. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa fetus dan bayi yang baru lahir lebih sensitif dibandingkan orang dewasa. Sensitivitas juga bervariasi berdasarkan tipe dari jaringan atau organ yang diradiasi. Berikut merupakan organ tubuh yang dapat mengalami penurunan sensitivitas, yaitu sebagai berikut.

- 1) Jaringan limpa (sumsum tulang, getah bening, limfosit).
- 2) Sel darah putih (bagian lain dari limfosit).
- 3) Jaringan epitelia (licin, sel-sel pada lapisan membran yang berada pada ovarium, testis, kelenjar ludah, dan kulit).
- 4) Sel endothelial (membran yang membungkus pembuluh darah, membran yang licin dan lembab yang membungkus rongga perut (peritoneum), dan organ berongga, seperti perut dan usus).
- 5) Tulang dan kartilago.
- 6) Jaringan otot.
- 7) Otak, batang otak, dan saraf.

Tentu saja efek radiasi terhadap somatik bervariasi tergantung dari intensitas radiasi itu sendiri terhadap orang yang menjadi sasaran tanpa perlindungan. Dosis radiasi frekuensinya diukur dalam satuan rads sebagai catatan jika dosis radiasi mencapai kira-kira 300 rads atau kurang, setiap orang akan dapat bertahan setidaknya 3 minggu setelah menjadi sasaran atau terkena radiasi. Jadi, jika dosisnya meningkat sampai sedikit di bawah 500 rads, hanya 50% dari orang-orang yang terkena radiasi akan bertahan selama 3 minggu. Akhirnya pada dosis 900 rads (atau lebih) semua orang akan meninggal dalam waktu 3 minggu.

Seseorang yang menerima kurang dari 25 rads tidak akan menyadari perubahan yang terjadi pada kesehatannya. Bagaimanapun juga ketika dosisnya berkembang menjadi 100 rads, karakteristik efek yang ditunjukkan yaitu merasa lemah dan letih, yang disertai serangan muntah-muntah dan diare, rambut mulai rontok beberapa hari setelah terkena radiasi. Akan tetapi, pada akhirnya orang tersebut akan sembuh kembali dan dapat melakukan aktivitas secara normal lagi.

Radiasi menyebabkan kerusakan jaringan pembuat sel darah merah yang berada di dalam tulang. Sejak matinya sel darah merah kira-kira sekitar 5 miliar setiap menit (sekalipun pada orang sehat), tiap darah dari sumsum tulang akan mengalami kerusakan yang sangat cepat dan mengakibatkan anemia yang sangat parah. Pusat pembentukan sel darah putih di dalam sumsum tulang juga mengalami kerusakan. Sel ini sebenarnya memberi makan bakteri sehingga jumlah sel darah putih di dalam aliran darah berkurang dapat membuat tubuh tidak kebal terhadap infeksi.

Dosis radiasi yang mencapai 400-500 dapat menyebabkan penurunan pada sejumlah platelets (pecahan sel mikroskopik yang berguna dalam proses penggantian darah/pembungkus darah). Akibat peristiwa tersebut menyebabkan pendarahan yang parah dan banyak darah ke luar. Pada dosis 400 sampai 500 rads, 50% dari orang-orang itu akan meninggal. Biasanya hal tersebut diakibatkan oleh anemia, pendarahan, atau infeksi bakteri yang parah. Eksperimen pada hewan menunjukkan bahwa dosis tinggi yang ekstrim (sekitar 10.000 rads), kematian akan terjadi kurang dari beberapa jam setelah terdapat kerusakan hati dan otak.

b. Efek genetik

Ketika ada radiasi menyebabkan kerusakan pada kromosom di mana terdapat sel sperma dan sel telur adalah efek secara genetik. Kerusakan secara genetik akan menyebabkan anak yang dilahirkan terkena radiasi dari orang tuanya. Material terkecil dari tubuh yang merupakan faktor keturunan disebut gen.

Bayi berkembang awalnya dari zygot yang terbentuk dari bersatunya sel sperma dan sel telur. Gen ini dapat mengalami mutasi, perubahan secara spontan ini dapat diwariskan kepada keturunan yang akan datang. Selama 2 juta tahun sejarah evolusi manusia, mutasi yang berbahaya musnah karena adanya seleksi alam sementara mutasi yang berguna menyatu dalam gen manusia. Maksudnya adalah jika gen manusia modern mengalami mutasi, kemungkinan akan berbahaya, menimbulkan cacat, seperti kerusakan mental.

Mutasi terjadi secara alamiah atau karena akibat radiasi dan secara spontan. Hasil penelitian Herman Muller pemenang hadiah Nobel pada lalat buah, menunjukkan bahwa mutasi terjadi meningkat akibat penggunaan sinar X, bentuk radiasi yang sama dengan sinar gama dari reaktor nuklir.

c. *Radiasi dan kanker*

Percobaan pada hewan laboratorium, seperti tikus kecil, tikus besar, dan kelinci mengindikasikan bahwa radiasi tersebut menyebabkan kanker pada organ yang bervariasi, seperti kelenjar limpa, kelenjar susu, paru-paru, ovarium, dan kulit. Berdasarkan pertimbangan tersebut ternyata bahwa radiasi ion menyebabkan kanker pada manusia walaupun kanker ini tidak mungkin benar-benar terwujud dalam satu dekade setelah radiasi. Berikut ini merupakan suatu realita.

- 1) Tingginya penyakit kanker kulit telah ditemukan di antara para radiologis, sejak awal mereka mulai menjalankan profesi mereka. Ketika itu penjagaan keamanan yang memenuhi syarat belum dimulai. Penyakit leukemia ditemukan di antara pekerja profesional lain yang tidak terlindung dari radiasi.
- 2) Pada akhir periode dari beberapa tahun sekurang-kurangnya terdapat 5.000 pekerja tambang yang bekerja pada tambang uranium di Joachimsthal, Czechoslovakia, meninggal karena penyakit yang sama, yaitu kanker paru-paru.
- 3) Anak-anak yang diberikan perawatan sinar X pada leher menunjukkan tingginya angka kanker daripada anak-anak yang tidak mendapat perawatan.

Penyinaran radiasi pengion merusak protoplasma maupun jaringan lain yang menyebabkan kerusakan kulit, mata, rambut rontok, kanker, dan bahkan kematian.

Sesuai sifat bahan radioaktif yang dapat berinteraksi dengan materi maka kehadiran bahan radioaktif alam dapat mempengaruhi lingkungan. Bila bahan radioaktif (radionuklida) terbuang ke alam maka unsur tersebut akan tersebar dan terlarut, tetapi dapat pula terakumulasi dalam organisme hidup. Senyawa radionuklida dapat terkumpul dalam air, tanah, endapan atau udara. Hal ini terjadi bila masuknya ke alam melebihi kecepatan penguraian radioaktif dalam jumlah yang amat tinggi akibatnya akan mengembalikannya kepada manusia sebagai ancaman mematikan.

Akibat adanya radiasi yang berasal dari alam yang berarti pada hakikatnya manusia sudah terkena radiasi setiap saat. Mengapa manusia dapat bertahan hidup sehingga tidak semua orang terkena penyakit akibat radiasi, seperti kanker? Jawabnya adalah pada faktor kemungkinan terjadinya akibat. Sebagai

contoh kemungkinan seseorang terkena kanker dari setiap partikel radiasi adalah $1/30.000.000.000.000.000$. Artinya, tidak semua partikel radiasi langsung menyebabkan kanker.

Untuk perbandingan, didefinisikan bahwa paparan radiasi 1 milirem sama dengan tumbukan $5.000.000.000$ partikel. Setiap orang selama hidupnya rata-rata mendapat paparan radiasi rata-rata 100 mrem/tahun ditambah dengan kemungkinan pemeriksaan sinar rontgen menjadi rata-rata 150 mrem per tahun. Untuk usia seseorang mencapai 67 tahun maka total radiasi yang diperolehnya adalah 10000 mrem.

Oleh karena itu, kemungkinan seseorang terkena kanker ganas oleh setiap 1 mrem radiasi alam adalah 1 (satu) dari 1600. Artinya, kontribusi kanker ganas oleh radiasi alamiah jauh lebih kecil dari 1%.

3. Bahaya Nuklir

Tidak dapat dipungkiri bahwa kekuatiran masyarakat terhadap bahaya nuklir sangat beralasan mengingat beberapa bukti nyata dari korban pemboman Hiroshima dan Nagasaki, kecelakaan *Three Mile Island*, dan *Chernobyl*.

Bahaya nuklir ini salah satu yang penting diwaspadai adalah akibat genetik radiasi. Gen yang tersimpan dalam kromosom tubuh manusia dipengaruhi oleh radiasi bahan radioaktif. Misal bentuk hidung, mata, warna rambut, tipe darah, bibir sumbing, jumlah jari dan kuku, kemampuan darah untuk beku dan perkembangan mental anak.

Bayi berkembang dari “*zygote*”, yaitu penyatuan sel sperma dan sel telur. Sperma dari ayah (testis) dan sel telur dari ibu (ovarium), gen dalam kromosom tersebut dapat mengalami mutasi akibat dari radiasi, sehingga bayi dilahirkan menjadi tidak sempurna.

Selama hampir dua juta tahun sejarah manusia menyangkut evolusi ini, adalah melalui seleksi alam telah diwariskan sifat-sifat yang baik ke dalam gen pada manusia yang akan dilahirkan, namun dengan adanya radiasi bahan radioaktif ini, boleh jadi akan terjadi perubahan ke arah sebaliknya, menjadi jahat terjadi kerusakan gen sehingga melahirkan keturunan yang lemah dan tidak sempurna yang berlawanan dengan para tetuanya. Bandingkan dengan efek obat-obatan “*Thalidomide*” pada pertengahan tahun 1960-an yang menyebabkan banyak bayi lahir cacat.

Beberapa isu penting yang sering muncul di kalangan masyarakat adalah permasalahan yang berkaitan dengan berikut ini.

- a. Keselamatan PLTN.
- b. Penanganan limbah nuklir.
- c. Dampak radiasi terhadap lingkungan.

Masalah lingkungan yang kita hadapi dalam penggunaan PLTN ialah pembuangan sampah radioaktif dan bahaya penyinaran zat radioaktif. Limbah radioaktif yang dikeluarkan oleh suatu proses nuklir dapat berbentuk cair maupun padat. Berdasarkan aktivitas radiasi, limbah ini digolongkan dalam limbah aktivitas rendah, menengah, dan tinggi. Limbah nuklir tidak boleh dibuang ke lingkungan secara langsung, tetapi harus diolah terlebih dahulu melalui reduksi *volume* dengan metode *insinerisasi*, kompaksi, pengendapan kimia, dan ultrafiltrasi.

Kriteria penanganan limbah tidak berbeda dengan penanganan suatu instalasi nuklir, yaitu tidak boleh menyebabkan kerusakan pada individu dan masyarakat dan walaupun terjadi kecelakaan maka akibatnya tidaklah boleh melebihi batas ambang keselamatan manusia dan lingkungan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan perbedaan antara energi terbarui dan energi tidak terbarui! Sebutkan contoh masing-masing energi tersebut!
- 2) Bagaimana terjadinya krisis energi dan apa yang akan terjadi bila krisis energi terjadi?
- 3) Jelaskan pengaruh yang dapat timbul terhadap manusia dengan adanya penggunaan sumber energi!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, coba saudara kaji kembali macam-macam jenis-jenis energi yang terbarui dan tidak terbarui. Di sana akan jelas perbedaan antara keduanya.
- 2) Saudara dapat mengkaji kembali uraian mengenai krisis energi dan hal-hal yang menyebabkan timbulnya krisis energi. Saudara pasti dapat menjawabnya dengan benar.

- 3) Untuk dapat menjawab pertanyaan tersebut, coba kaji kembali uraian tentang pengaruh energi bagi kesehatan manusia yang dapat menunjang jawaban saudara. Kami yakin saudara mampu menjawabnya dengan benar.



RANGKUMAN

Energi pada dasarnya terdiri dari energi yang tidak terbarukan (*non renewable*) dan energi yang terbarukan (*renewable*). Energi yang tidak terbarukan terdiri dari energi yang telah dikembangkan, yaitu minyak, gas, dan batu bara. Energi yang tidak terbarukan yang belum dikembangkan adalah uranium (nuklir), dan *Coal Bed Methane* (CBM), yaitu gas methane yang berada di lapisan batu bara jauh di dalam tanah. Sedangkan energi yang terbarukan terdiri dari air, panas bumi, biomassa, matahari, angin, dan laut. Energi, selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi maupun bahan baku untuk industri, juga merupakan sumber penerimaan atau devisa bagi suatu negara.

Keberadaan sumber energi tak terbarukan sangat terbatas karena proses pembentukannya memerlukan waktu sangat panjang (mencapai jutaan tahun). Proses pembentukannya (kembali) berjalan sangat lama dibandingkan dengan eksploitasinya sehingga sumber energi tersebut dapat habis.

Isu lingkungan terutama pemanasan global telah mendorong peningkatan pemakaian gas dan energi yang dapat diperbarukan seperti air, panas bumi dan biomassa sehingga akan mendorong pengembangannya. Pemakaian gas dunia diperkirakan meningkat 40% dalam sepuluh tahun mendatang. Jaminan atas pemakaian energi di masa depan telah mendorong negara-negara terutama yang tidak memiliki cadangan migas dan batu bara yang banyak untuk mengembangkan energi domestik, seperti Philipina (panas bumi dan air) dan negara-negara Amerika Latin (biomassa). Indonesia yang energi fosilnya sedang-sedang saja seharusnya mengembangkan gas dan energi yang dapat diperbarukan, terutama panas bumi, air dan biomassa secara optimal.

Adanya kekhawatiran terhadap kelanjutan perang minyak yang dominan dan embargo minyak bumi dari negara-negara Arab menyebabkan terjadi krisis energi. Hal lain yang menyebabkan terjadinya krisis energi, antara lain adanya subsidi BBM dari pemerintah, masalah budaya, dan standar hidup tinggi dalam konsumsi energi.

Setiap bentuk produksi energi pada prinsipnya menimbulkan bahaya bagi manusia karena pencemaran udara, air, dan tanah, akibat pembakaran energi fosil, seperti batu bara, minyak dan gas di industri, pusat pembangkit

tenaga nuklir. Contohnya adalah bila bahan radioaktif terbuang ke alam maka unsur tersebut akan tersebar dan terlarut, tetapi dapat pula terakumulasi dalam organisme hidup. Senyawa radioaktif dapat pula terkumpul dalam air, tanah, endapan/udara. Hal ini terjadi bila masuknya ke alam melebihi kecepatan penguraian radioaktif dalam jumlah amat tinggi, dan sebagai akibatnya akan kembali kepada manusia sebagai ancaman mematikan.



TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Energi dapat diubah/ditransformasi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, tetapi jumlah energi tidak dapat berubah. Pernyataan ini dikenal dengan
 - A. Hukum Termodinamika I
 - B. Hukum Termodinamika II
 - C. Hukum Newton
 - D. Hukum Dalton

- 2) Termasuk sumber energi yang *tidak* dapat diperbaharui, *kecuali*
 - A. minyak bumi
 - B. nuklir
 - C. panas bumi
 - D. batu bara

- 3) Termasuk sumber energi yang *dapat* diperbaharui, *kecuali*
 - A. angin
 - B. air
 - C. panas bumi
 - D. batu bara

- 4) Sebuah tambang yang terdapat di dalam tanah memiliki satu atau lebih terowongan, yang menembus masuk ke dalam lapisan batu bara merupakan sistem pertambangan jenis
 - A. pertambangan terbuka
 - B. *open pit mining*
 - C. pertambangan terpusat
 - D. pertambangan dalam

- 5) Sinar yang dikeluarkan dalam proses pemisahan inti atom uranium dengan energi tinggi disebut
- sinar matahari
 - sinar radioaktif
 - sinar kosmis
 - sinar inframerah
- 6) Penyinaran radioaktif yang berada dalam makhluk hidup akibat terserap ditelan, atau terkumpul dalam jaringan disebut penyinaran
- eksternal
 - internal
 - sebagian
 - menyeluruh
- 7) Penyebab terjadinya krisis energi, *kecuali*
- konservasi energi
 - menipisnya cadangan minyak bumi energi
 - Preferensi (masalah budaya)
 - standar hidup tinggi dalam konsumsi
- 8) *Bukan* merupakan bahaya energi terhadap kesehatan manusia
- efek somatik
 - efek genetik
 - kanker
 - diare

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Konservasi Sumber Daya Energi

A. ALTERNATIF SUMBER ENERGI

Dewasa ini dunia sedang menghadapi masalah besar, yakni terjadinya pencemaran atmosfer, akibat terlalu banyaknya emisi pembakaran bahan bakar fosil. Untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil itu, harus dicari sumber energi lain atau sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan yang tidak akan pernah habis atau energi terbarui (*Renewable energy*). Seperti sumber energi angin, sumber energi air, sumber energi panas bumi, biomassa dan tak ketinggalan sumber energi matahari.

Di negara yang sedang berkembang sumber energi sebagian besar adalah tenaga manusia dan biomassa, yaitu bahan organik tumbuhan, seperti kayu, ranting, daun, dan bahan organik hewan, seperti kotoran hewan. Di negara yang telah maju sumber energi sebagian besar berupa bahan bakar fosil, ditambah energi listrik dari PLTA dan PLTN. Masalah yang dihadapi ialah bahan bakar fosil merupakan energi yang tak terbarui dan cepat atau lambat akan habis.

Tak bisa dipungkiri bahwa kecenderungan untuk mengembangkan dan memanfaatkan potensi sumber-sumber daya energi terbarui dewasa ini telah meningkat dengan pesat, khususnya di negara-negara sudah berkembang, yang telah menguasai rekayasa dan teknologi, serta mempunyai dukungan finansial yang kuat. Oleh sebab itu, merupakan hal yang menarik untuk disimak lebih lanjut, bagaimana peluang dan kendala pemanfaatan sumber-sumber daya energi terbarui ini di negara-negara sedang berkembang, khususnya di Indonesia.

Akibat adanya masalah keterbatasan sumber energi, orang berusaha dengan keras untuk menghemat energi. Penghematan itu dapat dilakukan dengan mengurangi penggunaan energi dan secara relatif dengan menaikkan efisiensi penggunaan energi. Oleh karena itu, penggunaan terbesar adalah dari BBM, sedangkan sumber BBM jelas terbatas, orang juga berusaha untuk mengganti BBM dengan jenis energi lain. Energi lain itu secara umum disebut *energi alternatif*.

Adanya sumber energi alternatif bertujuan mengurangi sumber daya energi yang sekarang banyak digunakan, yaitu BBM. Akibat menambah penggunaan sumber daya energi yang lain, kita menggunakan lebih banyak jenis sumber energi, dengan efisiensi pemakaian yang setinggi-tingginya. Oleh karena banyak

sumber energi masih terabaikan, penggunaan sumber energi alternatif membantu memecahkan masalah kelangkaan sumber energi.

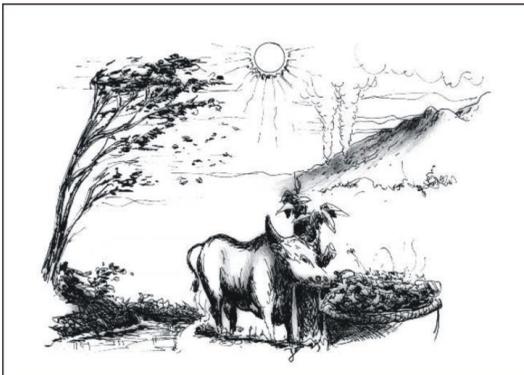
Pemanfaatan sumber daya energi terbarukai sebagai bahan baku produksi energi *mempunyai kelebihan*, antara lain:

1. relatif mudah didapat,
2. diperoleh dengan gratis, berarti biaya operasional sangat rendah,
3. tidak mengenal problem limbah,
4. proses produksi tidak menyebabkan kenaikan temperatur bumi, dan
5. tidak terpengaruh kenaikan harga bahan bakar.

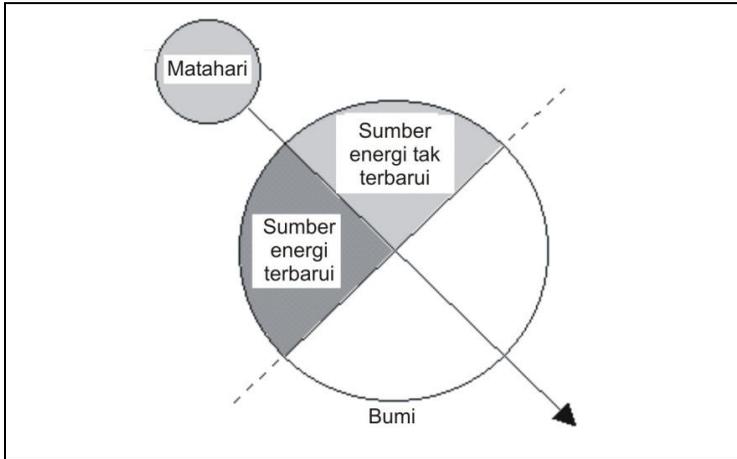
Pada Kegiatan Belajar 2 ini dijelaskan sumber energi alternatif yang merupakan sumber energi terbarukai. Sumber energi terbarukai dapat digunakan tanpa batas waktu dan tidak pernah habis karena dapat dipulihkan dalam waktu relatif singkat. Sumber energi tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

1. Tenaga Air

Air yang mengalir dapat digunakan sebagai sumber energi guna mendapatkan energi gerak (kincir air) atau energi listrik (PLTA). Pada pembangkit listrik tenaga air, sebuah turbin yang dialiri air dapat mengaktifkan sebuah generator, yang menghasilkan energi listrik. Untuk PLTA yang dapat menghasilkan energi listrik besar, harus dibuat sebuah bendungan air dalam bentuk sebuah danau yang dapat menampung banyak air sehingga mampu menggerakkan sebuah turbin. Keuntungan dari pembuatan bendungan adalah untuk memperbesar volume air yang digunakan menggerakkan turbin karenanya energi listrik yang dihasilkan juga besar.



Gambar 5.7
Sumber-sumber Energi Terbarukai

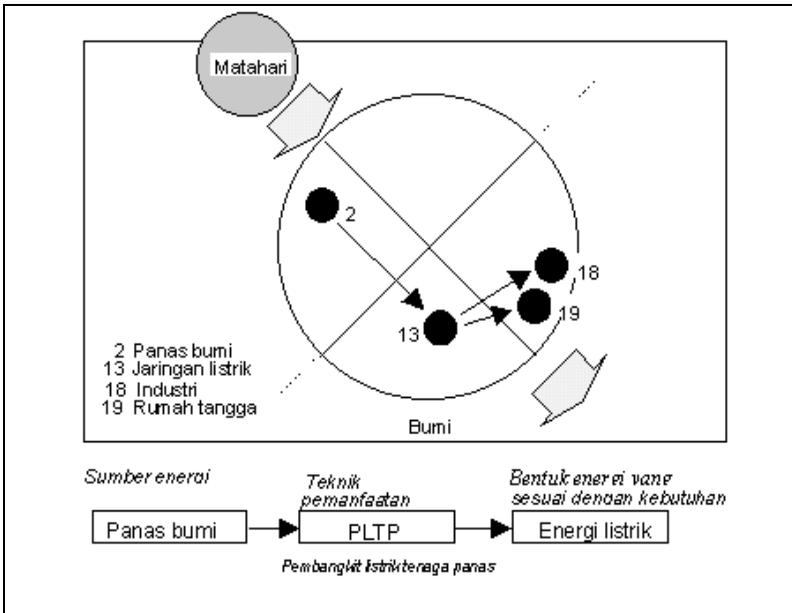


Gambar 5.8
Pemanfaatan Tenaga Air

2. Panas Bumi

Panas bumi adalah sumber energi yang berasal dari dalam perut bumi. Secara alami, di dalam bumi terdapat energi panas yang mengalir (magma) ke permukaan bumi di mana terdapat gunung berapi. Energi panas bumi berasal dari aktivitas vulkanisme. Air tanah yang bersentuhan dengan batuan yang panas karena aktivitas vulkanisme, berubah menjadi uap. Uap air itu dapat dibor dan disalurkan melalui pipa untuk memutar generator listrik. Jadi panas bumi ini dapat dimanfaatkan dalam bentuk uap panas yang langsung dapat digunakan sebagai sumber energi, misalnya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

Panas bumi adalah sumber energi yang tidak dapat dipindahkan (dialirkan) karena itu PUP harus dibangun di daerah di mana terdapat gunung berapi. Di Indonesia terdapat banyak gunung berapi, oleh karena itu sangat tepat bila digunakan panas bumi sebagai sumber energi.



Gambar 5.9
Pemanfaatan Panas Bumi

3. Biomassa

Biomassa adalah keseluruhan makhluk (hidup atau *coati*), misalnya tumbuh-tumbuhan, binatang, mikroorganisme, dan bahan organik (termasuk sampah organik). Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia (molekul) yang sebagian besar mengandung atom karbon (C). Biomassa ini dapat berbentuk padat, cair, dan gas. Biomassa masih banyak dipakai terutama di daerah pedesaan, diperkirakan sebesar 40% dari total pemakaian energi nasional. Di seluruh Indonesia, diperkirakan potensi seluruh energi biomassa adalah sebesar 49.807 megawatt bila dipergunakan semua untuk membangkitkan energi listrik.

Biomassa dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi dan pemanfaatan dengan teknologi biogas. Pemanfaatan secara langsung sebagian besar dipergunakan untuk kebutuhan memasak. Tabel 5.1 menyatakan data potensi limbah biomassa yang dapat dipergunakan sebagai sumber energi. Limbah yang dimaksudkan adalah sebagian sisa biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dihitung dari keseluruhan produk

biomassa dikurangi dengan jumlah biomassa yang telah diperdagangkan untuk keperluan kayu bakar, dan keperluan ekonomi lainnya

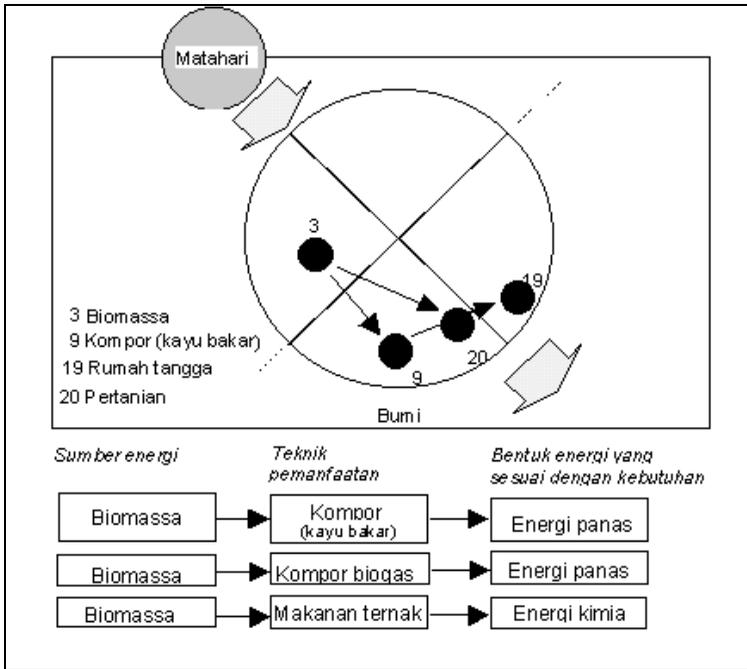
Biomassa dapat digunakan untuk berikut ini.

- a. Makanan ternak.
- b. Bahan bakar.
- c. Biogas.

Tabel 5.1
Jenis Limbah Biomassa yang Potensial untuk Pembangkit Listrik

Sumber/Jenis Limbah	Produksi (Juta GJ/Tahun)	Potensi Kalor
Peremajaan kebun karet	31,0 juta ton/tahun	- 496,0
Sisa logging	1,15 juta ton/tahun	11,0
Limbah industri penggergajian	1,1 juta ton/tahun	10,6
Kayu	3,5 juta ton/tahun	15,4
Tandan kosong kelapa sawit	3,7 juta ton/tahun	35,3
Sabut sisa buah sawit	1,3 juta ton/tahun	17,2
Bagas tebu	6,5 juta ton/tahun	78,0.
Sekam padi	4,3 juta ton/tahun	179,0
Tempurung kelapa	1,1 juta ton/tahun	18,7
Sabut kelapa	2,0 juta ton/tahun	24,0

Sumber: Blix, 1990



Gambar 5.10
Pemanfaatan Biomassa

4. Energi Angin dan Energi Air

Angin adalah udara yang bergerak. Oleh karena itu, angin mempunyai energi kinetik. Columbus menemukan Amerika dengan menggunakan energi angin dan sejarah Amerika Serikat diawali oleh para kolonis Eropa yang datang dengan menggunakan energi angin. Di Indonesia, angin memegang peranan penting dalam transpor laut. Kerajaan Sriwijaya menjadi besar karena dapat memanfaatkan energi angin. Demikian pula Kerajaan Majapahit dapat mempersatukan Nusantara karena adanya energi angin.

Energi angin biasanya dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik, yang dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Air digunakan untuk memutar turbin yang terdapat pada bendungan/waduk, di mana pemutaran turbin dapat menghasilkan listrik.

Pada umumnya orang menganggap listrik sebagai energi yang terbarukan. Walaupun air merupakan sumber daya yang terbarukan, PLTA mempunyai umur

tertentu. Hal ini disebabkan oleh adanya proses erosi di daerah aliran sungai yang dibendung.

Energi angin mulai dikembangkan di Indonesia sejak awal tahun 1970-an oleh LAPAN. Pengembangan tenaga angin sampai sekarang ini terutama adalah untuk pembangkit listrik skala kecil, untuk memompa air laut untuk tambak garam, dan aerasi untuk tambak udang. Pengembangan tenaga angin sampai sekarang lebih dari 50 unit dengan kapasitas total lebih dari 220 KW.

Tenaga angin dapat juga dimanfaatkan, misalnya untuk mendorong kapal layar, menggerakkan mesin kendaraan. Di antara energi terbarukan, tenaga angin dan tenaga air saat ini merupakan energi yang paling hemat biaya.

5. Energi Surya

Energi surya secara tradisional telah banyak kita manfaatkan, yaitu untuk menjemur, misalnya menjemur pakaian, jagung, padi. Dalam bidang pertanian cara untuk memanfaatkan energi surya, yaitu melalui fotosintesis.

Sejak terjadinya krisis energi, minat untuk lebih banyak memanfaatkan energi surya secara langsung makin meningkat. Pemanfaatan itu antara lain untuk pemanasan air, pemanasan ruang, pengeringan hasil pertanian, pembangkit listrik.

Energi surya mulai dikembangkan sejak tahun 1960-an, yaitu untuk pemanasan. Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup tinggi, yaitu 4.825 KWh/m²/hari. Dalam pemanfaatan kemudian, energi surya digolongkan menjadi dua, yaitu surya fotovoltaik dan thermal.

a. Energi surya fotovoltaik

Perangkat fotovoltaik adalah alat yang secara langsung mengubah energi surya menjadi energi listrik tanpa melalui proses thermis, dengan menggunakan semikonduktor silikon. Efisiensi teknologi ini relatif masih cukup rendah, yaitu 10-15%. Energi surya fotovoltaik telah banyak dimanfaatkan untuk daerah pedesaan yang belum terjangkau oleh jaringan tenaga listrik.

Keuntungan menggunakan energi surya fotovoltaik adalah:

- 1) energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara cuma-cuma;
- 2) perawatan mudah dan sangat murah;
- 3) peralatan tidak menimbulkan dampak bising ataupun dampak lainnya pada lingkungan;
- 4) dapat bekerja secara otomatis.

b. Energi surya thermal

Energi surya thermal adalah jenis energi yang dapat diperbaharui telah dimanfaatkan sejak zaman dahulu oleh masyarakat Indonesia, terutama untuk mengeringkan hasil pertanian, penguapan air laut dalam industri garam, pembuatan genteng.

Dalam penerapan, energi surya thermal banyak dipakai untuk:

- 1) pengeringan hasil pertanian dan perikanan;
- 2) sistem penyediaan air panas di rumah tangga, hotel, ataupun industri dan kompor surya.

6. Energi Laut

Energi yang dapat dimanfaatkan dari samudra, secara umum dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu sebagai berikut.

a. Energi Gelombang

Energi yang terkandung dalam gelombang cukup besar, yaitu rata-rata pada garis depan gelombang sebesar 20-70 KW/m. Jika daya ini dikonversikan menjadi listrik dengan efisiensi 50% maka dihasilkan energi sebesar 10-35 KW/m untuk setiap meter garis pantai.

b. Energi Pasang surut

Pada teluk yang mempunyai perbedaan ketinggian air dan perbedaan pada saat pasang dan surut, berpotensi cukup tinggi untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan membendung teluk melalui pintu-pintu air.

Proses kerja pembangkit listrik pasang surut ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat pasang desakan air laut dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin air sambil mengisi teluk tersebut. Di saat menjelang surut pintu-pintu air ditutup sehingga air terperangkap dalam teluk tersebut. Akibatnya akan terjadi perbedaan ketinggian air yang terkandung dengan muka air laut. Pintu, kemudian dibuka untuk menggerakkan kembali turbin listrik.

Laut mempunyai pasang surut secara periodik. Di tempat tertentu perbedaan tinggi permukaan laut antara pasang dan surut cukup tinggi untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Di dalam gelombang dan arus laut juga terdapat energi yang dapat dimanfaatkan.

c. *Energi lain dalam laut ialah panas matahari yang tersimpan dalam air laut*

Di dalam laut di bawah kondisi oseanologi tertentu terdapat perbedaan suhu antara lapisan bawah dan permukaan atas dari air laut. Perbedaan suhu ini dapat digunakan untuk membangkitkan listrik.

7. Energi atomik tersimpan dalam air

Energi atomik tersimpan dalam air adalah mono hidrogen dan di hidrogen. Melalui cara elektrolisis air dapat dipisahkan ke dua bentuk atomik hidrogen ini. Yang membedakan keduanya adalah daya ledakan yang ditimbulkan. Energi atomik hidrogen dapat berupa gas hidrogen, yang apabila dikombinasikan dengan uap hidrokarbon lain, misal bensin premium atau solar dalam sebuah mobil akan menghemat pemakaian bahan bakar fosil ini, karena uap hidrogen lebih ringan sehingga lebih cepat terbakar dan mengeluarkan energi lebih cepat, sehingga apabila kedua tipe bahan bakar ini disatukan dalam sebuah karburator mesin mobil maka aliran akan lebih cepat dan pembakaran lebih cepat sehingga bensin atau solar (karbon cair, minyak fosil) sebagai trigger dalam pembakaran awal masih tersisa lebih banyak. Kombinasi seperti ini berpeluang dapat menghemat bahan bakar bensin/solar sementara udara menjadi bersih ramah lingkungan. Pemanfaatan lain dari gas hidrogen ini adalah dapat juga untuk energi memasak makanan dalam pembakaran dari kompor dapur atau sebagai alat untuk las besi/logam.

B. KONSERVASI SUMBER ENERGI

Energi merupakan kebutuhan pokok bagi kegiatan sehari-hari, misalnya dalam bidang industri, dan rumah tangga. Saat ini di Indonesia pada umumnya masih menggunakan sumber energi fosil (sumber energi tak terbarui) untuk kegiatan tersebut. Sumber energi fosil merupakan sumber energi yang dapat habis. Untuk itu dalam pemanfaatan energi diperlukan kebijakan dan pengaturan yang lebih baik dan terencana, yang dikenal sebagai konservasi energi.

Konservasi energi adalah penggunaan energi disertai usaha-usaha mencari teknologi baru dengan memanfaatkan sumber energi terbarui (misalnya sinar matahari, tenaga air, panas bumi) dengan lebih efisien. Untuk jangka panjang hal itu dapat berarti, menggunakan energi sedemikian rupa sehingga dapat menekan kerugian energi seminimal mungkin. Sedang untuk jangka pendek, konservasi energi dilakukan melalui langkah-langkah penghematan energi. Oleh karena itu, diperlukan usaha pengelolaan energi untuk mencapai keserasian

antara kebutuhan dan penyediaan energi sedemikian rupa sehingga sumber energi tidak cepat habis dan berdampak kecil terhadap lingkungan.

Kita dapat menghemat energi dengan mengurangi penggunaan energi yang kita perlukan. Hal yang dimaksud dengan menaikkan efisiensi penggunaan energi ialah mencapai tujuan atau hasil yang sama dengan jumlah energi yang lebih sedikit. Akibat kenaikan efisiensi itu, maka energi juga akan dihemat. Semula dianggap terdapat hubungan proporsional antara konsumsi energi komersial dengan pertumbuhan ekonomi. Akan tetapi, krisis energi mendorong orang untuk menaikkan efisiensi penggunaan energi. Akibat dorongan ini, di beberapa negara laju pertumbuhan ekonomi lebih cepat daripada laju konsumsi energi komersial. Misalnya di Jepang, setelah krisis energi, laju pertumbuhan ekonomi lebih besar daripada laju konsumsi energi komersialnya.

Penghematan energi dengan menaikkan efisiensi penggunaan akan mengurangi masalah pencemaran. Oleh karena itu, usaha menaikkan efisiensi penggunaan energi perlu benar kita perhatikan, antara lain dengan memberikan insentif untuk penggunaan energi yang efisien.

Sebelum membahas upaya-upaya konservasi energi yang dapat dilakukan, ada baiknya dibahas tingkat konsumsi energi dan peluang penghematan energi, sebagai berikut.

1. Konsumsi Energi

Energi diperlukan bagi suatu negara di segala bidang kehidupan. Begitu juga dalam proses pembangunan di Indonesia, energi memegang peranan penting, baik sebagai bahan bakar, sebagai bahan baku produksi maupun sebagai komoditi dan penghasil devisa utama.

Secara nasional, konsumsi energi di Indonesia tergolong cukup tinggi bila dibandingkan dengan negara lain. Berdasarkan data *Energi Conservation Center Japan* (ECCJ) tahun 1999, didapat data konsumsi energi per kapita per tahun di Indonesia pada tahun 1996 dibandingkan dengan kondisi negara lain dalam TOE (*Ton Oil Equivalen*/setara satu ton minyak) per kapita per tahun.

Tabel 5.2
Tingkat konsumsi Energi per Kapita di Beberapa Negara 1996

Negara	TOE per Orang	Negara	TOE per Orang
Amerika Serikat	8.05	China	0.73
Inggris	4.00	Jepang	4.06
Jerman	4.27	Hongkong	1.92
Rusia	4.05	Malaysia	1.89
Perancis	4.35	Singapura	7.85
Australia	5.52	Indonesia	0.45
New Zealand	4.48	Thailand	0.98
Itali	2.81	Filipina	0.38
Mexico	1.51	India	0.28

Berdasar data di atas, terlihat bahwa tingkat konsumsi energi per kapita di Indonesia cukup tinggi bila dibandingkan dengan negara-negara di Asia, seperti Filipina dan India yang mempunyai kondisi dan pola penggunaan energi yang serupa. Sedangkan dibandingkan dengan negara-negara maju, seperti Amerika Serikat ataupun negara-negara Eropa, tingkat konsumsi energi di Indonesia, relatif masih rendah. Hal ini disebabkan oleh telah majunya teknologi dan peralatan pengguna energi yang mereka gunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Hal yang perlu diwaspadai adalah laju pertumbuhan konsumsi energi yang tergolong tinggi, dibanding dengan ketersediaan cadangan energi nasional. Tingkat pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia, terutama sebelum krisis ekonomi tergolong cukup tinggi. Pada kurun waktu 1985-1996, konsumsi energi per kapita telah tumbuh sebesar 104% atau rata-rata sebesar 9,45% per tahun. Dalam kurun waktu yang sama, dari tahun 1985-1996 (11 tahun), pertumbuhan tingkat konsumsi energi di Indonesia dan beberapa negara lain ada dalam Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3
 Persentase Pertumbuhan Konsumsi Energi per Kapita Tahun 1985-1996

Negara	Pertumbuhan Energi/Kapita (%)	Negara	Pertumbuhan Energi/Kapita (%)
Amerika Serikat	7.21	Cina	48.98
Inggris	11.11	Jepang	33.55
Jerman*	8.17	Hongkong	40.15
Rusia*	35.92	Malaysia	94.85
Perancis	19.83	Singapura	149.21
Australia	17.70	Indonesia	104.09
New Zealand	27.27	Thailand	216.18
Itali	17.08	Filipina	53.41
Mexico	2.03	India	62.94

Berdasar Tabel di atas, terlihat tingkat pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia dibanding dengan beberapa negara lain, relatif masih tinggi. Bagi negara-negara Eropa dan Amerika yang memiliki teknologi dan program energi yang baik dan terencana, laju tingkat pertumbuhan konsumsi energi tidak terlalu besar. Sedang negara-negara berkembang di kawasan Asia, yang relatif masih belum memiliki teknologi dan program-program energi, seperti negara maju, pertumbuhan konsumsi energi cukup besar.

Secara sektoral, konsumsi energi di Indonesia yang terbesar adalah pada sektor transportasi, berikutnya adalah sektor industri dan terakhir adalah sektor rumah tangga (termasuk bangunan komersial). Pada awal Pelita I (tahun 1969/1970), sektor rumah tangga adalah pengguna energi terbesar di Indonesia. Pada perkembangan selanjutnya, sektor transportasi dan industri kemudian melampaui sektor rumah tangga. Peningkatan konsumsi energi pada sektor transportasi dan industri yang jauh lebih cepat daripada sektor rumah tangga disebabkan peningkatan industrialisasi di Indonesia.

2. Peluang Penghematan Energi

Ada suatu prinsip dalam kalangan pemerhati energi, yaitu "menghemat energi jauh lebih mudah dan ringan biayanya daripada melakukan eksplorasi dan produksi energi". Menghemat penggunaan energi dilakukan dengan cara melakukan implementasi peluang penghematan energi, baik berupa perubahan perilaku ataupun pemasangan peralatan hemat energi.

Potensi untuk melakukan efisiensi energi di Indonesia masih sangat terbuka lebar. Indikasi besar potensi untuk melakukan efisiensi energi atau konservasi energi ada dua, yaitu perkembangan intensitas tingkat konsumsi energi dan persentase pertumbuhan ekonomi. Apalagi pada waktu sebelum krisis ekonomi, di mana tingkat pertumbuhan ekonomi mencapai lebih dari 8% per tahun dan pertumbuhan intensitas konsumsi energi 9%. Selama krisis ekonomi, penurunan konsumsi energi hanya terjadi pada tahun periode 1997/1998, akibat menurunnya semua sektor ekonomi. Pada tahun-tahun berikutnya, konsumsi energi kembali meningkat dengan pesat walau pertumbuhan ekonomi masih sangat kecil.

Tingginya tingkat konsumsi energi per kapita di Indonesia, tidak terlepas dari masih minim penerapan teknologi hemat energi dan kesadaran untuk menghemat penggunaan energi. Selain itu jumlah penduduk dan tingkat pertumbuhan jumlah penduduk masih tinggi adalah juga penyebab tingginya tingkat konsumsi energi.

Berdasar pada beberapa penelitian dan audit energi yang telah banyak dilakukan pada beberapa tahun terakhir ini, peluang penghematan energi di Indonesia terindikasi pada hampir semua kegiatan pembangunan, mulai dari sektor pembangkit dan eksplorasi sumber energi (listrik maupun pertambangan minyak, gas dan batu bara), distribusi, sampai pada *end user* di industri, transportasi, rumah tangga maupun bangunan komersial.

3. Upaya Konservasi Energi

Untuk keberhasilan program konservasi energi, di samping diisyaratkan dengan mengurangi subsidi harga BBM, diperlukan ada kebijakan keringanan bea masuk untuk mesin atau peralatan hemat energi atau tambahan bea masuk untuk yang tidak hemat energi. Kenaikan harga BBM atau listrik apabila disertai dengan perbaikan transportasi umum serta berjalannya program konservasi energi baik untuk rumah tangga, komersial serta industri tidak akan terlalu membebani masyarakat bukan golongan miskin. Seperti disebutkan sebelumnya, pengeluaran seseorang untuk transportasi akan lebih sedikit bila kenaikan harga BBM tersebut menyebabkan seseorang berubah dari menggunakan kendaraan pribadi menjadi menggunakan transportasi umum.

Apabila kenaikan harga BBM menyebabkan program konservasi berjalan, baik di sektor komersial (hotel), rumah tangga dan industri maka pengeluaran tidak terlalu bertambah. Kenaikan harga tersebut justru merupakan insentif untuk berhemat sehingga menimbulkan budaya hemat. Budaya hemat energi

adalah "peduli lingkungan" dan menunjukkan "*sense of crisis*". Penghematan energi bukan saja menghemat biaya, tetapi juga menghemat pemakaian sumber daya energi dan mengurangi sampah (polusi) energi. Penggunaan transportasi umum juga mengurangi kemacetan lalu lintas.

Perlu ada sosialisasi dan penerangan (kampanye) yang operasional meliputi seminar, kursus, pelatihan, berita di media, pembuatan buku petunjuk praktis mengenai pentingnya konservasi, diversifikasi energi dan pengurangan subsidi BBM serta langkah aktif untuk menghubungi, memberi penjelasan, dan menawarkan solusi praktis bagi konsumen (rumah tangga komersial, transportasi dan industri).

Terdapat empat instrumen untuk melaksanakan konservasi energi, yaitu informasi, insentif, pengaturan dan harga energi.

- a. Instrumen informasi bertujuan untuk meningkatkan kesadaran konservasi energi, mencakup kampanye hemat energi, antara lain penyuluhan hemat energi, pelatihan konservasi energi, pendidikan.
- b. Instrumen insentif merupakan faktor pendorong para pengguna energi agar berupaya melaksanakan program konservasi energi, mencakup program, antara lain keringanan pajak, keringanan bea masuk, pinjaman lunak.
- c. Instrumen pengaturan bertujuan agar program konservasi energi dapat dilaksanakan secara menyeluruh dan terpadu.
- d. Instrumen harga energi merupakan alat yang sangat efektif untuk mendorong pemanfaatan energi secara efisien. Proyek konservasi energi dipandang kurang penting karena harga minyak bumi masih murah dan terjangkau masyarakat sehingga mereka tidak melihat perlu konservasi energi sepanjang mereka tidak terbebani harga minyak bumi.

Untuk menghemat energi, langkah-langkah berikut dilakukan oleh masyarakat.

- a. Matikan lampu apabila tidak diperlukan lagi.
- b. Matikan alat-alat elektronik (TV, radio, komputer) apabila sudah tidak digunakan.
- c. Buka lemari es hanya bila diperlukan. Lemari es yang terbuka akan memerlukan energi lebih besar guna mempertahankan suhu dingin di dalamnya. Buka kemudian tutup pintu lemari es segera.
- d. Gunakan peralatan elektronik yang tidak memakai energi batu baterai, misalnya kalkulator bertenaga surya.

- e. Pakailah sepeda ketika hendak bepergian ke suatu tempat yang dekat, atau berjalan kaki.
- f. Rencanakan segala sesuatu sebelum bepergian sehingga hanya diperlukan transportasi sekali jalan.
- g. Gunakan satu mobil untuk mengangkut beberapa orang sekaligus (anggota keluarga maupun tetangga) bila mempunyai tujuan sama, misalnya program "Three in One" di Jakarta.
- h. Gunakan mesin seoptimal mungkin pada kegiatan produksi.
- i. Manfaatkan sisa energi (panas) untuk keperluan lain.

Di Indonesia konservasi energi sekarang merupakan salah satu kebijakan pemerintah dalam pembangunan energi berkelanjutan. Dalam pelaksanaan di masyarakat, program-program konservasi energi di Indonesia tidak banyak berkembang karena menghadapi banyak kendala baik teknis maupun nonteknis.

Kendala-kendala dalam pelaksanaan konservasi energi tersebut adalah sebagai berikut.

a. Kurangnya kesadaran masyarakat

Kesadaran konservasi energi kurang dimiliki oleh pengguna energi mulai dari industri besar sampai industri rumah tangga, sektor transportasi, rumah tangga, bangunan komersial termasuk sektor pemerintah. Sebenarnya untuk menumbuhkan kesadaran masyarakat dalam hal konservasi energi dapat ditempuh dengan beberapa cara, yaitu dengan menumbuhkan kesadaran individu (terutama berkaitan dengan harga energi), kesadaran yang ditumbuhkembangkan oleh instansi terkait terutama dengan kampanye hemat energi), dan dengan perangkat hukum yang mengikat. Dalam hal ini peranan pemerintah, swasta, dan NGO yang mempunyai perhatian atas konservasi energi sangat penting sebagai inovator, inspirator, dan sekaligus dinamisator.

b. Harga energi yang rendah

Harga energi yang relatif rendah di Indonesia merupakan salah satu hambatan konservasi energi bila dibandingkan dengan asas manfaat dan terbatasnya sumber daya energi konvensional. Subsidi harga energi yang selama ini dilakukan oleh pemerintah banyak yang tidak mengena pada sasaran yang diharapkan, juga mempunyai efek tidak mendidik pada masyarakat, terutama dunia usaha. Sebagai contoh, subsidi BBM.

Pada sisi lain, usaha pemerintah untuk mengurangi dan mencabut subsidi energi, banyak mendapat tentangan dari masyarakat, yang antara lain terjadi pada bulan Mei 1998 dan Maret 2000. Tentangan dari masyarakat tersebut karena beberapa hal, yaitu sebagai berikut.

- 1) Kurang sosialisasi pada masyarakat tentang pentingnya pencabutan subsidi bahan bakar, terutama BBM.
- 2) Untuk kasus tahun 2000, perlu lebih dimatangkan lagi rencana pengalihan subsidi dan penggantian subsidi tersebut sehingga benar-benar sampai ke masyarakat yang membutuhkan.
- 3) Belum ada dan tidak dikembangkan sumber energi alternatif bagi masyarakat untuk mengganti fungsi BBM.

Selain itu, yang menarik di sini adalah latar belakang sudut pandang pemerintah yang jauh lebih menekankan faktor ekonomi dan bukan pada asas kelestarian sumber daya alam itu sendiri.

c. Kurangnya dana untuk pengembangan konservasi energi

Oleh karena kebijakan pemerintah yang masih belum jelas dan tegas dalam masalah pengembangan konservasi energi, dana yang dianggarkan pun relatif sangat minim. Inovasi ataupun penelitian di bidang konservasi dan diversifikasi energi ini sudah seharusnya mendapat porsi lebih besar dari pemerintah.

d. Kurang dukungan infrastruktur

Infrastruktur yang ada belum mendukung masyarakat untuk melakukan upaya-upaya penghematan energi ataupun diversifikasi energi. Contoh yang sederhana adalah belum ada angkutan massal yang cepat dan nyaman bagi masyarakat sehingga masyarakat menjadi lebih konsumtif menggunakan energi untuk kendaraan pribadi.

e. Kurang perangkat hukum

Konservasi energi, diversifikasi energi dan kebijakan di bidang energi pada umumnya belum mempunyai landasan hukum yang kuat dan jelas. Selain itu perangkat hukum pada bidang lain, ada yang tumpang tindih sehingga malah menyulitkan penerapan konservasi.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan dan uraikan sumber energi alternatif yang saudara ketahui, apa bedanya dengan sumber energi utama?
- 2) Bagaimana menurut saudara upaya konservasi yang dilakukan di Indonesia?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, coba saudara kaji lagi tentang kriteria sumber energi utama dan sumber energi alternatif. Di sana akan jelas perbedaan antara keduanya.
- 2) Agar dapat menjawab dengan baik pertanyaan ini, saudara dapat melihat kembali hal-hal yang harus dilakukan untuk konservasi energi di Indonesia pada uraian mengenai konservasi energi. Kami yakin saudara dapat menjawab dengan baik.



RANGKUMAN

Dilatarbelakangi adanya kecenderungan pencemaran lingkungan akibat energi minyak bumi sebagai bahan bakar primer, perlu dicari sumber energi lain/sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan tidak akan pernah habis. Contohnya adalah sumber energi angin, sumber energi air, sumber energi panas bumi, biomassa, dan sumber energi matahari.

Tak bisa dipungkiri bahwa kecenderungan untuk mengembangkan dan memanfaatkan potensi sumber-sumber daya energi terbarukan dewasa ini telah meningkat dengan pesat, khususnya di negara-negara berkembang, yang telah menguasai rekayasa dan teknologi, serta mempunyai dukungan finansial yang kuat.

Ada sumber energi alternatif bertujuan untuk mengurangi sumber daya energi yang sekarang banyak digunakan, yaitu BBM, dengan menambah penggunaan sumber daya energi yang lain. Oleh karena itu, kita perlu menggunakan lebih banyak jenis sumber energi, dengan efisiensi pemakaian yang setinggi-tingginya. Banyak sumber energi masih terabaikan, penggunaan sumber energi alternatif dapat membantu memecahkan masalah kelangkaan sumber energi.

Konservasi energi adalah penggunaan energi disertai usaha-usaha mencari teknologi baru dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan (misalnya sinar matahari, tenaga air, panas bumi) dengan lebih efisien. Untuk jangka panjang hal itu berarti, menggunakan energi sedemikian rupa sehingga mampu menekan kerugian energi seminimal mungkin. Sedang untuk jangka pendek, konservasi energi dilakukan melalui langkah penghematan energi. Oleh karena itu, diperlukan usaha pengelolaan energi untuk mencapai keserasian antara kebutuhan dan penyediaan energi sedemikian rupa sehingga sumber energi tidak cepat habis dan berdampak kecil terhadap lingkungan.

Untuk keberhasilan program konservasi energi, di samping disyaratkan pengurangan subsidi harga BBM, perlu ada kebijakan keringanan bea masuk untuk mesin atau peralatan hemat energi atau tambahan bea masuk untuk peralatan yang tidak hemat energi.

Apabila kenaikan harga BBM menyebabkan program konservasi berjalan, baik di sektor komersial (hotel), rumah tangga, dan industri maka pengeluaran tidak terlalu bertambah. Kenaikan harga tersebut justru merupakan insentif untuk berhemat sehingga menimbulkan budaya hemat. Budaya hemat energi adalah "peduli lingkungan" dan menunjukkan "*sense of crisis*". Penghematan energi bukan saja menghemat biaya, tetapi juga menghemat pemakaian Sumber daya energi dan mengurangi sampah (polusi) energi.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Contoh sumber energi alternatif, antara lain
 - A. energi angin, air, batu bara
 - B. panas bumi, minyak bumi, biomassa
 - C. minyak bumi, nuklir, batu bara
 - D. air, matahari, laut

- 2) Upaya penghematan energi dapat dilakukan dengan cara
 - A. menaikkan efisiensi penggunaan energi
 - B. menurunkan efisiensi penggunaan energi
 - C. meningkatkan penggunaan energi
 - D. pemanfaatan energi maksimal

- 3) Pemanfaatan sumber daya energi terbaru atau alternatif sebagai bahan baku produksi energi memiliki kelebihan antara lain, *kecuali*
 - A. relatif mudah didapat
 - B. tidak mengenal problem limbah
 - C. tidak terpengaruh kenaikan harga bahan bakar
 - D. adanya emisi pembakaran yang dihasilkan

- 4) Termasuk sumber daya alternatif, *kecuali*
 - A. tenaga air
 - B. biomassa
 - C. energi angin
 - D. batu bara

- 5) Penggunaan energi disertai usaha-usaha mencari teknologi baru dengan memanfaatkan sumber energi alternatif yang lebih efisien, dikenal dengan istilah
 - A. konsumsi energi
 - B. konservasi energi
 - C. pemanfaatan energi
 - D. eksploitasi sumber energi

- 6) Terdapat empat instrumen untuk melaksanakan konservasi energi, *kecuali*
 - A. informasi
 - B. insentif
 - C. harga energi
 - D. pengurangan

- 7) Kendala konservasi energi di Indonesia, antara lain
 - A. menipis cadangan minyak dunia
 - B. kurang dana untuk pengembangan konservasi energi
 - C. kebijakan tambahan bea masuk sumber daya energi
 - D. tingkat konsumsi energi tinggi

- 8) Beberapa energi laut dimanfaatkan dari samudra, *kecuali*
 - A. energi gelombang
 - B. energi pasang surut
 - C. panas bumi
 - D. panas matahari dalam air laut

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Hukum Termodinamika I.
- 2) C. Panas Bumi.
- 3) D. Batu bara.
- 4) D. Pertambangan dalam.
- 5) B. Sinar radioaktif.
- 6) B. Penyinaran internal.
- 7) B. Mempunyai cadangan minyak bumi.
- 8) D. Influenza.

Tes Formatif 2

- 1) D. Air, matahari, laut.
- 2) A. Menaikkan efisiensi penggunaan energi.
- 3) D. Adanya emisi pembakaran yang dihasilkan.
- 4) D. Batu bara.
- 5) B. Konservasi Energi.
- 6) C. Pengurangan.
- 7) B. Kurang dana untuk pengembangan konservasi energi.
- 8) C. Panas bumi.

Daftar Pustaka

- Blix, H. (1990). *Energi, Pembangunan dan Lingkungan*. Jakarta: LSM Perintis.
- Owen, S.Oliver. (1980). *Natural Resource Conservation: An Ecological Approach*. New York: Mac Millan Publishing Co, Inc.
- P, Wino et a1l. (2000). *Agenda 21 Sektoral*. Jakarta: Proyek Agenda 21 sektoral, Jakarta, KLH – UNDP.
- Rhodes, R, Beller, D. (2002). *The Need for Nudear Power*, <http://www.nci.org/conf/Rhodes>.
- Soemarwoto, O. (1997). *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jakarta: Jambatan.
- Von Bemmelen, R.W. 1949. *The Ecology of Indonesia*. Vol II. Government Printing Office. The Hague.

Faktor yang Harus Dipertimbangkan dalam Konservasi Sumber Daya Alam

Dr. Ir. Muhadiono, M.Sc



PENDAHULUAN

Manusia dan lingkungan berkembang dari kehidupan awal bersifat primitif, menuju kehidupan agraris dan akhir puncak perkembangan sebagai masyarakat industri. Wujud masyarakat industri saat ini termasuk masyarakat informasi elektronik. Keterkaitan hubungan alam, perkembangan masyarakat melalui masa keemasan zaman primitif, pramodern dan modern.

Manusia primitif, dikuasai alam, hidup diatur dan menyesuaikan perilaku atau tingkah laku alam. Sementara manusia pramodern, merindukan keharmonisan alam melalui kehidupan materi dan religi untuk memenuhi kebutuhan jasmani dan rohani. Pada akhirnya, manusia modern, secara sadar berada di luar alam; dengan teknologi dan keterampilannya mampu menguasai dan mengatur alam tersebut bagi kepentingan dan kesejahteraan hidupnya.

Untuk mendukung hidup dan kehidupan manusia dalam alam semesta ini tidak dapat dipisahkan antara kehidupan satu dengan lainnya. Mereka tersusun dalam kaidah alam dengan hukumnya yang berjalan menyelenggarakan sistem ekologi seperti kita kenal sampai saat ini. Pengelolaan lingkungan bagi kelestarian manusia perlu memperhatikan sistem produksi, pelestarian dan regulasi atau pengaturan alam sejalan dengan kaidahnya.

Sistem produksi menentukan banyak atau jumlah yang dapat dipanen untuk menghidupi manusia sejalan dengan pertambahan penduduk yang terjadi. Perkembangan penduduk yang cepat menuntut hasil panen lebih besar, akibatnya banyak terjadi ketimpangan dalam sistem ekologinya karena pelanggaran terhadap hukum alam yang terjadi, dan akhirnya akan terjadi penurunan dari hasil panen tersebut. Banyak kasus terjadi dalam produksi pangan saat ini. Untuk ini coba perhatikan dalam intensifikasi padi sawah yang berujung pada ketersediaan pangan menurun sekalipun kita pernah mencapai

swasembada beras dan mendapat penghargaan internasional dalam penyediaan pangan.

Pelestarian atau konservasi merupakan wujud nyata sebuah perlindungan untuk melanggengkan fungsi dan struktur dalam sistem ekologi. Usaha menjaga pelestarian dan pengawetan dari struktur alam sumber daya sekitar kita pada gilirannya akan melestarikan kehidupan di dalam alam semesta lingkungan hidup manusia.

Regulasi atau pengaturan alam merupakan salah satu fungsi sistem ekologi dari sumber daya alam memberikan jaminan hidup dan kehidupan bagi penghuni yang terlibat serta dapat menentukan besaran hasil panen dari sistem produktivitas dan sekaligus mampu menjaga pelestarian bagi hidup dan kehidupan di dalamnya. Contoh kehadiran hutan untuk mengatur sistem hidrologi, aliran oksigen dan rosot karbon dalam pelestarian bumi kita bersama-sama dengan bangsa lain di dunia.

Perhatikan protokol Kyoto, 1997 terkait dengan rosot karbon melalui perdagangan karbon antara negara maju dan negara dengan kawasan hutan tropis sebagai paru-paru dunia saat ini. Pasal 2 protokol Kyoto menyatakan bahwa diperlukan: “Stabilisasi konsentrasi emisi GRK atmosfer pada tingkat dapat melindungi pengaruh manusia yang berbahaya terkait dengan sistem iklim. Implikasi pasal 2 ini adalah “Tingkat konsentrasi yang dimaksud harus dicapai dalam kurun waktu cukup sehingga berbagai ekosistem mampu melakukan adaptasi secara alami terhadap perubahan iklim”. Selanjutnya ***produksi pangan dunia tidak terancam dan pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dapat berlangsung.***

Ketiga fungsi ekosistem di atas merupakan pilar menjaga keberlangsungan sistem ekologi yang mendukung hidup dan kehidupan manusia di mana pun berada. Satu tidak lebih penting dari yang lain. Ketiganya perlu perhatian yang seimbang jika kita sedang berhadapan dengan sistem pengelolaan sumber daya alam atau “*environmental management*”, apalagi jika harus memperhatikan pengelolaan yang lestari, yang artinya pada hari ini ada, besok tetap ada dan selanjutnya harus tetap ada, seperti yang kita kenal sebagai “*sustainable development*”. Kegiatan ini adalah bagian ke-7 dari MDG’s (Millenium Development Goals) yang menyatakan “***Keberlanjutan sistem ekologi dan lingkungan***“. Sementara untuk menciptakan kesejahteraan bersama dalam masyarakat melalui langkah lain dari MDG’s adalah tujuan-tujuan untuk, *pertama* tindakan atau kebijakan yang dapat menghapus kemiskinan dan kelaparan; *kedua*, kebijakan dalam memberikan pendidikan dasar yang

universal; *ketiga*, kebijakan memberikan kesetaraan gender pada kaum perempuan terhadap pria; *keempat*, tindakan untuk mengurangi tingkat kematian anak; *kelima*, kebijakan untuk meningkatkan kesehatan ibu hamil dan melahirkan; *keenam*, kebijakan untuk memerangi penyakit HIV/AIDS dan endemik malaria; *ketujuh*, seperti telah diuraikan di atas; serta *kedelapan*, adalah kebijakan untuk membangun kemitraan global dengan bercirikan kepribadian Indonesia yang mandiri, berdaulat dan berketahanan pangan maupun energi yang kokoh di tengah peradaban dan kehidupan bangsa-bangsa lain di dunia.

Protokol Kyoto, 1997 kesepakatan yang bernasib kurang baik, tidak dapat dilaksanakan di lapangan. Oleh karena itu, terkait dengan MDG's no 7 dan 8 di atas, Indonesia mengawali gerakan dunia dengan REDD (Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation, 2008). Untuk ini presiden RI ke-6, Susilo Bambang Yudoyono beserta kabinetnya mencanangkan pengurangan emisi sebesar 26% sampai tahun 2020, dengan mencanangkan penanaman semiliar pohon hutan.

Kita perlu mencerdasi hal tersebut di atas, jika jarak tanam pohon hutan adalah 10×10 m pada hutan tanaman (contoh pada jenis Jati di Perhutani pulau Jawa). Maka setiap hektar lahan adalah tertanami 100 individu pohon, sehingga target semiliar pohon artinya untuk lahan hutan seluas 10 juta hektar. Apabila kegiatan ini aktif mulai 2010 maka setiap tahun harus terpenuhi satu juta hektar hutan tanaman sehingga saat sampai ke tahun 2020, maka target semiliar pohon tersebut sudah terpenuhi. Ini adalah gagasan dan impian presiden kita yang seharusnya dapat dipenuhi, namun kenyataan lapangan adalah bergantung pada kita semua yang akan mengawal kerja pembangunan tersebut. Cerdasi antara target rencana dan kenyataan yang dikerjakan oleh Kementerian atau Departemen terkait.

Fokus pada masalah negara sedang berkembang (Pearce dan Warford, 1993) menyatakan bahwa kualitas lingkungan adalah sangat penting bagi semua bangsa di dunia, khususnya di negara miskin perlu dicatat bahwa kerusakan lingkungan menghilangkan potensi luaran ekonomi, artinya akan kehilangan GNP dan jika mampu memelihara kualitas lingkungan maka akan menyediakan potensi dasar sumber daya alam bagi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Selanjutnya jika kualitas air buruk maka akan menyebabkan banyak penyakit timbul. Sementara kerusakan tanah dan lahan akan menyebabkan berkurang biomassa bagi energi bahan bakar, pakan ternak dan ketersediaan pangan bagi manusia sejalan dengan kualitas tanah dan lahan yang juga menurun.

Untuk ini Faktor yang harus dipertimbangkan dalam konservasi sumber daya alam adalah perilaku dan sifat dari sumber daya alam itu sendiri, terutama yang dipengaruhi dan menentukan kehidupan manusia. Oleh karena itu; kita perlu mempelajari:

1. pentingnya pangan sehat bagi kehidupan;
2. masalah ekonomi berkaitan dengan kependudukan;
3. masalah lingkungan dalam kependudukan;
4. keterkaitan manusia, ekonomi dan lingkungan;
5. upaya menanggulangi masalah-masalah kependudukan.

Modul 6 bertujuan memberikan pengetahuan dasar mengenai faktor yang harus dipertimbangkan dalam mengkonservasi sumber daya alam.

Modul ini disajikan dalam dua kegiatan belajar, yaitu sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1: membahas Masalah-masalah Kependudukan.

Kegiatan Belajar 2: membahas Keterkaitan Manusia, Ekonomi dan Lingkungan.

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan Anda *dapat menjelaskan* faktor yang harus dipertimbangkan dalam konservasi sumber daya alam, khususnya dalam pengelolaan ekosistem, perilaku dan kegiatan pembangunan yang harus tetap memperhatikan fungsi dari ekosistemnya dalam fungsi produksi, pelestarian dan regulasi bagi kehidupan biotik di dalamnya.

Agar semua tujuan tersebut tercapai, untuk mempelajari modul ini disertakan latihan dan soal tes objektif pada setiap kegiatan.

Selamat belajar, semoga berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

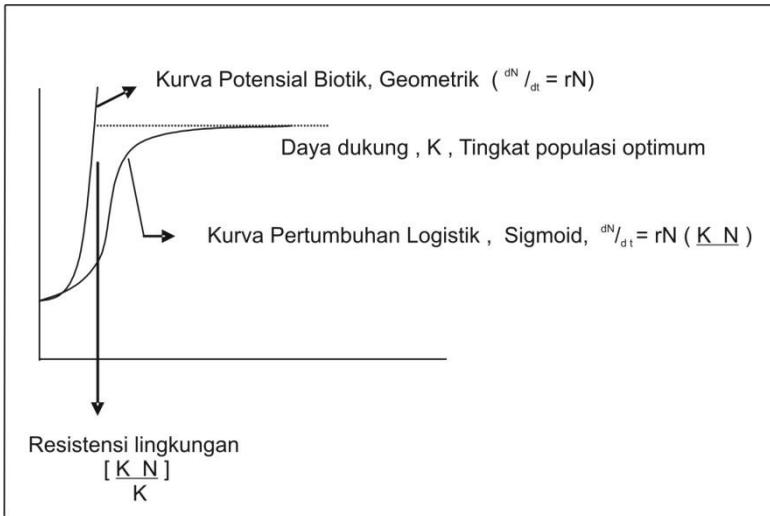
Masalah-masalah Kependudukan

Masalah kependudukan tidak akan terlepas dari masalah manusia dengan lingkungannya; hubungan keberadaan manusia dengan manusia yang lain dan pengaturan jumlah yang diizinkan untuk tetap berada dalam sebuah kawasan agar terjaga kelestarian jenis-jenis kehidupan di dalamnya dan tercukupi kesejahteraan hidup dari produktivitas sumber daya alam yang mendukung jenis kehidupan tersebut.

Konsep perubahan jumlah penduduk berhubungan dengan pemanfaatan sumber daya lingkungan yang ada, yang berimplikasi pada peningkatan atau pengurangan, baik dalam jumlah maupun kebutuhan hidup; perubahan pola distribusi dan perbaikan teknologi dan keterampilan manusia pengelolanya.

Untuk ini perhatikan “Teori Malthus” dalam menerangkan perkembangan penduduk dan penyediaan pangan bagi manusia di mana pada akhirnya akan berimplikasi pada manusia itu sendiri. Ada kesenjangan atau gap yang menyebabkan perkembangan populasi menurun akibat dari wabah penyakit dan pangan yang tersedia tidak mencukupi walaupun sejumlah teknologi sudah dipacu sedemikian rupa, namun tetap saja terdapat orang miskin dan kemiskinan di mana-mana dan dari hari ke hari akan semakin terbentuk jurang yang bertambah lebar antara si kaya dan si miskin dalam dunia nyata di sekitar kita. Semakin hari semakin besar bertambah gap tersebut walaupun usaha untuk menyejahterakan mereka dalam kehidupannya selalu ditingkatkan.

Resistensi lingkungan merupakan besaran penyeimbang dari perkembangan populasi jenis kehidupan ke arah geometrik menjadi sigmoid, akibat terbatasnya ruang dan pangan yang tersedia untuk kehidupan normal menuju daya dukung lingkungan optimum (Gambar 6.1).



Sumber : Boughey, 1973.

Gambar 6.1
Pengaturan Kurva Geometrik, ke *Sigmoid* Sejalan Daya Dukung Populasi

Usaha menuju keseimbangan baru adalah dengan berjangkitnya wabah penyakit dan peperangan di mana-mana, termasuk model gerakan terorisme saat ini. Total magnitude vektor bagi kehidupan manusia menuju garis keseimbangan kita kenal sebagai "resistensi lingkungan". Besar resistensi lingkungan adalah ekuivalen dengan besaran usaha menuju sumber daya alam yang belum dimanfaatkan dan berkembang ke arah daya dukung optimum (K) bagi populasi tersebut. Besaran tersebut merupakan selisih dari daya dukung terhadap sumber daya yang telah dimanfaatkan oleh jumlah populasi yang ada sehingga nilai konkret resistensi lingkungan adalah sebesar $1 - (N/K)$ atau dengan kata lain sebagai $(K-N)/K$.

Istilah populasi ini dalam pengertian umum dapat berarti untuk manusia atau organisme lain dalam kumpulan individu yang sejenis. Kurva bagi manusia terkait dengan demografi, atau gambaran mobilisasi penduduk yang berada pada suatu wilayah, sebagai wujud nyata dalam angka pertumbuhan, yaitu merupakan hubungan antara besaran dari kelahiran dan kematian serta adanya perpindahan penduduk yang masuk atau keluar dalam populasi tersebut.

Pergerakan kurva pertumbuhan populasi kehidupan pada kondisi ruang dan pangan tidak terbatas secara alamiah adalah mengikuti kurva geometrik. Contoh

hal ini umumnya bakteri atau kapang- ragi . Namun ketika jumlah pangan dan ruang terbatas kemudian mengikuti kurva sigmoid. Kurva S atau sigmoid umum ditemukan pada pertumbuhan hewan besar atau pun manusia. Hal ini adalah akibat dari adanya pengaruh ketersediaan ruang dan pangan dari lingkungannya. Kurva pertumbuhan populasi bergerak menjadi Sigmoid dan kerapatan populasi akan berada di sekitar daya dukung dengan lambang sebagai K. Sementara besaran resistensi lingkungan adalah merupakan koreksi terhadap pertumbuhan berdasarkan potensial biotik, yang tumbuh secara geometrik dengan asumsi tidak ada pembatas dalam ruang dan waktu.

Pertumbuhan dua kali perkembangan populasi dunia dapat dicermati melalui Tabel berikut.

Tabel 6.1
Perkembangan Penduduk Dunia dalam Kurun Selisih Waktu

No.	Selisih Tahun	Jumlah Penduduk	Keterangan
1.	Abad pertama	250.000.000	
2.	1.650 kemudian	500.000.000	
3.	200 kemudian	1.000.000.000	
4.	90 kemudian	2.000.000.000	
5.	35 tahun	4.000.000.000	Th 1941-1976
6.	13 tahun	5.000.000.000	1989

Berdasar statistik penduduk 1957, jumlah penduduk Costarica dua kali lipat pada tahun 1973, Syria 1974, Lybia 1976, Vietnam 1978, Mexico-Panama-Filipina, 1979 dan Brazil, 1980. Kenaikan jumlah penduduk Cina selama sepuluh tahun setara dengan jumlah penduduk Amerika Serikat tahun 1960. Setiap hari terjadi kelahiran bayi sebesar 225.000; setiap tahun 90 juta jiwa setara jumlah penduduk 9 kali kota New York atau dua kali Inggris.

Pertambahan penduduk dunia mencapai puncak tahun 1970, kemudian menurun perlahan terutama di bagian dunia Asia dan Amerika Selatan. Pertumbuhan populasi nol terjadi di beberapa negara Eropa Timur. Walaupun demikian jumlah penduduk akhir abad ini sekitar 10 miliar manusia.

Faktor penyebab turunnya angka kematian, antara lain perkembangan teknologi kedokteran. Sebelum teknologi kedokteran canggih, angka kematian manusia sangat tinggi, tetapi dengan kemajuan ilmu kedokteran, dengan

penemuan berbagai macam jenis obat dan sintesis vitamin, manusia dapat mencapai tingkat kesehatan yang lebih baik sehingga rata-rata umur populasinya menjadi lebih panjang.

Awal abad XX, penyakit malaria akibat dari plasmodium yang disebarkan oleh nyamuk *Anopheles* secara langsung atau tidak langsung menyebabkan 50% kematian. Adanya DDT dan obat unggulan pembunuh plasmodium dalam darah yang beredar di masyarakat mampu membebaskan malaria di daerah tropis. Ceylon yang melakukan kampanye pemberantasan malaria tahun 1946, hanya dalam waktu 6 tahun kemudian mampu menurunkan angka kematian dari 22 menjadi 13 per seribu penduduknya. Sementara di Amerika Latin, eliminasi malaria ini menyebabkan kenaikan jumlah penduduk sebesar 4% per tahun.

Gambaran demografi dalam suatu wilayah menunjukkan laju penambahan penduduk dari selisih laju kelahiran dan kematian di wilayah tersebut yang dikoreksi oleh faktor migrasi.

$$\text{Total Populasi Wilayah} = \text{Laju Kelahiran} - \text{Laju Kematian} (+/-) \text{ Migrasi}$$

Sumber: Boughey, 1973.

Imigrasi terjadi penambahan ke dalam populasi yang ada, sementara *emigrasi* terjadi pengurangan dari populasi yang ada. Terjadi demikian karena adanya mobilitas kependudukan, baik sebagai akibat mendapat kesempatan kerja, kesempatan belajar dan banyak faktor lain dalam kehidupan ini yang mengharuskan terjadi perpindahan atau tingginya mobilitas.

Gambaran gender (laki-laki dan perempuan), kelas umur baik 5 tahunan atau setahunan dalam suatu wilayah sangat membantu perencanaan wilayah, menyediakan kebutuhan yang diperlukan olehnya. Misal banyaknya SD Inpres yang harus dibangun, dan juga lapangan kerja yang harus disediakan pemerintah bagi jumlah penduduk usia produktif

Perkembangan penduduk yang digambarkan melalui kelas umur tersebut, sebagai golongan anak-anak (*juvenil*), golongan dewasa (*mature*) atau golongan lansia (*senil*) dengan melihat besar presentasi yang ada pada masing-masing golongan akan mudah melihat beban bagi usia produktif, untuk memberi makan

dan menanggung beban lain pada anak-anak atau terhadap kaum manula dalam komunitasnya.

Penduduk didominasi oleh anak-anak dalam jumlah besar biasa terjadi pada kondisi sehabis peperangan, di mana manusia dewasa banyak hilang menjadi korban perang. Sementara kelompok lain jika didominasi oleh manula maka hal tersebut menunjukkan kondisi yang sudah mantap jaminan sosial sehingga golongan orang tua ini mampu berumur panjang. Keadaan ini tercapai akibat adanya jaminan sosial dan kesehatan yang sudah baik. Kelompok demikian ini umumnya, merupakan gambaran kondisi negara maju dengan tingkat perekonomian sudah mantap. Gambaran normal panjang umur dari kelas tersebut setiap fase adalah setara. Jadi jika rata-rata umur kematian adalah 75 tahun maka 25 tahun pertama adalah termasuk masa kanak-kanak, 25 tahun berikutnya masa dewasa dan 25 tahun berikutnya lagi masa tua atau fase *senil*.

A. PANGAN

Pangan merupakan kebutuhan primer manusia. Makanan merupakan sumber energi bagi manusia untuk melakukan aktivitas. Kurang pangan dan malnutrisi merupakan masalah besar yang mengancam kelestarian manusia di planet bumi ini. Pangan, ekonomi dan lingkungan merupakan masalah utama menyangkut kualitas kehidupan di masa depan.

Ketersediaan pangan dunia yang berkembang *sejalan deret hitung* (1, 2, 3, 4, 5..... dan seterusnya), sementara perkembangan manusia di bumi *menurut deret ukur* (1, 2, 4, 8, 16 dan seterusnya) memberikan implikasi terjadinya kesenjangan pangan dari waktu ke waktu. Persoalan besar demikian telah diramalkan orang untuk timbulnya malapetaka kelaparan dan kehancuran bagi umat manusia saat ini. Robert Malthus, 1798, pakar ekonomi dari Inggris meramalkan perkembangan di atas, manusia di bumi bertambah *secara geometrik* sementara penyediaan pangan bertambah *secara aritmatik*. Akibatnya akan lebih banyak manusia daripada jumlah pangan tersedia sehingga terjadi kelaparan dan kekurangan pangan di mana-mana.

Dua pertiga penduduk dunia kekurangan pangan dan gizi. Malnutrisi kronis, terjadi karena kurang pangan sehingga perut menjadi setengah kosong dan menahan lapar. Pakar gizi berpendapat bahwa minimum kalori setiap orang adalah sebesar 2200 kalori per hari. Pada saat ini penduduk Eropa dan Amerika mengonsumsi 3200 kalori per hari, sementara di India hanya 1600 kalori per hari. Kekurangan 600 kalori per hari dari kebutuhan minimum menyebabkan

tubuh lemah, mental dan fisik lelah penurunan daya tahan tubuh terhadap serangan banyak jenis penyakit. Malnutrisi kronis adalah fenomena kualitatif akibat makanan kurang berkualitas, kurang protein dan vitamin, sementara perut hanya dipenuhi dengan makanan berkalori tinggi.

Jutaan anak balita di negara belum berkembang menderita kahat protein dan diserang penyakit yang disebut "kwashiokor". Tanda penyakit mencakup malfungsi sistem pencernaan, kulit gatal, buncit kemudian diikuti pembengkakan, lemah anggota badan (kaki dan tangan), lemas tubuh, rawan kematian dan rentan penyakit infeksi. Penyakit anak demikian menyebabkan otot perut menjadi lemah dan banyak air dalam jaringan (busung). Akibat serius penyakit ini, anak kwashiokor mengalami kemunduran mental, yang tidak dapat diperbaiki walaupun diberikan pengaturan diet makanan yang tepat untuk beberapa tahun kemudian.

Sementara perilaku makan di negara maju, pemberian asupan bahan tambahan atau aditif, sebagai penyedap rasa atau pewarna membuat makanan lebih menarik disantap. Industri makanan berkembang pesat, menjadi bisnis menjanjikan, restoran siap saji berkembang di mana-mana.

Di balik kemudahan ini tanpa disadari perkembangan penyakit kanker berkembang sebagai pembunuh tersembunyi (*silence murder*) kelas wahid bagi manusia saat ini. Budaya modern identik dengan perkembangan industri makanan, penggunaan aditif, baik pewarna maupun penyedap rasa, penggunaan bahan pengawet mayat (*formalin*) ke dalam makanan secara keliru menjadi berbahaya bagi kesehatan manusia.

Kanker atau perkembangan sel yang tidak biasa ada 2 jenis, yaitu *hiperplasi* jika sel membelah lebih banyak dengan ukuran sel tetap sama dengan sel normal; *hipertrofi*, jika membesar, tetapi berjumlah tetap sama dengan jaringan normal. Kedua tipe pembengkakan (kanker) ini sepiantas sama, yaitu timbul jaringan mengalami pembesaran atau pembengkakan. Kanker menjadi ganas jika berkembang lebih cepat, dan termasuk jinak jika tidak berkembang cepat.

Kanker timbul akibat over protein, basa penyusun untaian kromosom tidak dalam posisi normal; atau terdapat gugus radikal bebas yang mengacak-acak susunan normal dari basa-basa tersebut. Upaya apa yang terbaik dalam mengatasi kanker. Penyinaran atau radiasi menyebabkan sel-sel sekitar yang masih sehat mengalami kelelahan dan akhirnya menjadi lemah dan mati secara perlahan-lahan, sementara pengangkatan jaringan yang terkena kanker tidak sepenuhnya menyelesaikan persoalan. Oleh karenanya mencegah lebih baik

daripada mengobati, di antaranya menghindari protein jamur (*sate*) karena dapat menurunkan radikal bebas, pemicu perkembangan kanker.

Namun apabila sudah terkena kanker maka diperlukan makanan kaya *antioksidan* untuk menekan perkembangan kanker tersebut, makanan kaya kalium untuk membuat sel tidak normal menjadi normal kembali, atau menggunakan beragam tumbuhan obat yang dapat menghilangkan jaringan yang bengkak ini (benjolan kanker) dengan melakukan isolasi, mengeluarkan air, dan menghilangkan pembengkakan, meningkatkan pengeluaran CO₂ sisa pembakaran dalam tubuh dan bahan toksik yang lain melalui penormalan kembali pada jaringan ekskret. "*back to nature*" untuk kesehatan adalah "*back to medicinal herbs*".

MSG (*Mono Sodium Glutamat*), penyedap rasa pada orang dewasa tidak menjadi masalah, tetapi untuk janin dan bayi menyebabkan kerusakan sel otak, khususnya pada *hypothalamus* (bagian dari otak yang sangat penting untuk mengatur sistem hormon tubuh). Penelitian pada tikus menyebabkan kerusakan otak, tetapi pada kera tidak demikian.

MSG yang over dosis menyebabkan "Kwok's disease", yaitu "*Chinese restaurant Syndrome*". Akibat kelebihan takaran penyedap rasa menyebabkan salah satu gangguan dengan gejala sebagai berikut.

1. Kepala pusing (*head ache*).
2. Rasa sangat haus (*burning sensations*).
3. Muka pengap (*facial pressure*).
4. Dada/rusuk ngilu (*chest pain*).

Namun demikian bagi orang dewasa dalam takaran yang pas, jumlah yang sedikit berfungsi untuk penyedap rasa pada makanan berprotein tinggi, bukan pada makanan kaya karbohidrat.

Indonesia kaya akan jenis kehidupan, *biodiversitas* jenis sangat tinggi. Rahasia alam yang perlu kita ungu dalam menyediakan kebutuhan manusia, khususnya pangan. Agar dapat hidup lebih sehat, ikuti ritme alam. Musim mangga makanlah mangga, musim sawo makanlah sawo; musim duku makanlah duku. Alam menyediakan kebutuhan manusia melalui *bioritmik* yang teratur. Sediakan buah yang sepanjang tahun terdapat, misalnya pisang, pepaya atau nanas. Namun untuk buah disebut terakhir ini, ingat dengan kandungan oksalat jika tubuh Anda berbakat membentuk kristal batu yang menyumbat saluran *urethra* sebaiknya dihindari buah tersebut, atau jika memang sangat menyukai,

jangan lupa juga untuk mempelajari lebih lanjut bagian dari jenis tumbuhan lain sebagai penawar atau penetralnya.

B. EKONOMI

Ekonomi berkaitan dengan eksploitasi sumber daya alam berkembang sejalan peradaban manusia. Ada dua sistem ekonomi yang kita kenal saat ini. *Pertama* adalah sistem *ekonomi liberal*, atau ekonomi bebas, yaitu ekonomi yang berkembang ketika jumlah manusia masih jarang dan ketersediaan ruang terbuka masih luas. *Kedua* adalah *ekonomi ramah lingkungan*, yaitu ekonomi yang berkembang ketika manusia sadar bahwa alam lingkungannya memberikan jumlah sangat terbatas sehingga memaksa manusia untuk dapat hidup harmonis dengan alam sekitarnya termasuk keserasian dengan pencemaran yang terjadi.

Ekonomi liberal, dikenal sebagai "ekonomi koboi", berkembang di belahan dunia Barat, US karena masuknya pemodal Eropa yang berinovasi ke Amerika. Mereka melihat sumber daya alam sangat luas, belum dimanfaatkan dan sumber daya manusia masih sangat jarang. Padang rumput luas atau *prairie* dengan sebutan surga emas hijau merupakan pabrik daging alami, tempat mereka menggembalakan sapi. Perpindahan dari satu tempat ke tempat lain, menaiki dari satu bukit ke bukit lain menempatkan mereka menjadi orang berduit dan kaya. Dalam jangka waktu 6 tahun, dari modal yang diinvestasikan sebesar US 25 000 memberikan keuntungan bersih (*net profit*) sebesar US 51 378 atau lebih dari 200 % selama enam tahun. Berarti lebih dari 33% keuntungan per tahun dapat diperoleh dari sistem penggembalaan sapi berpindah ini.

Demikian pula di tempat baru, pada kondisi ini, baik pemerintah maupun masyarakat memandang bahwa sumber daya alam adalah tidak terbatas. Produktivitas tanah, padang rumput yang luas, kualitas air yang baik, deposit batu bara dan minyak, kayu atau sumber daya kehidupan liar tampak semua tidak terbatas.

Ciri kedua ekonomi liberal, adalah menganggap bahwa sumber daya lingkungan, baik tanah, udara, aliran sungai ataupun lautan adalah sebagai tempat membuang limbah masyarakat yang juga tidak terbatas. Kemudian, hasil ekskret baik manusia maupun ternak sapi boleh dibuang ke dalam aliran sungai atau danau, setiap hari tanpa menurunkan kualitas air. Orang tua dahulu percaya bahwa setelah 10 *mile* aliran tersebut mampu membersihkan dirinya sendiri.

Sistem ekonomi liberal sampai saat ini masih banyak dilakukan sekalipun dampak buruk lingkungan terjadi. Ciri menonjol dari sistem ekonomi ini adalah sebagai berikut.

1. Pengurangan sumber daya terjadi sangat cepat.
2. Hasil produksi sebagian besar bahan mentah.
3. Jangka hidup produk singkat.
4. Akumulasi limbah cepat dan banyak.

Menurut pandangan ini, sebagai ekonomi terbuka tidak dapat bertahan dalam jangka panjang sebelum sumber daya habis dan terjadi polusi lingkungan yang berat karena secara bersamaan terjadi pengurangan sumber daya energi yang mengiringi habis dan timbul malapetaka di tengah masyarakat maupun terhadap lingkungannya.

Walaupun demikian, perusahaan besar sering melanjutkan tipe ekonomi ini tanpa memperhatikan penderitaan masyarakat. Banyak pakar ekonomi percaya bahwa sistem ini tidak dapat dilakukan tanpa batas, tetapi mereka ragu untuk mengakhirinya. Sistem ekonomi ini mengukur kemajuan dengan nilai GNP (*Gross National Product*). GNP didefinisikan sebagai jumlah total pengeluaran, baik oleh pemerintah maupun individual untuk barang, jasa atau investasi.

Masyarakat perbankan, industri sangat peduli terhadap fluktuasi nilai GNP ini. Jika GNP meningkat mereka sangat senang, tetapi sebaliknya jika menurun. Walaupun demikian, perlu diperhatikan bahwa ukuran GNP sangat bermanfaat untuk menilai laju aliran barang melalui sistem ekonomi, sekalipun *tidak valid untuk mengukur kualitas hidup* yang selanjutnya bermuara pada kesejahteraan manusia.

Apakah arti nilai GNP bagi masyarakat gelandangan kota, mengais sampah untuk makan? Bagi pekerja bangunan yang mengidap asbestosis dalam paru-parunya? Kekeliruan mengukur GNP bagi kualitas hidup manusia telah diingatkan oleh Robert Kennedy, yang menyatakan bahwa GNP termasuk polusi udara, iklan rokok dan ambulans di jalan tol, termasuk kunci pintu khusus maupun sel di penjara yang ingin didobrak orang. GNP mencakup perusahaan hutan (*redwood* di AS) dan kehancuran danau (*Lake Superior* di AS).

Ekonomi ramah lingkungan, atau dikenal "ekonomi spaceman", muncul sebagai akibat ketidakpuasan terhadap ekonomi *koboi* yang hanya menitikberatkan pada hubungan produksi dan konsumsi serta aliran antara keduanya. Ekonomi ramah lingkungan, mengharapkan adanya keharmonisan

dalam sumber daya yang terbatas dan pencemaran yang timbul dalam ruang bumi di mana kita berada.

Sebagai gambaran menarik, perhatikan perjalanan ruang angkasa seorang astronot dengan pesawat ruang angkasa yang dilengkapi sistem daur ulang biologi berikut ini. Perjalanan ruang angkasa yang panjang, berbulan-bulan tidak memungkinkan membawa semua makanan untuk pulang pergi karena menghabiskan ruang untuk menyimpan limbah buang manusia. Oleh sebab itu, diupayakan mendaur ulang ekskret astronot menjadi makanan yang berguna.

Nitrogen dan fosfor dalam ekskret astronot dapat digunakan untuk memupuk dan memproduksi algae pada medium penyerap air. Astronot dapat memanen algae tersebut untuk dimakan atau memanen ikan, siput atau unggas yang memakan algae tersebut. Terjadi rangkaian siklus yang kontinu untuk hara nitrogen dan fosfor dari astronot ke algae, ikan dan astronot, demikian seterusnya. Secara teoretis tidak ada hara nitrogen dan fosfor yang hilang atau terbuang.

Perlu dicatat di sini bahwa algae selama proses fotosintensis menghasilkan O_2 yang diperlukan oleh astronot untuk respirasi agar tetap bertahan hidup. Sementara hasil pernapasan astronot CO_2 diperlukan algae sebagai bahan dasar dalam fotosintesis. Proses siklus ini berulang terjadi.

Walaupun demikian berdasarkan hukum termodinamika bahwa hara mineral dapat secara berulang terdapat dalam siklus, tetapi energi tidak demikian. Tidak pernah ada siklus energi, yang ada adalah aliran energi. Dengan demikian, dalam pesawat ruang angkasa di atas diperlukan energi yang kontinu mengalir, yang hilang sebagai panas perlu digantikan. Energi ini berasal dari sinar matahari yang selain diperlukan oleh algae atau yang dikonversi sel baterai menjadi energi listrik yang diperlukan oleh pesawat ruang angkasa tersebut, baik untuk penerangan maupun sumber kekuatan menembus dan mengarungi ruang angkasa selanjutnya.

Karakter ekonomi ramah lingkungan yang menonjol dan berbeda dengan ekonomi kobo adalah kenyataan bahwa sumber daya pada sistem ini sangat ekstrim terbatas dan adanya reservoir untuk mengakomodasi polusi atau limbah. 4 karakter perlu diperhatikan berikut ini.

1. Sistem ekonomi ramah lingkungan, menggunakan energi dan material dalam jumlah sedikit untuk produksi.
2. Produk dihasilkan memiliki jangka hidup panjang.
3. Menghasilkan volume limbah sedikit.
4. Proses daur ulang limbah berlangsung secara ekstensif.

Komponen tersebut membuat sistem tertutup dalam ekonomi ramah lingkungan sementara pada ekonomi liberal atau ekonomi koboi, sebaliknya menjadi sistem terbuka. Sistem ekonomi koboi memiliki ciri-ciri berikut ini.

1. Memerlukan jumlah energi dari material yang besar untuk produksi.
2. Menghasilkan produk dengan jangka hidup pendek.
3. Menghasilkan volume limbah yang besar.
4. Tidak ada daur ulang limbah.

C. LINGKUNGAN

Lingkungan merupakan ruang di mana terdapat faktor biotik dan abiotik yang berinteraksi membangun sistem ekologi. Habitat merupakan alamat di mana suatu organisme ditemukan sementara relung ekologi adalah kesatuan dari peran dan fungsi sistem ekologi yang dimiliki oleh suatu organisme dalam habitatnya.

Dalam pembangunan kajian sebuah proyek diawali dengan membuat Kajian AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) mengkaji ekosistem tersebut melalui aspek fisika, kimia, biologi dan ekonomi sosial budaya masyarakat setempat yang terlibat dalam pembangunan. Kerusakan atau perubahan saat ini adalah memberikan dampak negatif seminimum mungkin, dan memberikan dampak positif lebih besar bagi kesejahteraan manusia yang sejajar dengan usaha melestarikan alam lingkungannya. Lingkungan saat ini dipinjam dari generasi mendatang untuk kesejahteraan manusia yang harus dikembalikan pada generasi ke depan dengan kerusakan seminimum mungkin. Secara lestari lingkungan memberikan kehidupan yang lebih baik.

Kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari kondisi lingkungan. Kesejahteraan hidup manusia merupakan cerminan kegiatan manipulasi alam di sekitarnya. Kecermatan mengelola sumber alam menjadi penyedia kebutuhan manusia secara *lumintu* menentukan kualitas hidup untuk saat ini dan masa mendatang. Lingkungan hidup sehat mempunyai ciri-ciri sebagai berikut.

1. Memiliki ruang cukup bagi pertumbuhan dan pergerakan.
2. Udara dalam jumlah cukup dan banyak oksigen.
3. Memiliki cukup air untuk metabolisme.
4. Terdapat garam biogenik dan cukup mineral.
5. Tersedia energi untuk proses kehidupan.
6. Bersih.

Kebutuhan manusia terhadap rumah tinggal, telah terjadi perubahan yang nyata. Di pedesaan ruang diperlukan untuk hidup nyata, sebagai parameter terukur nyata adalah rumah tinggal - pemukiman, keadaannya jauh lebih luas halaman dan juga bangunannya dibanding masyarakat perkotaan. Hal demikian karena terkait dengan sistem ekonomi pedesaan; sumber bahan mentah (padi) memerlukan tempat yang besar ketika sehabis panen dan proses dalam pengeringannya. Sementara di kota, bukan dalam bentuk padi, tetapi beras.

Mereka yang hidupnya selalu bermobil AC, akan mengalami kelelahan akibat kerja pembuangan toksin dan garam tubuh tidak berjalan sempurna, akhirnya akan menderita kekurangan air atau cairan tubuh, menjadi tidak sehat dan hidup tidak mencapai umur yang panjang. Awam akhirnya menyebut sebagai kurang olahraga, dan sehari-hari badan kurang berkeringat karena selalu dalam kondisi sejuk.

Air juga diperlukan untuk pembersih tubuh. Garam biogenik diperlukan dalam metabolisme tubuh. Baik sebagai katalisator maupun sebagai penyangga dalam sebuah reaksi kimia. Kekurangan garam tertentu dapat memicu munculnya penyakit. Dalam proses sehari-hari kita perlu cukup kalori, untuk dapat melakukan aktivitas dengan baik. Jika kurang makan, tidur pun menjadi sulit adalah fenomena yang kita hadapi sehari-hari. Cukup makan tidur menjadi pulas dan bangun tidur tubuh terasa segar, karena terjadi penggantian sel rusak atau aus dengan sel-sel yang baru jika cukup asupan energi dan air yang mengandung vitamin dan hormon diperlukan tubuh kita.

Bersih dan pada tempatnya, "*clean and the right place*". Perhatikan lingkungan Anda, kota dan desa. Sampah ada di mana-mana pada kondisi perkotaan lebih dominan. Sementara desa dengan alam masih luas, naturalis, lingkungan mampu membersihkan dirinya sendiri. Sampah yang dikubur di halaman meningkatkan kandungan organik tanah, daya serap dan daya simpan air dalam lingkungan tersebut. Maka, tidaklah heran jika di pedesaan dengan alam yang masih asri akan terasa lebih sejuk dibanding di perkotaan, sekalipun di halaman rumah kota juga ditemukan beragam tanaman dalam taman.

Perilaku kota membuang sampah di sungai karena sungai mampu membersihkan dirinya sendiri setelah 16.090 m (10 mil) adalah juga salah karena jumlah pasokan sampah yang besar pada akhirnya tidak sebanding dengan perkembangan populasi dekomposer di alam tersebut.

Problem ini menjadi umum terjadi pada kota metro atau megapolitan di masa akan datang. Eutrofikasi sistem terjadi dan campur tangan teknis biologis perlu dikedepankan untuk menyelesaikan masalah tersebut. *Desain engineering*

akan sangat mengefisienkan proses alamiah yang berlangsung lama menjadi lebih cepat dan akan menjadi lebih efektif melihat hasil kerja dalam volume besar tersebut menjadi produk lebih beraneka ragam.

Hasil sampah organik kota, bukan hanya sebagai sumber pupuk bagi pertanian organik (kurang efisien ditangani), tetapi ekstrak asam humik dengan cara dingin lebih dominan, lebih efisien dan efektif, mudah disimpan dan transportasi untuk mendukung kegiatan pertanian yang dikondisikan, kita perlu kembali ke alam. "*back to nature*" di masa depan.

Bersih dan sehat lingkungan, ramah lingkungan berarti terbentuknya siklus biogeokimia yang tertutup. Bersama aliran energi terjadi siklus hara mineral yang baik antarkomponen penyusun lingkungan, dari produser, herbivora, karnivora dan top karnivora. Manusia meletakkan dirinya dalam sistem tersebut sebagai *omnivora* atau sebagai *vegan*; *lakto vegan* atau sebagai *ovo vegan*. Dekomposer dan transformer bekerja menyambung rantai siklus tersebut dapat menutup kembali, menjadi sistem yang lumintu, berkesinambungan sepanjang waktu, dari generasi ke generasi yang lain.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan perbedaan antara individu, populasi dan komunitas, dan jelaskan sifat-sifat dari individu yang dibawa ke dalam populasinya!
- 2) Jelaskan tentang faktor intrinsik bagi perkembangan sebuah populasi!
- 3) Apa yang Anda ketahui tentang migrasi bagi sebuah populasi?
- 4) Jelaskan perkembangan populasi dunia sejalan dengan pendapat pakar ekonomi Inggris, Robert Malthus, 1798!
- 5) Jelaskan tentang *Kwok's disease* atau "Chinese Restaurant Syndrome"!
- 6) Jelaskan tanda dari penyakit *Kwashiokor*! Di mana banyak ditemukan?
- 7) Bedakan sistem ekonomi *koboi* dan *spaceman* atau sistem liberal dan sistem ramah lingkungan!
- 8) Apa arti dari pernyataan "*Life begin at forty*"? Dan jelaskan pula pengertian lingkungan yang sehat itu!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, perlu dipahami batasan masing-masing dan perhatikan tahapan kehidupan individu yang akhirnya terbawa ke dalam batasan populasinya. Misalnya, individu lahir, pada populasi ada angka kelahiran ... dan seterusnya.
- 2) Faktor intrinsik berasal dari dalam populasi itu sendiri, ditunjukkan oleh selisih besar dari laju kelahiran dan kematian sehingga berdasar perkembangannya akan dapat dilihat bertambahnya individu semakin banyak atau akan terjadi kepunahan dalam populasi tersebut. Perhatikan perkembangan suku Indian penduduk asli Amerika Serikat atau suku Aborigin di Australia yang berkembang ke arah negatif, sementara penduduk dunia lainnya umumnya berkembang ke arah positif, yaitu semakin banyak.
- 3) Migrasi dapat positif, tetapi dapat pula negatif, tergantung pada arah datang atau masuknya individu atau keluarnya individu tersebut. Imigrasi perkembangan populasi menjadi positif karena mendapat tambahan dari luar, sedang emigrasi menjadikan perkembangan populasi negatif karena individu meninggalkan populasinya.
- 4) Coba kaji perkembangan populasi dan ketersediaan pangan bagi populasi tersebut. Deret ukur dan deret hitung dalam perkembangan penduduk dan ketersediaan pangan akan terjadi kesenjangan atau *gap* sehingga akan terjadi kelaparan dunia, penyakit endemik, peperangan atau terorisme menuju pada keseimbangan baru bagi pemenuhan kebutuhan pangan tersebut. Revolusi hijau pertanian atau revolusi biru kelautan ataupun Keluarga Berencana pada hakikatnya adalah mempersempit kesenjangan dari perkembangan di atas.
- 5) Penyakit akibat kebanyakan takaran atau lewat dosis penggunaan MSG dalam makanan, setelah menghabiskan makanan tersebut, kepala akan terasa pusing atau tenggorokan merasa sangat haus, muka pengab atau kulit tebal dan dada/rusuk terasa ngilu. Penyakit ini disebut juga *Chinese Restaurant Syndrome* karena awalnya diketahui muncul setelah makan di restaurant yang menggunakan MSG lewat takaran.
- 6) *Kwashiorkor*, penyakit di negara berkembang kebanyakan menyerang balita akibat malnutrisi dan gizi pada anak-anak, kahat atau kekurangan protein. Tanda umum penyakit ini sebagai akibat malfungsi sistem pencernaan, timbul gatal pada kulit, perut membuncit diikuti busung atau

- pembengkakan, lemah anggota badan (kaki dan tangan), lemas tubuh, rentan infeksi.
- 7) Coba pahami perkembangan ekonomi liberal di Amerika Serikat dari perpindahan bangsa Eropa untuk mencari kehidupan lebih baik, bagaimana mereka mendesak kehidupan Bison dan menggantikan padang rumput tersebut dengan penggembalaan ternak sapi, baik untuk daging ataupun susunya. Perhatikan perbedaan yang muncul ketika mereka sadar adanya keterbatasan alam dan berkembangnya teori *spaceman* ekonomi, atau ekonomi ramah lingkungan yang kita kenal saat ini. Perhatikan produk dan sistem daur ulang yang terjadi dalam sistem ekologiannya untuk mendapat manfaat ekonomi bagi kesejahteraan masyarakatnya.
 - 8) Perhatikan filosofi kehidupan tersebut, pada umur demikian biasanya karier sedang mulai menanjak dan sikap kerja keras, diikuti penuaan yang tidak Anda sadari, penyakit mulai mengancam, seperti diabetes, asam urat, mulai kelihatan bagi yang berbakat, penyakit jantung sebagai pembunuh tersembunyi, semua bermula dari hidup yang tidak sehat, umur menjadi tidak lebih panjang akibat banyaknya penyakit yang di derita.



RANGKUMAN

Individu, populasi dan komunitas merupakan struktur organisasi kehidupan dalam sebuah ekosistem. Individu dapat dibedakan dari jenis satu terhadap jenis lainnya. Individu merupakan unit kehidupan lengkap yang kita kenal sehari-hari merupakan hasil evolusi kehidupan biologi, yang digunakan dalam sistem konservasi dan pengawetan sumber daya alam bagi kesejahteraan manusia masa kini maupun bagi generasi mendatang.

Perubahan populasi terjadi karena pertumbuhan diakibatkan oleh perbedaan laju kelahiran dan kematian dalam populasi itu sendiri, atau oleh faktor intrinsik yang dikoreksi oleh laju migrasi, baik emigrasi maupun imigrasi. Imigrasi penambahan populasi positif karena dari luar masuk menjadi anggota populasi, sementara emigrasi penambahan menjadi negatif karena anggota populasi ke luar dari populasi tersebut.

Daya dukung lingkungan adalah faktor pembatas jumlah populasi layak hidup optimum dengan ruang dan makanan tersedia. Populasi bergerak di sekitar daya dukung, sementara resistensi lingkungan merupakan faktor koreksi dari pertumbuhan mengikuti persamaan geometrik menjadi kurva logistik atau sigmoid akibat adanya daya dukung

tersebut. Indeks ini menunjukkan besarnya ruang dan makanan yang belum termanfaatkan menuju daya dukung optimum.

Penduduk dunia berkembang menurut deret ukur, sementara ketersediaan pangan menurut deret hitung, sesuai pendapat pakar ekonomi dari Inggris, Robert Malthus, 1798. Implikasi hal ini adalah terjadinya kesenjangan sehingga terjadi kelaparan, peperangan dan penyakit di mana-mana merupakan usaha menuju penyeimbangan kembali ke dalam ekosistem yang bersifat dinamis dan stabil.

Sistem ekonomi liberal atau sistem kobo menganggap sumber daya alam tidak terbatas, dapat dimanfaatkan sesuka manusia; alam mampu membersihkan diri sendiri sehingga tidak perlu memperhatikan sistem daur ulang adalah langkah ekonomi dalam pembangunan awal. Namun kemudian timbul adanya kesadaran terhadap keterbatasan alam dan perlunya sistem daur ulang untuk tindakan yang lebih efisien, manusia mengenal sistem ekonomi *spaceman* atau sistem ekonomi ramah lingkungan.

Lingkungan sehat bagi kehidupan adalah terdapat adanya ruang dan tempat yang cukup bagi pertumbuhan dan pergerakan, udara cukup oksigen, jumlah air cukup bagi metabolisme, terdapat garam biogenik dan tersedia energi cukup bagi proses kehidupan serta bersih dan pada tempatnya; kemudian ADS (Atur Diri Sendiri) keseimbangan dalam mikrokosmik untuk memperoleh kehidupan sehat dan umur yang panjang, masa produktif lebih panjang dan bermanfaat bagi sesama dan lingkungannya.

Kehidupan kembali ke alam, "*back to nature*" dalam bidang kesehatan adalah "*back to medicinal herbs*" merupakan pilihan manusia yang sadar akan kehadiran di muka bumi ini bahwa "tiada kehidupan tanpa tumbuhan" sebagai kunci keberhasilan berlangsungnya ekosistem.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Individu dalam sebuah populasi merupakan anggota yang
 - A. memiliki sifat serupa tetuanya
 - B. berjenis kelamin sama
 - C. terdiri hanya sebagai laki-laki atau wanita
 - D. memiliki sifat sesuai ibunya

- 2) Pertumbuhan populasi geometrik karena
 - A. tersedia ruang tidak terbatas
 - B. tersedia makanan yang tidak terbatas
 - C. tersedia ruang dan makanan tidak terbatas
 - D. ada predator atau parasit, tetapi tidak berfungsi

- 3) Kurva pertumbuhan logistik terjadi karena
 - A. terdapat daya dukung (K) yang belum optimum
 - B. melampaui daya dukung (K)
 - C. masih di bawah daya dukung (K)
 - D. ada resistensi lingkungan agar dapat menuju daya dukung optimum

- 4) Sistem ekonomi liberal atau sistem *koboi* adalah sistem ekonomi yang beranggapan bahwa alam di sekitar kita
 - A. berkemampuan tidak terbatas
 - B. produk berupa *raw material* dan pemborosan
 - C. tidak memperhatikan sistem daur ulang
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 5) Sistem ekonomi ramah lingkungan atau sistem *spaceman* adalah sistem ekonomi yang beranggapan bahwa alam di sekitar kita
 - A. berkemampuan sangat terbatas
 - B. produk berupa bahan jadi dan lebih efisien
 - C. sangat memperhatikan sistem daur ulang
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 6) Lingkungan sehat adalah lingkungan yang mempunyai ciri sebagai
 - A. ketersediaan ruang gerak dan pertumbuhan cukup
 - B. terdapat oksigen, air dan garam biogenik cukup
 - C. terdapat energi kehidupan cukup dan bersih serta pada tempatnya.
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 7) Apabila ingin sehat dan panjang umur, harus memperhatikan
 - A. siklus biogeokimia melibatkan diri kita dan sering minum jamu nabati
 - B. ADS melalui mutih, ngalong, dan ngidang
 - C. seperti no 7.b ditambah dengan memperhatikan pala pendem dan pala kasimpar
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 8) *Life begin at forty* adalah pepatah yang dalam kehidupan memberi gambaran yang,
- A. tidak cocok dengan budaya Indonesia
 - B. sangat cocok dengan budaya Indonesia
 - C. mengingatkan agar hidup hati - hati mulai pada umur 40 tahun
 - D. memacu kembali ke alam "*back to nature*" dan "*back to medicinal herbs*" di wilayah tropis.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Keterkaitan Manusia, Ekonomi, dan Lingkungan

Keterkaitan manusia, ekonomi, dan lingkungan merupakan sisi lain guna melihat faktor yang harus dipertimbangkan dalam konservasi sumber daya alam yang berhubungan dengan peningkatan angka kematian, penurunan potensial biotik dan usaha-usaha meningkatkan produksi pangan. Pemikiran jangka pendek kelompok etnosentris, mengabaikan pola pemikiran ekosentris di mana manusia sangat bergantung kepadanya. Kerawanan sistem ekologi yang terabaikan, penurunan struktur dan fungsi dalam ekosistem merupakan akar masalah yang harus dicermati.

Berdasar kemampuan menguasai teknologi informasi lingkungan dan pengadaan sejumlah input yang perlu untuk proses produksi, manusia mampu memanen sejumlah produk bagi kehidupannya. Peningkatan kesejahteraan hidup dari waktu ke waktu, dari satu generasi ke generasi berikutnya dilakukan secara berkesinambungan.

Untuk meningkatkan kesejahteraan hidup, manusia sangat bergantung pada sistem ekologi lingkungan. Sistem ekologi lingkungan tersebut diperlukan untuk memenuhi kebutuhan primer berupa pangan, sandang, papan atau rumah tinggal. Lingkungan juga berfungsi memenuhi kebutuhan sekunder, yaitu kegiatan berpolitik, ekonomi, sosial-budaya dan pertahanan menuju rasa aman (poleksosbudhankam) dari masyarakat tersebut.

Homeostasis lingkungan dinamis terjadi melalui peningkatan mortalitas, penurunan potensial biotik dan peningkatan produksi pangan. Peningkatan mortalitas melalui cara "mabiki" bagi masyarakat Jepang pada abad pertengahan merupakan gambaran pertemuan dari kekuatan positif melalui potensial biotik dan kekuatan negatif melalui resistensi lingkungan. Penjarangan kelahiran model ini juga terjadi pada perkembangan makhluk hidup yang lain, misalnya pada hewan predator dan mangsanya.

Peristiwa ini merupakan rangkaian mengatasi kesenjangan dari perkembangan manusia dan kemampuan sumber daya alam menyediakan pangan bagi manusia. Peperangan di mana-mana; kelaparan dan malnutrisi merupakan bentuk lain menuju pada homeostasis lingkungan baru.

Pengendalian pencemaran dilakukan pemerintah bersama masyarakat agar dapat mampu mencermati regulasi langsung melalui undang-undang, pemberian subsidi dan membayar harga polusi menuju lingkungan bersih. Apabila pengendalian pencemaran dilakukan dengan baik maka masyarakat sekitar industri akan hidup lebih sehat dan sejahtera.

Lingkungan dunia menjadi perhatian masyarakat dan melalui banyak konferensi telah dibahas sejak 1990 di Washington DC (KTT lingkungan, The Interparliamentary Conference on the Global Environment, memberi rumusan tentang *population growth* dan *sustainable development*). Lanjutan pada KTT bumi 1993 di Rio de Janeiro, Brazil (The United Nation Conference on Environment and Development), memuat prinsip menjelaskan hubungan manusia dan lingkungan dengan pembangunan, mewujudkan pembangunan berkelanjutan dengan pola produksi dan konsumsi yang tidak berkelanjutan harus dihilangkan dan menerapkan kebijakan di bidang demografi). Tahun 1997, KTT bumi + 5 di New York dan 2002, KTT bumi + 10 di Johannesburg.

A. KETERKAITAN MANUSIA, EKONOMI, DAN LINGKUNGAN

Peradaban semakin maju memerlukan lebih banyak hasil panen atau peningkatan produk hasil dari sumber daya alam di sekitarnya. Pada lingkungan alam yang masih tradisional, aktivitas manusia sepanjang hari lebih dominan mencukupi kebutuhan primer, sementara dalam peradaban lebih modern, kebutuhan primer menjadi secukupnya dan kebutuhan sekunder menjadi lebih dominan sepanjang kehidupan.

Perkembangan peradaban manusia bergerak dari pola ekosentris menjadi etnosentris. Manusia sangat bergantung pada alam kemudian menjadi lebih dominan bergantung pada teknologi informasi, yaitu untuk memenuhi kebutuhan manusia itu sendiri.

Sepanjang pengelolaan sumber daya alam lingkungan, tindakan manusia banyak dilakukan untuk memenuhi tujuan pemikiran jangka pendek. Sebagai akibatnya banyak terjadi peristiwa malapetaka pada hakikatnya akan menghancurkan populasi manusia itu sendiri di planet bumi ini.

Kasus kelaparan terjadi di mana-mana. Banjir dan kekeringan silih berganti. Polusi atau pencemaran, baik yang terjadi di udara, air dan tanah merupakan peristiwa yang tidak asing bagi kita, mudah dijumpai sehari-hari. Peristiwa demikian merupakan umpan balik atau cerminan dari tindakan manusia yang kurang peduli lingkungan, yakni bagaimana mereka mengelola sistem ekologi di

sekitarnya? Walaupun demikian, fenomena alam seperti ini merupakan proses yang memerlukan waktu cukup panjang terjadi dalam dekade ataupun tahunan.

Peristiwa dapat balik atau pulih kembali maupun peristiwa lain yang tidak pulih, pada akhirnya menyebabkan sistem alam tidak produktif. Dengan kata lain, produktivitas menurun setelah terjadi eutrofikasi atau pendangkalan dan pemiskinan energi dalam ekosistem tersebut.

Hanya dengan kemauan dan kerja keras, manusia menyediakan asupan teknologi yang tepat. Kemudian, terjadi perbaikan elemen dan proses dalam sistem ekologi alam lingkungan sehingga diharapkan akan berkembang menuju keadaan semula atau mendekati keadaan awal.

Sadar terdapat keterbatasan lingkungan, manusia harus mampu mencermati setiap tindakan yang akan dilakukan. Konsekuensi logis adalah timbul suatu kesadaran agar mampu mengkonservasi sumber daya alam. Sikap ini memandu manusia untuk berlaku bijak dalam mengelola alam lingkungan.

Manusia boleh mengambil hasil panen atau produk alam seperlunya sepanjang masa hidupnya. Namun, mereka harus mampu menjamin kualitas lingkungan tetap sama baik bagi generasi berikutnya.

Walaupun demikian, peradaban modern banyak dicirikan campur tangan manusia terhadap proses alami. Hasil campur tangan ini tidak menyebabkan lingkungan tetap sama baik, tetapi seiring perjalanan waktu, umumnya sumber daya alam tersebut semakin tercemar akibat ulah kegiatan manusia.

Proses produksi kebanyakan tidak efisien. Kegiatan ini meninggalkan sejumlah limbah buang pada lingkungan. Hal demikian terjadi karena manusia ingin memenuhi kesejahteraan hidup yang lebih tinggi sejalan perkembangan waktu.

Pemakaian bahan bakar fosil minyak bumi, menyebabkan polusi udara berkepanjangan, yaitu pengaruh gas rumah kaca meningkat. Karbon tersimpan menjadi lepas dan merupakan kehidupan manusia pada sisi lain. Walaupun demikian, mobilisasi karbon ini sangat bermanfaat bagi sebagian dari kehidupan manusia lainnya.

Peristiwa kegagalan pertanaman kapas transgenik di Sulawesi Selatan beberapa waktu yang lalu perlu mendapat perhatian serius. Jenis kapas transgenik dari satu sisi sangat bermanfaat karena produk dan sifat tahan terhadap serangan hama tertentu.

Walaupun demikian, kondisi alam tropis sangat rentan, miskin akan kesuburan tanah, suhu tinggi dan kelembaban tinggi sepanjang tahun adalah merupakan karakter khusus bagi pertanian yang perlu dicermati dengan benar.

Kapas transgenik dengan kondisi tropis seperti itu, tentu tidak dapat mengekspresikan fenotipe secara maksimum. Akibat perkembangan tidak maksimum ini maka hasil yang dapat dipastikan adalah kegagalan panen.

Peristiwa ini menjadi pelajaran berharga bagi bangsa Indonesia untuk tidak mudah percaya pada apa saja yang berasal dari negara maju. Apakah semua yang baik di negara maju, masih juga akan tetap baik jika ditanam di negara kita, yang beriklim tropis seperti ini?

Pencemaran atau adanya polutan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan perlu dicermati dengan baik. Alam tropis dengan karakternya sendiri apakah mampu berdampingan dengan peristiwa tersebut.

Metode pengendalian pencemaran yang ada pada saat ini dikenal sebagai metode regulasi langsung melalui UU, metode subsidi, dan metode membayar harga polusi. Penerapan ketiga metode tersebut perlu kesadaran dan kepedulian masyarakat. Baik dari masyarakat sekitar terkena dampak langsung maupun dari mereka yang jauh tempat tinggal atau para pemerhati lingkungan.

Metode regulasi langsung melalui UU, dicirikan adanya standar baku yang menetapkan ambang batas tidak boleh dilampaui. Lebih besar dari nilai ambang batas ini akan menurunkan kualitas lingkungan sehingga untuk itu masyarakat perlu memantau lingkungannya secara benar.

Keberhasilan metode ini, bagi pemilik sumber dampak terhadap lingkungan, umumnya mereka mencermati nilai ekonomi dan menimbang suasana politik menghindari hukuman dari badan pengendali lingkungan.

Pembatasan bahan pencemar dalam undang-undang hanya efektif jika didukung masyarakat. Tanpa dukungan dan kritisi masyarakat, terutama dari warga setempat, kerap kali aturan tersebut tidak berjalan baik di kalangan industri maupun perusahaan publik.

Metode subsidi, diberikan pemerintah pada industri peduli lingkungan. Subsidi ini diberikan untuk menurunkan emisi bahan pencemar dalam kegiatannya. Oleh karena investasi peralatan bersih lingkungan sangat mahal baik terhadap instalasi *processing* limbah cair maupun cemaran udara.

Perusahaan sangat memperhatikan pengeluaran biaya ekonomi jangka pendek yang harus menjadi beban, seperti biaya pemasangan dan pengadaan instalasi pengolah limbah adalah sangat mahal dan masih sangat besar bagi pengeluaran sebuah perusahaan.

Sekalipun sebenarnya perusahaan sadar dan mau memproses limbah dari kegiatan hasil industri, namun mereka masih menghitung untung dan ruginya.

Selanjutnya, sebagai jalan tengah, perusahaan diberi subsidi oleh pemerintah selama kurun waktu tertentu untuk melaksanakan kegiatan bersih lingkungan.

Selanjutnya, investasi peralatan *processing* limbah diberi fasilitas bebas pajak selama periode tertentu sehingga perusahaan dapat melakukan investasi peralatan dan mengoperasikan instalasi pengolah limbah, baik terhadap emisi udara atau *processing* limbah cair dari perusahaan tersebut.

Metode membayar harga polusi. Dalam metode ini setiap perusahaan yang mencemari perairan atau badan air dikenakan harga yang harus dibayar. Harga ini sebanding dengan perubahan kualitas lingkungan yang diukur.

Perusahaan A membuang limbah bahan cemaran ke badan air, kemudian perusahaan B juga demikian, dan diikuti oleh perusahaan C, D, E, dan seterusnya. Masing-masing perusahaan dikenakan harga yang harus dibayar sesuai dengan besarnya pencemaran yang mereka buang dan menyebabkan polusi atau pencemaran ekosistem setempat.

Pada prinsipnya, semakin besar bahan limbah dibuang (konsentrasi x debitnya) semakin besar pula perusahaan ini harus membayar. Untuk kegiatan demikian perusahaan harus memperhitungkan biaya sosial (*social cost*), seperti contoh banyak kematian ikan yang terjadi, kondisi air semakin bau, kekeruhan meningkat dan hilangnya sebuah keindahan atau estetika.

Besaran ini umumnya sudah dihitung atau dimasukkan ke dalam biaya rutin yang mencakup *raw material*, tenaga kerja, pemasaran, bahan bakar fosil, listrik, asuransi yang secara tradisional termasuk ke dalam pos dari biaya operasional kegiatan perusahaan.

B. UPAYA MENANGGULANGI MASALAH-MASALAH KEPENDUDUKAN

Upaya menanggulangi masalah kependudukan, khususnya timbul kelaparan atau kekurangan pangan di masyarakat adalah terjadi perubahan besar atau ukuran populasi menuju batas jumlah keseimbangan baru. Homeostasis lingkungan terjadi sebagai akibat peningkatan angka mortalitas, pembatasan daya reproduksi atau kemampuan melahirkan dan yang ketiga adalah usaha meningkatkan produksi pangan.

1. Peningkatan Mortalitas

Besarnya populasi suatu jenis kehidupan tergantung pada interaksi dua kekuatan antagonistik. Kekuatan ini terwujud sebagai kekuatan positif

organisme, yaitu sebagai *potensial biotik* dan sebagai kekuatan negatif dari lingkungan, yang kita kenal dengan istilah *resistensi lingkungan*.

Dua kekuatan ini secara alamiah bekerja menuju keseimbangan, yaitu ke arah daya dukung optimal. Ketika jumlah individu semakin besar dalam populasi sebagai akibat signifikan perubahan potensial biotik maka pada akhirnya akan terjadi penurunan jumlah populasi. Penurunan berakhir pada keadaan keseimbangan dinamis dari jumlah individu dalam populasi terhadap ketersediaan makanannya. Peperangan, kanibalisme, dan pembatasan kelahiran merupakan kegiatan untuk menurunkan jumlah populasi manusia.

Sebagai contoh, pembatasan kelahiran masyarakat suku dari kepulauan Pasifik Selatan. Mereka makan protein ikan terbatas atau diet. Kondisi ini terjadi karena jumlah dan jenis ikan yang ditangkap dari laut sekitarnya tidak serta merta seragam dan kontinu sepanjang waktu dari tahun ke tahun.

Di samping jumlah dan jenis ikan cenderung berfluktuasi tergantung pola interaksi faktor lingkungan. Maka, ketika berada pada periode tahun sempit, mereka melakukan pembatasan kelahiran untuk melindungi *stock* pangan mereka yang sedikit dan terbatas.

Kejadian serupa terjadi di Jepang, di mana hanya tersedia seperenam hektar lahan dapat diolah setiap penduduk. Petani miskin negeri ini, sekurangnya sampai tahun 1868 melakukan praktik pembatasan kelahiran untuk menjamin ketersediaan pangan yang cukup agar mereka dapat bertahan hidup. Masyarakat Jepang menyebut sebagai "*mabiki*". Istilah ini secara harfiah berarti penjarangan.

2. Penurunan Potensial Biotik Manusia

Manusia mempraktikkan beragam metode penjarangan kelahiran sudah sejak Sebelum Masehi. Dokumen papyrus Mesir yang ditemukan pada 5000 tahun Sebelum Masehi menjelaskan tentang kontrasepsi.

Banyak metode telah dicoba orang zaman dahulu, seperti memberikan penghalang pada vagina yang dibuat dari produk alami, seperti wool atau serat dengan kombinasi madu, cuka, minyak oles. Memasang selaput tipis atau membran dari hewan, khususnya gelembung (*bladder*) telah digunakan sebagai kondom oleh laki-laki maupun perempuan pada beberapa abad yang silam.

Minuman keras dicampur tumbuhan liar (jamu, gulma), kulit dan bagian hewan. Minuman ini sering diperkaya dengan rempah memabukkan dan banyak dikonsumsi masyarakat serta dipercaya mampu mencegah kehamilan.

Manusia melakukan praktik beragam metode penjarangan kelahiran, seperti menanggukkan usia perkawinan; sikap moral; metode ritmik; kontrasepsi kimiawi, kontrasepsi mekanik, sterilisasi dan aborsi atau pengguguran janin.

a. Penanggukan usia perkawinan

Penanggukan usia perkawinan, merupakan usaha menurunkan laju kelahiran populasi manusia. Hal yang berpengaruh bagi bangsa dengan tempat tinggal berbeda adalah lingkungan. Misalnya, tingkat kesuburan tanah, yang akan berimplikasi pada produktivitas lahan. Selain itu, musim pertumbuhan yang panjang juga menentukan besar populasi manusia.

Setiap faktor dalam tindakan pengelolaan sumber daya alam berakhir pada tingkat kesejahteraan ekonomi. Kegiatan ini sangat menentukan laju kelahiran dalam sebuah populasi. Setiap perbedaan yang terjadi menentukan tingkat kesejahteraan ekonomi.

Pada awal abad 20-an, rataan umur, pasangan pengantin perempuan dan laki-laki di Inggris Utara masing-masing 26 dan 32 tahun. Sementara di Amerika Serikat, masing-masing adalah 19 dan 21 tahun. Banyak pasangan pengantin di Inggris Utara mengundurkan waktu perkawinan sehingga kejadian ini secara nyata akan berpengaruh pada jumlah anggota baru dilahirkan dalam keluarga ini. Ujung akhir peristiwa ini adalah menurunnya populasi manusia di komunitasnya. Demikian juga di Indonesia, setelah merdeka pada awal masa orde baru, pemerintahan presiden Suharto dengan program KB (Keluarga Berencana), kaum perempuan yang menempuh pendidikan lebih tinggi akan menunda usia ke jenjang perkawinan. Penundaan umur perkawinan pada ujungnya akan menurunkan jumlah anak dilahirkan.

Perhatikan kaum perempuan pedesaan dan perkotaan, usia menikah dini di pedesaan dan jumlah anak dilahirkan umumnya lebih banyak!

b. Sikap moral

Kecenderungan masa kini adalah memiliki jumlah anggota keluarga yang kecil. Keinginan ini terjadi hampir di seluruh bagian dunia. Pada waktu lalu, kecenderungan jumlah anak cukup tiga, tetapi akhir-akhir ini menjadi cukup hanya dua anak saja; satu laki-laki dan satu perempuan. Jika ini dicapai diharapkan terjadi "*zero population growth*" atau jumlah populasi tanpa pertumbuhan. Satu hilang akibat kematian dan satu yang lain datang akibat kelahiran.

Kondisi demikian memungkinkan memberikan kesejahteraan yang lebih baik; tingkat pendidikan yang lebih tinggi dan membuat standar kehidupan meningkat. Dalam jumlah anggota keluarga kecil kesehatan lebih terjamin dan keluarga menjadi lebih sejahtera karena mampu membelikan TV berwarna dan mobil buat anak kedua atau ketiga.

Banyak keluarga membatasi jumlah anak dilahirkan karena pertanggungjawaban moral dan peduli lingkungan setelah memperhatikan perkembangan populasi dunia di mana-mana.

c. Metode ritmik

Metode ritmik banyak dilakukan orang berdasar fakta bahwa kemampuan hidup sel telur dan sperma hanya berlangsung 2 hari setelah berada dalam *oviduct* (saluran telur) dan melewati vagina. Setelah periode ini gamet akan mati dan tidak mampu bereproduksi.

Rataan siklus menstruasi kaum perempuan adalah 28 hari, di mana pada hari ke-14 terjadi ovulasi.

Namun, pada banyak wanita terjadi pergeseran tanggal. Akibat pergeseran ini menyebabkan ovulasi terjadi lebih cepat atau lebih lambat dari hari ke-14 tersebut sehingga wanita tersebut hamil. Peristiwa ini menyebabkan "kegagalan pengendalian kelahiran", sekaligus merupakan kelemahan mendasar sistem pantang berkala.

d. Kontrasepsi kimiawi

Pembatasan kelahiran semakin maju akibat perkembangan teknologi Barat melalui penggunaan bahan kimiawi. Bahan kimia banyak digunakan untuk menjarangkan kelahiran. Bahan kimiawi untuk kontrasepsi umumnya digunakan dalam bentuk pil. Pil kontrasepsi umumnya berisi dua hormon steroid, yaitu estrogen dan progestin.

Pengaruh samping penggunaan sistem kontrasepsi ini adalah efek lain yang tidak diinginkan. Efek samping timbul seperti dirasakan kaum ibu, yaitu terjadi pendarahan (*bleeding*), perut mual, kehilangan berat badan, dan iritabilitas. Semua gejala ini pada umumnya terkait dengan kehamilan. Hal sangat serius dari pemakaian pil ini adalah efek samping berupa kematian bagi 3 orang setiap 100.000 orang yang menelan pil tersebut.

Pil kontrasepsi tipe ini harganya sangat mahal. Pil menjadi tidak terbeli oleh si miskin, sekalipun kebutuhan si miskin adalah paling besar. Selanjutnya direkayasa pil baru tipe kedua.

Pil kontrasepsi tipe kedua dipasarkan berisi hanya progesterin. Walaupun hormon tidak mencegah ovulasi, tetapi mampu mencegah terjadi kehamilan karena pengaruh kimiawi yang merusak sel sperma.

Penggunaan bahan kimia lain disimpan pada cincin plastik yang dimasukkan ke dalam vagina. Prinsip dasar bekerjanya cincin plastik ini adalah sejalan waktu, benda mengeluarkan sejumlah kecil hormon berangsur-angsur, dilepas ke dalam aliran darah. Cincin tersebut harus diganti setiap menstruasi.

Saat ini sedang dilakukan penelitian intensif untuk mengembangkan pil kontrasepsi tipe mutakhir. Pada tipe yang dikembangkan ini, setiap kaum ibu hanya memerlukan satu pil setiap bulan karena pil bekerja secara *retroaktif*. Artinya "setiap datang pagi hari" pil berhenti bekerja; dan "akan kembali aktif bekerja ketika malam hari tiba".

Meksiko merupakan contoh baik dari negara yang menerapkan penjarangan kelahiran dengan metode pil. Meksiko saat ini berpenduduk 64 juta orang dengan tingkat pertumbuhan ekstrem tinggi, sebesar 3,2 persen. Pada laju demikian jumlah penduduk akan menjadi dua kali lipat setelah 23 tahun.

Pada tahun 2020 jumlah penduduk Meksiko akan melebihi jumlah penduduk Amerika Serikat. Apabila tidak ada langkah atau kebijakan nyata maka akan terjadi kemiskinan, malnutrisi dan penderitaan umat manusia. Peristiwa ini mudah diramalkan dapat terjadi karena luas Meksiko hanya sebesar seperlima Amerika Serikat, sementara kemampuan sumber daya hanya seperenamnya. Dalam rangka menahan laju pertumbuhan penduduk, pemerintah Meksiko secara total melaksanakan program keluarga berencana. Program ini bertujuan untuk menurunkan laju pertumbuhan penduduk dari 3,2 persen menjadi 1 persen pada tahun 2000. Di Indonesia adalah juga serupa bersama program KB. Perhatikan harapan keluarga sejahtera pada logo awal adalah bergambar tiga anak cukup, kemudian setelah beberapa dekade menjadi bergambar dua anak cukup dan kini sebuah harapan akan menjadi "*zero growth*" jika sudah mendapat satu anak cukup pada sebuah keluarga modern saat ini.

Penjarangan kelahiran melalui pil dan penyuluhan atau penyebaran informasi secara intensif dilakukan melalui pendidikan. Kegiatan ini khusus dilakukan terhadap masyarakat pedesaan karena jumlah anggota keluarga biasanya dari 8 hingga 14 anak per keluarga.

Jumlah anggota keluarga yang besar merupakan objek kembar dalam kemiskinan dan ketergantungan pada tenaga kerja manual di bidang pertanian. Meksiko berhasil mengendalikan jumlah penduduk dengan ketat karena mereka

juga negara produsen pil kontrasepsi. Pil ini dibuat dari tumbuhan liar "barbasco" yang diperoleh dari hutan tropis di bagian Selatan.

e. *Kontrasepsi mekanik*

Ahli kependudukan mengharapkan *Intra Uterine Device* (IUD) bekerja lebih efektif di negara belum berkembang. Pabrik IUD mampu memproduksi secara lebih murah dalam jumlah besar. IUD adalah logam, plastik atau ulir tali nilon ataupun lempengan yang dimasukkan ke dalam rahim. Walaupun kerja IUD tidak diketahui dengan pasti, tetapi dengan adanya IUD di rahim akan menghindari perkembangan embrio dalam uterus. Di mana dalam hal ini, agaknya mampu menghalangi kontraksi otot saluran telur yang secara normal bekerja menyalurkan telur ke uterus.

f. *Sterilisasi*

Pada kaum laki-laki, sterilisasi dilakukan secara sederhana, yaitu memotong dan mengikat otot saluran sperma. Sterilisasi pada kaum perempuan dilakukan dengan membuka sedikit rongga perut dan memotong serta mengikat *oviduct* atau saluran telur. Jaringan ini bekerja meluncurkan sel telur masak dari ovarium ke dalam rahim atau uterus. Operasi ini disebut pengikatan saluran telur atau "*tubal ligation*".

Sekelompok kecil orang dikenal sebagai kaum "*eugenicist*" adalah kaum yang menginginkan perbaikan kualitas manusia dengan teknik sederhana, yaitu mereka melakukan sterilisasi pada individu inferior atau kurang berkualitas. Misalnya, terhadap orang pincang, perkembangan mental lambat, kriminal, pemalas.

Kaum *eugenicist* percaya bahwa dengan teknik sederhana demikian akan terjadi peningkatan kualitas manusia pada beberapa generasi mendatang. Walaupun demikian untuk memantapkan program ini banyak mendapat tantangan moral, etika dan religi yang tidak kecil di masyarakat.

Untuk keberhasilan metode pembatasan kelahiran melalui sterilisasi, perlu melakukan penyuluhan intensif dan melakukan kampanye pendidikan ekstensif. Kegiatan ini adalah untuk menghindari ketakutan bagi kaum perempuan maupun laki-laki yang menyangkut penurunan kemampuan dalam persebadanan.

Negara belum berkembang, pemerintah Taiwan, Korea, Pakistan dan India mendirikan kantor untuk memulai program sterilisasi. Metode ini paling efektif dilakukan oleh pemerintah India saat ini.

g. *Aborsi*

Aborsi legal merupakan pilihan terakhir mengurangi laju pertumbuhan kependudukan walaupun kegiatan ini mendapat tantangan yang tidak kecil. Aborsi merupakan penarikan janin dari rahim sebelum terbentuk sempurna dan menyebabkan kematian.

Aborsi spontan atau dikenal sebagai "*miscarriage*" terjadi secara alami dan bagi mereka yang beruntung atau selamat hampir 40% dari janin tersebut dipastikan berkembang menjadi anak dengan fisik dan mental tidak seimbang.

Aborsi dirangsang (*induced abortion*) adalah usaha aktif manusia yang menghasilkan kematian janin. Janin tersebut umumnya berkembang normal, sebagai bayi sehat, terutama menuju umur 12 minggu masa kehamilan, Dokter mengurut ("*scrape*") janin tipis di uterus dengan pengurut halus (*sharp scalpel*). Metode penyedotan juga biasa digunakan pada kegiatan ini.

Namun setelah janin berumur 12 minggu, dokter akan menyuntikkan larutan garam ke dalam *amnion* (cairan dalam kantung pelindung) di sekitar janin. Larutan garam ini akan membunuh janin secara cepat. Kemudian, terjadi kontraksi otot uterus, dan selanjutnya mendorong janin ke luar dari rahim. Aborsi janin sebelum umur 12 minggu relatif aman. Namun jika dilakukan melewati umur tersebut maka risiko fatal bagi ibu akan semakin besar.

3. Peningkatan Produksi Pangan

Metode untuk meningkatkan produksi pangan agar mampu memberi makan dunia yang lapar saat ini, antara lain diuraikan sebagai kegiatan hidroponik, agromarin atau kultur algae, kultur ragi dan sintesis makanan. Metode tersebut menjadi perhatian pakar pertanian sekalipun belum mendapat prioritas tinggi.

Metode tradisional lain yang perlu diperhatikan adalah perluasan ekstensif lahan pertanian pada wilayah baru, pengairan, peningkatan penggunaan pupuk, pengendalian hama dan penyakit serta program pemuliaan pertanian.

a. *Hidroponik*

Kegiatan hidroponik disebut pula sebagai *nutrikultur*. Hidroponik merupakan teknik menumbuhkan tanaman dalam larutan hara tanpa media tanah. Keuntungan hidroponik dibanding metode tanam konvensional melalui tanah adalah besar tonase hasil panen 6 - 8 kali lebih tinggi dibanding hasil panen di media tanah pada luasan lahan yang sama.

Masalah kesuburan tanah dan patogen tanah pada hidroponik tereliminasi. Sementara pemakaian air menjadi lebih ekonomis karena secara kontinu di

resirkulasi sepanjang kandungan hara masih mencukupi. Hidroponik secara temporer mencukupi kebutuhan pasar yang besar terhadap jenis komoditas sayuran segar.

b. Agro marin

Agro marin, merupakan kegiatan pertanian di laut. Berbeda dengan penangkapan ikan, kegiatan agro marin salah satunya adalah bertanam algae atau ganggang. Salah satu ganggang yang banyak dikenal di Indonesia adalah *Euchema cottonii* atau umum masyarakat mengenal sebagai rumput laut (*sea weed*).

Sekitar 0,1-0,5 persen cahaya matahari mencapai permukaan bumi dikonversi menjadi energi kimia oleh produser. Produser adalah organisme berklorofil yang mampu mengubah energi elektromagnetik menjadi energi kimia potensial dari sejumlah karbon dioksida dan air menjadi ikatan molekul baru dalam glukosa.

Glukosa merupakan sumber energi bagi kehidupan lain di permukaan bumi yang membentuk rantai kehidupan dan jejaring makan dalam sebuah ekosistem. Bagi manusia, setiap 1 kalori diturunkan dari satu juta kalori matahari yang diterima planet bumi. Perhatikan dengan cepat, bahwa setiap 50.000 kg algae menghasilkan 0,5 kg ikan.

Fakta atau kenyataan ini merupakan aplikasi Hukum Termodinamika II. Selanjutnya mungkin terjadi pemendekan rantai makan dengan cara mengonsumsi langsung algae tersebut sehingga makanan menjadi lebih banyak tersedia untuk memenuhi kekurangan pangan dunia.

Kultur alga, sudah dilakukan di Inggris, Amerika Serikat, Jerman, Venezuela, Jepang, Israel dan Belanda. Alga, *Chlorella* ditanam di kolam berukuran luas setengah ekar (*acre*). Jenis ini kaya protein, lemak, vitamin dan mengandung asam amino esensial, khususnya lisin. Lisin ini biasa terdapat defisien atau kahat pada tubuh manusia.

Makanan dari alga digunakan sebagai suplemen pada sup ataupun potongan daging maupun sebagai makanan penguat bagi ternak sapi. Di masa depan kultur alga sangat menjanjikan. Walaupun demikian di negara belum berkembang, kultur alga masih belum prioritas untuk diusahakan.

c. Sintesis pangan

Teknologi sintesis pangan tersedia di laboratorium dasar sintesis gula, lemak, asam amino, vitamin dan mineral bagi kebutuhan diet pangan manusia.

Hal demikian kompleks dan sangat mahal. Walaupun demikian, kebutuhan dasar sintesis diet pangan manusia sudah dilakukan bangsa Jerman ketika menghadapi masa sulit, ketika terbatas penyediaan kebutuhan minyak goreng selama Perang Dunia II.

Melalui proses *Fischer-Tropsch*, dimulai dengan hidrogenasi arang akan diperoleh minyak goreng sintetis. Jerman mengelola dan menghasilkan 2000 ton minyak goreng sintetis setiap tahun. Minyak ini kemudian banyak dikonversi ke dalam bentuk margarin.

Penduduk negara belum berkembang, umumnya bergantung pada makanan dari sereal. Makanan ini kerap kali kahat diet asam amino esensial, seperti lisin, triptofan dan metionin. Amerika menjadi produsen makanan pengganti daging, makanan sarapan yang tinggi protein dan minuman penyegar setelah mengolah bahan dasar yang berasal dari keluarga sereal diperkaya protein.

Proses ini memerlukan penambahan sejumlah kecil protein dengan hasil menakjubkan. Sebagai contoh, kandungan protein dari satu ton gandum dapat ditingkatkan mendekati kandungan *milk casein* setelah menambahkan beberapa kg asam amino lisin.

Di India sekarang ribuan orang mengonsumsi roti yang diperkaya asam amino lisin, dan dipasarkan oleh pemerintah setelah didirikan pabrik *bakery* di Bombay dan Madras. Menerawang jauh ke depan, pakar dari CIT (*California Institute of Technology*) menyatakan bahwa pada suatu hari teknologi pangan akan mampu membuat daging sintesis dari sayuran, yang tampak menarik, dan dibungkus otot plastik yang dapat dikunyah.

d. Kultur ragi

Kultur ragi banyak diminati orang karena mampu mencukupi protein dalam diet sehari-hari. Ragi ditumbuhkan pada substrat organik. Termasuk substrat organik pada zaman modern adalah arang (*coal*), minyak fosil bumi (*petroleum*), sekam gabah, jerami padi, limbah kulit jeruk dari industri minuman kemasan, gula tetes (*molase*) dari tanaman tebu atau *bit* maupun cairan hitam yang berasal dari pabrik bubur kertas.

Kultur ragi memungkinkan metode hasil tanaman tidak enak dimakan, seperti batang jagung, tongkol jagung dan serat kayu dapat dikonversi ke dalam makanan kaya protein. Di Amerika, manusia memanfaatkan 0,37 ton bahan dimakan setiap tahun, tetapi sekali gus setiap jiwa juga menyisakan 1,75 ton limbah organik berupa sisa panen jagung seperti diuraikan di atas dan tumpukan sisa jerami gandum.

Secara teoretis keadaan tersebut mampu meningkatkan ketersediaan pangan 50% hingga 100%. Mengapa demikian?

Kultur ragi untuk konversi ke dalam makanan kaya protein adalah 65% lebih efektif dibanding konversi karbohidrat ke protein oleh ternak sapi, yang besarnya sekitar 4 sampai 20%.

Dahulu limbah ini dibuang dan sangat merugikan lingkungan karena BOD sungai menurun sangat tajam. Kelemahan kultur ragi adalah pada hasil protein yang dihasilkan sangat tinggi, sebesar 72%. Jumlah sebesar ini berpengaruh kurang baik bagi kesehatan manusia.

e. Ekstensifikasi lahan pertanian

Untuk memperoleh lahan produktif perlu memperluas lahan yang sesuai persyaratan produksi dari jenis tanaman yang dipilih. Untuk ini perlu memperhatikan kombinasi yang baik dari sifat tekstur dan kimia tanah, suhu, curah hujan, musim, dan topografi.

Jika dilihat luas dan populasi dunia saat ini, lahan tersedia sebesar 12,5 hektar setiap jiwa, namun yang ditanami atau diolah hanya seluas 1,1 hektar. Sementara data statistik menunjukkan minimum luas lahan yang cukup untuk menghasilkan pangan adalah seluas 2,65 hektar per jiwa sehingga di sini tampak bahwa baru 30 persen atau sepertiga lahan produktif potensial yang terolah.

Dalam konteks teknologi, sosial, ekonomi dan politik pada saat ini negara belum berkembang masih mungkin memperluas lahan produktif. Namun demikian, kendala yang dihadapi cukup banyak. Misalnya, di negara Asia, masalah irigasi merupakan masalah besar karena memerlukan biaya investasi yang mahal.

f. Pertanian biokonservasi

Pertanian Biokonservasi merupakan cara bertani tropis yang erat berkaitan dengan alam lingkungan. Daerah tropis melimpah curah hujan, matahari intensif dan musim pertumbuhan panjang. Wilayah ini ditumbuhi rapat tegakan, kaya jenis kehidupan dan sudah sejak berabad-abad lalu menghasilkan beragam produk tumbuhan.

Walaupun demikian, masalah yang tidak menguntungkan adalah siklus hara dan sifat-sifat lain terkait dengan karakter tanah tropis.

Jika Anda berdiri dalam hutan di daerah subtropis, katakan hutan *Acer rubrum* - *Fagus grandifolia* pada musim panas. Apa yang Anda lihat dan rasakan?

Jika Anda memperhatikan sekeliling, yang tampak adalah lantai hutan dipenuhi serasah tebal, lapisan penyerap air hasil dekomposisi daun yang tingginya beberapa inci. Hara mineral dari daun dilepaskan secara perlahan lahan ke dalam tanah dan terbentuk cadangan hara yang besar pada tanah. Fakta ini adalah tipe tanah yang dicari oleh para emigran benua Eropa yang pindah ke Amerika pada masa lalu karena tanah demikian menghasilkan panen yang besar dan sangat produktif.

Namun, *apa yang terlihat jika Anda berdiri di hutan tropis?* katakan di pulau Sumatra atau Kalimantan ataupun di Amazon! Sebagian besar hara mineral di wilayah ini terkunci ke dalam jaringan vegetasi hutan dan sangat minimum yang tersedia di dalam tanah. Apabila dedaunan dan cabang jatuh ke lantai hutan (*forest floor*), mereka segera terdekomposisi oleh beragam bakteri, jamur, serangga dan cacing tanah. Hara segera diserap kembali oleh sistem akar dan membentuk jaringan baru.

Hutan yang baik akan mempunyai lapisan pohon dengan lima strata, yaitu stratum A, B, C, D, dan E. Kelima stratum ini berfungsi sebagai penyaring cahaya matahari sehingga pemanfaatan energi tersebut menjadi lebih efisien. Komunitas tropis hidup saling mengisi, lebih bersifat sinergis daripada berkompetisi.

Pertanian biokonservasi adalah meniru mimik hutan tropis tersebut dengan menyisakan seluruh lapisan strata yang ada, masih tetap produktif bagi kepentingan manusia. Baik sebagai penghasil pangan, buah-buahan, kayu, serat atau damar, obat-obatan. *Wanatani* atau *agroforestry* merupakan salah satu bentuk pertanian biokonservasi.

Buah manggis (*Garcinia mangostana*) atau *mangosteen* adalah jenis buah tropis yang laku ekspor dan dapat disimpan berbulan-bulan, karena dilindungi kulit tebal berisi pengawet alamiah. Jenis tanaman ini jika dikembangkan di daerah yang sesuai, yaitu di hulu sungai sebuah DAS atau Daerah Pengaliran Sungai maka akan sangat membantu kegiatan biokonservasi di wilayah tersebut.

Hasil produk manggis yang lumintu dapat dinikmati rakyat secara langsung, maupun dalam wujud sebagai pengawetan air yang dinikmati secara tidak langsung bagi masyarakat di bagian hilir. Seperti masyarakat Jakarta, misalnya ibu kota selalu dilanda banjir walaupun hujan baru turun sebentar di daerah Bogor. Kondisi demikian terjadi karena pemerintah di Jakarta kurang bahkan

tidak pernah memperhatikan vegetasi di bagian hulu sungai sehingga wajar jika selalu banjir dan kekurangan atau rawan air bersih ketika musim kemarau.

g. *Pemuliaan tanaman*

Revolusi hijau terjadi karena manusia berkembang dari waktu ke waktu, seperti deret ukur, sementara penyediaan pangan yang diperlukan berjalan, seperti deret hitung. Untuk mengisi kekurangan pangan tersebut, revolusi hijau menjadi kegiatan utama di negara belum berkembang. Sudah dua juta tahun yang lalu manusia mendomestikasi tumbuhan untuk kebutuhan hidupnya. Sekitar 80 jenis tumbuhan akrab dengan kehidupan manusia dan hanya 3 jenis sebagai sumber karbohidrat utama, yaitu padi, gandum dan jagung. Lebih 50 persen tanaman pangan dunia terdiri atas jenis tiga besar tersebut.

Pakar genetika tumbuhan banyak meneliti dan mengembangkan ke-3 jenis tanaman ini untuk mendapat *strain* unggulan. Peristiwa ini menandai awal perkembangan revolusi hijau dunia, yang bertujuan untuk menjembatani kekurangan pangan dan pertumbuhan penduduk di negara belum berkembang.

Pakar genetika tumbuhan mampu mengembangkan gula bit dengan kadar gula lebih tinggi; kedelai dengan kandungan protein lebih tinggi, mengembangkan kandungan protein lebih besar 13%, membuat umur tanaman gandum lebih pendek dan lebih adaptif dengan atmosfer belahan bumi Utara.

Demikian juga tanaman padi di daerah tropis yang dikembangkan dengan umur lebih pendek, sekitar 90 sampai 100 hari panen.

Untuk tanaman jagung, telah dikembangkan jenis yang mampu menyerap pupuk 100 kg N per ekar (*acre*), sementara beberapa waktu yang lalu cukup 45 kg N, di mana produksi varietas baru ini meningkat lebih besar. Jenis hibrida baru umumnya tahan menghadapi panas, dingin dan kekeringan.

Penelitian di Amerika jenis jagung baru yang dikembangkan 60 persen lebih produktif dibanding jenis lokal. Sementara di Afrika mencapai 100 lebih baik daripada jenis lokal setempat.

Pakar dari Purdue University telah mengembangkan jenis jagung *mutan-Opaque 2*, yang mengandung sejumlah besar lisin dan triptofan. Kandungan dua asam amino esensial ini sangat membantu pertumbuhan normal manusia.

Pakar gizi atau nutrisi makanan berpendapat bahwa jagung demikian dapat mengurangi jumlah penderita kekurangan protein di negara belum berkembang, seperti di Afrika, Amerika Latin, dan Asia. Di negara ini umumnya protein seperti telur, ikan dan daging sangat mahal dan terbatas, dan dalam jumlah sedikit atau kecil.

Di samping hasil yang baik dalam revolusi hijau, *beberapa pengaruh buruk akibat revolusi hijau*, antara lain berikut ini.

- 1) Sebaran dibatasi oleh iklim.
- 2) Absen lahan berkualitas prima untuk pertumbuhan.
- 3) Perlu jumlah air besar selama produksi.
- 4) Perlu jumlah pupuk banyak dalam produksi.
- 5) Perlu pestisida tepat waktu dan dosis dalam produksi.
- 6) Perlu *input* energi fosil, melalui mekanisasi pengolahan tanah dan panen.
- 7) Perlu bantuan finansial bagi usaha tani.
- 8) Menuju ke jenis tanaman monokultur sehingga rentan terhadap ketahanan ekologi di daerah setempat.

h. Perikanan

Perikanan air tawar sudah dilakukan orang sejak zaman dahulu, 2000 Sebelum Masehi di daratan Cina. Ikan mas sudah diusahakan sejak abad pertengahan. Oleh karena masa krisis protein, banyak pakar dunia mulai memperhatikan usaha perikanan. Kegiatan ini adalah analog dengan peternakan sapi, biri-biri, kambing dan babi dalam pertanian modern.

Produktivitas perikanan modern ditingkatkan dengan melakukan pemupukan kolam. Akibat pemupukan, algae sebagai kehidupan dasar utama dalam rantai kehidupan akuatik berkembang pesat. Penggunaan pupuk dari fekal unggas air (bebek) untuk memupuk kolam sudah dilakukan orang dan berhasil baik di Uni Sovyet (Rusia) dan Jerman Timur.

Di Amerika kolam ikan dikombinasikan dengan peternakan babi: Fekal babi dan kencing yang dihasilkan langsung jatuh ke dalam kolam dan memperkaya plankton di kolam tersebut. Di Thailand, peternakan ayam di atas kolam ikan melakukan cara yang sama untuk menyuburkan kolam. Indonesia dengan teknik sama menyebutnya sebagai "longyam", yang artinya balong atau kolam dan ayam. Kegiatan longyam banyak dilakukan di Jawa Barat.

Bertani ikan juga dilakukan secara *multilevel cropping*, yaitu mencampur ikan dengan perilaku makan berbeda; baik secara horizontal maupun vertikal. Satu jenis ikan termasuk golongan herbivor, mereka mencari makan di permukaan kolam, banyak cahaya matahari sementara jenis yang lain berada di dasar kolam, hidup memakan *Crustacea* dan larva serangga.

Salah satu faktor penting produksi Tilapia adalah garis lintang hangat dan musim pertumbuhan panjang. Jenis ini berproduksi sepuluh kali lipat di daerah tropis daripada daerah subtropis.

Selain *Tilapia*, jenis ikan lele (*catfish*) adalah juga cukup populer dan prospektif menguntungkan. Perikanan air payau, atau air laut dilakukan di muara sungai atau *lagoon*. Negara Italia, Filipina dan Indonesia telah melakukan kegiatan perikanan payau tambak sudah berabad-abad yang lalu.

Indonesia bertumpu pada sumber daya perikanan laut 75 % dan perikanan darat sebesar 25 % pada saat ini. Indonesia memiliki wilayah pantai yang sangat besar sehingga memudahkan akses ke laut, sementara di utara pulau Jawa mulai dari gugusan pulau masalembu, kaya akan ikan karena terdapatnya gugus gunung api laut yang muncul ke permukaan sebagai gunung anak Krakatau di sebelah barat propinsi Banten. Pada gugusan kepulauan ini, dengan kedalaman laut kurang 200 m terjadi turbulensi arus, "*up welling*", ada pertemuan dengan arus dingin dan cahaya matahari akan memperkaya jenis fitoplankton dan zooplankton sehingga di tempat ini kaya dengan jenis-jenis ikan. Tempat demikian ini ideal sebagai tempat penangkapan ikan yang telah diketahui oleh nelayan lokal, kapan mereka pergi melaut dan berhenti di tengah laut untuk memanen ikan dan kembali ke darat pada esok harinya. Nelayan lokal mengendarai angin darat, berangkat pada sore hari untuk pergi mencari ikan di tengah laut dan akan kembali pada esok harinya dari laut dengan membawa ikan dengan memanfaatkan angin dari laut, dikerjakan setiap hari pada musim-musim yang memungkinkan mereka dapat pergi ke laut dengan aman sepanjang tahun.

i. Pemuliaan ternak

Jenis ternak yang sudah terdomestikasi ada 24 jenis, namun hanya 9 jenis saja, yang seratus persen manusia bergantung kebutuhan protein hewani dari jenis tersebut. Ke-9 jenis ternak dimaksud adalah sapi, babi, domba, kambing, kerbau, ayam, bebek, angsa, dan kalkun.

Amerika merupakan negara maju dalam mengembangkan strain unggulan jenis ternak di atas. Tahun 1920-an peternakan sapi di Texas menyilangkan sapi lokal tanduk pendek dengan Brahman menghasilkan *Santa Getrudis*.

Pada tahun 1930-an pemulia ternak Oklahoma menyilangkan sapi lokal itu dengan *Black Angus* menghasilkan jenis *Brangus*. *Brangus* maupun *Santa Getrudis* adalah strain sapi unggul dalam kualitas dan kuantitas daging, di mana daging lebih tebal dan jenis silangan lebih tahan menghadapi iklim lebih panas.

Peristiwa ini menjadi dasar pengembangan ternak di negara tropis lain. Saat ini melalui IB (Inseminasi Buatan) atau kita kenal sebagai kawin suntik, akan mempercepat perbaikan kualitas ternak di negara belum berkembang. Indonesia mulai membangun bank sperma sapi untuk pengembangan IB di Cipelang Bogor, pada masa pemerintahan orde baru, presiden Suharto yang hasilnya dapat dilihat dengan munculnya banyak sapi metal (merah total), jenis peranakan di masyarakat Gunung Kidul dan DI Yogyakarta umumnya.

Demikian juga dengan jenis ayam unggulan yang mampu bertelur lebih banyak dan lebih efisien mengonversi biomassa makanan, sudah banyak dikembangkan oleh pemulia ternak. Melalui bantuan FAO teknologi pemuliaan ternak tersebar untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas ternak di negara belum berkembang, termasuk Indonesia saat ini.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan yang dimaksud dengan kebutuhan primer manusia!
- 2) Jelaskan yang dimaksud dengan kebutuhan sekunder manusia!
- 3) Apa yang Anda ketahui tentang metode regulasi langsung melalui UU untuk mengendalikan pencemaran lingkungan? Jelaskan karakternya!
- 4) Jelaskan karakter dari metode membayar menjadi terkendali!
- 5) Jelaskan tujuan dari ZPG atau *Zero Population Growth* kesejahteraan dan kesehatan masyarakat!
- 6) Apa manfaat dari revolusi hijau di daratan dan revolusi biru di lautan terhadap perkembangan kependudukan dunia?
- 7) Apa dimaksud dengan “*environmental management*” saat ini. Jelaskan keterkaitan dengan terjadinya kerusakan lingkungan saat ini! Perhatikan pada lingkungan sekitar saudara!
- 8) Apa dimaksud dengan “*sustainable development*”? Jelaskan kata kunci bagi pembangunan pertanian untuk ketahanan pangan dan kedaulatan pangan bagi bangsa Indonesia dalam menyongsong abad MDG’s (Millenium Development Goals) saat ini!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini, perlu dipahami adanya kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia agar dapat hidup sehat dan sejahtera. Perlu ketersediaan pangan sehari-hari agar dapat hidup sehat. Perlu sandang bagi perlindungan tubuh dan pergaulan budaya di masyarakat serta papan atau rumah tinggal sebagai habitat dan relung ekologi sebuah keluarga dalam masyarakatnya.
- 2) Kebutuhan sekunder lebih luas dari kebutuhan primer. Perhatikan peradaban budaya modern, etnosentris dalam kehidupan manusia. Kebutuhan sekunder lebih dominan daripada kebutuhan primernya. Keterkaitan peradaban modern dengan kebutuhan berpolitik, ekonomi sosial dan budaya dan pertanyaan rasa aman untuk mendukung kegiatan lain di masyarakat agar berjalan baik dari waktu ke waktu.
- 3) Perhatikan komponen terlibat dalam mengawasi pencemaran yang terjadi. Industri atau swasta pemilik sumber dampak, birokrat sebagai pengambil keputusan dan masyarakat terkena dampak. Ketiganya harus sejalan menegakkan peraturan. Jika tidak, apa yang terjadi? Masyarakat akan menjadi korban akibat kelalaian birokrat dan peluang ekonomi yang diawali dari ketidaktaatan industri terhadap sistem regulasi yang ada, akibat dari biaya mahal yang harus dipikul oleh swasta pemilik sumber dampak. Paling efektif dalam pengawasan adalah menempatkan komponen masyarakat terkena dampak bekerja sama dengan kedua pihak lain di atas, agar para birokrat tepat mengambil keputusan dan si pemilik sumber dampak tidak berbuat melebihi ambang batas kegiatan telah ditetapkan.
- 4) Membayar harga polusi agar pencemaran terkendali, dilakukan dengan memperhatikan beban dari masing-masing industri yang terlibat mencemari ekosistem. "*polluter pay principle*", siapa mencemari lebih, harus membayar lebih banyak. Debit kali konsentrasi limbah terbuang merupakan andil atau sebagai iuran wajib dari setiap perusahaan yang harus dicermati sebagai bobot untuk memperbaiki kualitas lingkungan yang berubah.
- 5) ZPG atau *Zero Population Growth* adalah gerakan menuju kualitas kehidupan yang lebih baik, keluarga lebih sejahtera jika hanya mempunyai anak 2, satu laki-laki dan satu perempuan. Pada kondisi demikian diharapkan jumlah manusia tetap, yang datang karena kelahiran sama dengan yang pergi akibat dari kematian dalam populasinya.

- 6) Manfaat revolusi hijau dan biru bagi kemanusiaan adalah menjembatani kesenjangan penyediaan pangan bagi manusia. Deret ukur perkembangan manusia dari waktu ke waktu dan deret hitung bagi ketersediaan pangan akan menjadikan homeostasis baru, melalui peperangan, wabah penyakit, malnutrisi di mana-mana. Meredam kesengsaraan demikian perlu peningkatan produktivitas pangan dari daratan dengan revolusi hijau dan dari lautan dengan revolusi biru.
- 7) “*Environmental management*” adalah pengelolaan lingkungan di sekitar saudara, dengan memperhatikan keterkaitan unsur biotik dan abiotik secara luas dalam kapasitasnya untuk menyelenggarakan ekosistem secara harmonis. Kegiatan ini memperhatikan fungsi produksi, regulasi dan konservasi dari ekosistem tersebut. Kerusakan lingkungan terjadi karena ada pemaksaan kehendak sesuai keinginan manusia tanpa memperhatikan ke tiga fungsi di atas, baik secara seimbang maupun sendiri-sendiri sesuai karakteristik dari lingkungan yang sedang dikelola.
- 8) “*Sustainable development*” adalah pembangunan berkelanjutan artinya mampu memelihara kelestarian alam dan lingkungannya dari pengambilan atau panenan melalui fungsi produksi, regulasi dan konservasi. Secara harfiah apa yang sekarang ada, besok masih ada dan sampai ke generasi mendatang tetap dapat menjumpainya. Misalnya dengan hewan gajah, beruang madu, harimau dan burung cendrawasih bagi orang di Sumatera, Kalimantan, Jawa dan Papua.



RANGKUMAN

Keterkaitan manusia, ekonomi dan lingkungan dalam peradaban budaya digolongkan sebagai ekosentris dan etnosentris. Budaya ekosentris, manusia sangat bergantung pada alam sementara etnosentris, berpusat pada kepentingan manusia, yaitu untuk memenuhi kebutuhan dan kesejahteraan bagi manusia itu sendiri.

Sadar akan keterbatasan sumber daya menyediakan kebutuhan bagi kehidupan, manusia harus dapat berlaku adil terhadap lingkungan. Kebijakan diambil harus patuh kepada hukum alam dan memperhatikan kaidah alam sedang berlangsung.

“*Environmental management*” adalah pengelolaan alam dan lingkungan sejalan dengan kebutuhan dan kepentingan manusia. Pengelolaan hendaknya dilakukan secara “*sustainable development*” yaitu

pembangunan yang berkelanjutan dengan memperhatikan fungsi produksi, regulasi dan konservasi dari sumber daya alam tersebut

Budaya modern erat berkaitan dengan pencemaran. Penggunaan bahan bakar energi fosil, minyak bumi. Wabah penyakit gila sapi. Kegagalan kapas transgenik di Sulawesi Selatan perlu dicermati dengan bijak. Apakah semua yang baik dari negara maju, tetap akan masih baik jika ditanam di negara kita? Sifat tropis memberi implikasi tersendiri untuk menjawab pertanyaan ini.

Wanprestasi kegiatan manusia mengelola lingkungan dapat diperbaiki jika memperhatikan akar permasalahan timbulnya masalah dan kemudian diselesaikan secara holistik, ramah lingkungan.

Masalah kependudukan dan sumber daya alam atau lingkungan hidup terjadi karena manusia berkembang mengikuti deret ukur sementara penyediaan pangan, seperti deret hitung. Potensial biotik manusia menuju homeostasis dinamis lingkungan dilakukan dengan cara menanggukkan usia perkawinan, sikap moral, pantang berkala atau metode ritmik, kontrasepsi kimiawi dan mekanik, sterilisasi serta aborsi. Termasuk dalam hal ini adalah vasektomi, *tubal ligation*, *coitus interruptus* dan *eugenicist*.

Peningkatan penyediaan pangan bagi manusia dilakukan melalui ekstensifikasi dan intensifikasi pertanian. Menyediakan pangan dunia mengatasi kelaparan dilakukan melalui kegiatan hidroponik, agromarin atau kultur alga, sintesis pangan berkualitas, kultur ragi; ekstensifikasi lahan pertanian, pertanian biokonservasi, pemuliaan tanaman, perikanan dan pemuliaan ternak.

Tiga besar dunia menyediakan karbohidrat dilakukan melalui padi, gandum dan jagung. Sembilan besar dunia memenuhi kebutuhan protein dilakukan melalui ternak sapi, babi, domba, kambing, kerbau, ayam, bebek, angsa, dan kalkun. Sementara itu jenis ikan Tilapia dan lele (*catfish*, *mudfish*) di negara belum berkembang dan beriklim tropis mempunyai prospek menjanjikan menyediakan protein segar bagi manusia.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Kebutuhan primer manusia dalam hidup sehari-hari berupa
 - A. sandang dan pangan
 - B. pangan dan Papan
 - C. pangan, sandang dan papan
 - D. pangan, sandang dan mobil

- 2) Kebutuhan sekunder manusia dalam hidup sehari-hari berupa
 - A. politik
 - B. ekonomi-sosial dan budaya
 - C. pertahanan dan keamanan
 - D. poleksosbudhankam

- 3) Metode regulasi langsung melalui UU merupakan salah satu metode pengendalian pencemaran lingkungan dengan karakter
 - A. standar
 - B. disenangi masyarakat dan pemerintah
 - C. sangat ditakuti oleh industri pencemar lingkungan
 - D. hanya efektif jika pemerintah bersama-sama masyarakat sekitar industri selalu mengawasi kegiatan industri yang menimbulkan pencemaran

- 4) Metode membayar harga polusi merupakan metode pengendalian pencemaran
 - A. cukup adil karena pencemar lebih tinggi membayar lebih banyak berdasar beban dihasilkan, yaitu konsentrasi terhadap debit limbah yang dimasukkan ke dalam sistem ekologi.
 - B. berpihak pada kaum industrialis
 - C. berpihak pada pemerintah dan masyarakat
 - D. menjamin lingkungan berkelanjutan dan menjadi bersih

- 5) ZPG atau *Zero Population Growth* merupakan gerakan global bertujuan
 - A. jumlah penduduk dunia tetap tidak berubah
 - B. angka kelahiran dan angka kematian sama
 - C. keluarga berencana, dua anak cukup
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 6) Menanggihkan usia perkawinan di masyarakat akibat dari
 - A. keadaan lingkungan miskin, tidak mencukupi kebutuhan pangan bagi masyarakatnya
 - B. menginginkan jumlah anak sedikit agar keluarga menjadi sejahtera
 - C. berpendidikan tinggi
 - D. jawaban A, B, dan C benar

- 7) Revolusi hijau di daratan dan revolusi biru di lautan terjadi karena
 - A. perkembangan manusia, seperti deret ukur, sementara penyediaan pangan, seperti deret hitung
 - B. tekanan kependudukan meningkat dan sumber daya alam terbatas bagi kebutuhan manusia

- C. akibat dari peperangan, kelaparan di mana-mana dan malnutrisi
- D. jawaban A, B, dan C benar

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat mengikuti Ujian Akhir Semester (UAS). **Selamat!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Sifat anak diturunkan dari orang tuanya, *bukan* hanya dari ibunya saja.
- 2) C. Pertumbuhan geometrik akibat ketersediaan ruang dan makanan tidak terbatas.
- 3) D. Ada resistensi lingkungan, yaitu sumber daya yang belum dimanfaatkan agar dapat mencapai daya dukung optimum (K), besarnya sebagai $(1 - (N/K))$ atau sebagai $(K - (N/ K))$.
- 4) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 5) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 6) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 7) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 8) C. Mengingat kita jika umur rata-rata hidup manusia 60 tahun, umur 40 tahun ini adalah memasuki post reproduktif atau mulai masa senil datang sehingga perlu kita hidup lebih hati-hati, membatasi makan untuk dapat hidup sehat dan mencapai umur panjang. Pada umur 40 ini biasanya orang baru menanjak karier dan kerja keras (*work alkoholik*) dan penyakit degeneratif tua mulai datang tanda paling ringan, mulai datangnya penyakit metabolisme tidak sempurna terwujud sebagai asam urat atau adanya *warning* dini dari *diabetes mellitus* dan kanker, sampai munculnya sang pembunuh tersembunyi sebagai penyakit jantung.

Tes Formatif 2

- 1) D. Pada kehidupan primitif sebagian besar kehidupan manusia terkait lebih banyak pada keperluan primer sebagai pemenuhan kebutuhan pangan, sandang, dan papan atau tempat tinggal.
- 2) D. Pada kehidupan yang lebih modern kehidupan manusia lebih pada kepentingan sekunder untuk memenuhi keinginan berpolitik, ekonomi, sosial dan budaya serta pertahanan menuju rasa aman, yang disingkat sebagai *poleksosbudhankam*.

- 3) D. Efektif jika pemerintah dan masyarakat setempat yang terkena dampak langsung ikut mengawasi industri yang mencemari lingkungan.
- 4) A. Prinsip industri yang mengeluarkan bahan cemaran lebih besar harus membayar lebih banyak. Hal ini sangat bergantung pada konsentrasi dan debit dari limbah buang dari industri yang dimasukkan ke dalam ekosistem, baik sebagai cemaran ke dalam badan air atau emisi udara.
- 5) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 6) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.
- 7) D. Semua jawaban benar, lihat kembali batasan tersebut dalam teks maupun pada rangkuman.

Glosarium

Aborsi	: menggugurkan janin dalam kandungan.
Agromarin	: pertanian di laut.
Alelopati	: sifat tumbuhan mengeluarkan bahan kimia untuk eliminasi jenis lain dalam lingkungannya.
American beech	: <i>fagus grandifolia</i> .
Antioksidan	: penghambat oksidasi.
Arthritis	: radang sendi, ngilu sendi akibat metabolisme tidak sempurna; umum mengenal sebagai rematik atau asam urat.
Autotrofik	: tingkatan trofik yang dapat membuat makanan sendiri, sintesis dari anorganik menjadi organik (fotosintesis) atau dari ikatan kimia satu menjadi ikatan kimia lainnya. (kemosintesis).
Beras Tekad	: beras sintesis dari telo, kacang dan jagung, dibuat atas prakarsa Bung Karno, presiden RI 1.
Biodiversity	: keragaman biologi.
Bioritmik	: ritme kehidupan, perilaku yang berkaitan dengan jam biologis jenis.
Birth control	: pengendalian atau penjarangan kelahiran.
Bleeding	: Pendarahan rahim.
<i>Bovine Spongy Enchelopathy</i> (BSE)	: virus menyerang sapi menimbulkan jala-jala atau lubang pada otak sapi.
Catfish	: ikan lele, hidup di lumpur; predator pembersih lingkungan.
CIT	: <i>California Institute of Technology</i> .
<i>Closed system</i>	: sistem tertutup; <i>ecosystem</i> yang masih mempunyai daur ulang.
Coitus	: coitus yang terputus, mencabut penis dari vagina ketika akan terjadi ejakulasi.
Daya dukung	: Kemampuan wilayah untuk menampung sejumlah jenis organisme yang berkehidupan optimum atau layak.

- Daya dukung optimum : Kemampuan menampung sejumlah individu sesuai kapasitas sumber daya, di mana resistensi lingkungan sama dengan nol atau tidak bekerja karena semua sumber daya yang terdapat telah dimanfaatkan oleh sejumlah anggota populasi .
- Dekomposer : kelompok organisme yang mendekomposisi bahan organik dengan molekul besar atau panjang menjadi bahan organik lain menjadi kecil atau rantai yang lebih pendek.
- Ecosystem* : sistem ekologi yang melibatkan komponen abiotik dan biotik serta interaksinya terhadap lingkungan di mana berada.
- Ekar : acre = 0,405 hektar.
- Ekonomi liberal : sistem ekonomi bebas. Sistem koboi, menganggap sumber daya alam tidak terbatas dalam pemanfaatannya tidak memperhatikan sistem daur ulang limbah.
- Ekonomi ramah lingkungan : sistem ekonomi penuh dengan keterbatasan, sistem *spaceman*, menganggap sumber daya alam penuh keterbatasan dalam pemanfaatannya, sangat memperhatikan sistem daur ulang limbah yang dihasilkan dalam produksinya.
- Eugeneclist : kelompok pecinta perbaikan kualitas manusia agar menjadi super dengan melakukan sterilisasi terhadap kaum inferior, bodoh, malas, pincang, kriminal sehingga dalam jangka dekat terbentuk masyarakat dengan kualitas super atau unggulan.
- Eutrofikasi : pengkayaan hara mineral, yang bersamaan itu terjadi pemiskinan energi dan jenis dalam sistem ekologinya.
- Fenotipe : tipe atau gambaran/bentuk luar dari jenis individu.
- Forest floor : lantai hutan, bagian dasar hutan di atas permukaan tanah.
- Fotosintesis : kemampuan mensintesis dari bahan anorganik (air dan karbon dioksida) menjadi bahan organik (*glukosa*) dengan bantuan cahaya matahari dan klorofil.

Genotipe	: tipe atau gambaran dalam dari susunan gen pembawa sifat diwariskan dari jenis individu.
<i>Gross National Product</i> (GNP)	: pendapatan Nasional Kotor: Ukuran total jumlah pengeluaran oleh pemerintah dan individual dalam barang, jasa atau investasi.
Heterotrofik	: tingkatan trofik yang tidak dapat membuat makanan sendiri, sumber energi berasal dari perubahan ikatan organik dari tingkatan trofik lain dalam sistem ekologi.
Hidroponik	: bertani tanpa tanah, menggunakan media air.
Hiperplasi	: perkembangan akibat terjadi pembelahan sel lebih intensif, ukuran sel sama jumlah bertambah banyak terbentuk perkembangan abnormal atau benjolan (pembengkakan, kanker). Perkembangan abnormal, pembesaran ukuran sel.
Hipertrofi	: melebihi umumnya walaupun jumlah sel tetap sama sehingga tetap terjadi benjolan atau pembengkakan kanker.
Homeostatis lingkungan	: keseimbangan lingkungan, bersifat dinamis setiap ada perubahan akan diikuti oleh adanya keseimbangan yang baru.
Hypothalamus	: bagian dari otak yang mengatur hormon diperlukan tubuh.
Inseminasi Buatan (IB)	: kawin suntik; memasukkan semen atau cairan sperma ke dalam uterus sapi birahi.
<i>Intrauterine device</i> (IUD)	: kontrasepsi mekanik dengan mengganjal dinding rahim agar tidak terbentuk embrio.
Iritabilitas	: kemampuan terkelupas atau teriris.
Juvenil	: tingkat kehidupan fase muda atau anak-anak.
Karnivora	: Tingkatan trofik yang memerlukan sumber energi utama dari daging (pemakan daging).
Kebutuhan primer dan sekunder	: kebutuhan hidup manusia yang pokok atau utama adalah pangan, sandang dan papan. Kebutuhan sekunder adalah bukan utama, yaitu untuk kesenangan hobi dan gengsi.

- Kemosintesis : sintesis menggunakan cara kimia membentuk ikatan molekul satu ke molekul lain sambil memperoleh energi bagi kehidupannya; dimiliki oleh produser dalam ekosistem yang tidak terdapat cahaya matahari/di laut dalam.
- Konsumer : tingkatan trofik mendapatkan energi bagi kehidupannya dari produser atau tingkatan trofik lain dalam bentuk ikatan organik.
- Kontrasepsi : mencegah kehamilan.
- Kultur algae : bertanam ganggang sumber protein.
- Kultur ragi : mencukupi kebutuhan protein melalui sel ragi yang ditumbuhkan pada media organik modern maupun konvensional.
- Kurva Geometrik : pertumbuhan populasi dalam ruang dan makanan yang tidak menjadi pembatas, dipengaruhi oleh potensial biotik dari jenis tersebut.
- Kurva Logistik : pertumbuhan populasi dalam dan makanan yang menjadi pembatas daya dukung lingkungan, dipengaruhi oleh resistensi lingkungan.
- Kwashiokor* : penyakit Balita atau anak-anak di negara berkembang akibat kekurangan pangan dan nutrisi, kahat atau defisiensi protein. Tanda penyakit sebagai malfungsi sistem pencernaan, kulit gatal, perut buncit diikuti busung atau pembengkakan, lemah anggota badan (kaki dan tangan), lemas tubuh, rentan infeksi.
- Kwok's disease (Chinese Restaurant Syndrome)* : akibat kelebihan takaran penyedap rasa (MSG) menyebabkan gangguan dengan gejala antara lain kepala pusing, rasa sangat haus, muka pengab, dada/rusuk ngilu.
- Laju kelahiran : angka kelahiran dalam populasi, menggambarkan banyak individu yang lahir dari populasi tersebut.
- Laju kematian : angka kematian atau mortalitas dalam populasi, gambaran banyak individu yang mati dari populasi tersebut.

- Lingkungan sehat : Lingkungan yang mempunyai ciri sebagai tempat yang cukup ruang bagi pertumbuhan dan pergerakan; udara cukup oksigen, jumlah air cukup bagi metabolisme, terdapat garam biogenik dan tersedia energi bagi proses kehidupan serta bersih dan pada tempatnya.
- Longyam : kombinasi beternak ayam dan bertani ikan yang saling menguntungkan atau sinergis pada sebuah tempat; ayam di bagian atas dan kolam di bawahnya.
- Lumintu : berkesinambungan; berkelanjutan; hari ini ada dan besok serta hari-hari yang lain masih juga tetap ada; lestari dari satu generasi ke generasi yang lain.
- Mabiki : penjarangan kelahiran yang dilakukan di Jepang akibat keterbatasan pangan dan protein yang tersedia.
- Mature : fase perkembangan dewasa, populasi masa reproduktif.
- Metode ritmik : pantang berkala, metode penjarangan kelahiran dengan tidak melakukan coitus ketika sedang terjadi ovulasi.
- Migrasi : perpindahan dari populasi, positif jika terdapat individu lain tempat masuk (*Emigrasi*) dan negatif jika individu dari populasi tersebut keluar (*Emigrasi*). I = impor = masuk ke dalam negeri dan E = Ekspor = keluar dari negara tersebut.
- Mono Sodium Glutamat* (MSG) : penyedap rasa = bumbu ditambahkan ke dalam makanan berprotein; sodium salt atau garam natrium glutamat, bubuk kristal putih dengan nama dagang, antara lain ajinomoto, vetsin, miwon.
- Nutrikultur : bertanam dengan perhitungan nutrisi pada media yang digunakan. Jika media berupa air disebut hidroponik, namun jika menggunakan udara lebih dominan atau sistem kabut disebut sebagai *aeroponik*.
- Omnivora : trofik level yang sumber energinya berasal dari trofik level lainnya, baik produser, herbivora maupun karnivora.

- Opaque-2 : jenis jagung mutan mengandung protein, asam amino lisin dan triptofan; ditemukan oleh pakar genetika Universitas Purdue Amerika Serikat.
- Open system* : sistem ekologi terbuka, terjadi pemiskinan energi akibat terbawa panen dan keluar dari sistem tersebut; tidak ada atau sedikit sekali daur ulang hara mineral dari sistem itu.
- Ovulasi : pelepasan sel telur jika dibuahi akan terjadi janin; individu baru siap lahir.
- Pencemaran : penambahan material dari luar ke dalam ekosistem yang berakibat buruk bagi kehidupan organisme termasuk manusia.
- Pertanian Biokonservasi : pertanian menyikapi mimik hutan alam dengan menyisakan strata yang kesemuanya adalah produktif bagi kepentingan manusia. (*Multilevel cropping*).
- Pertanian ekstensif : pertanian dengan tujuan meningkatkan hasil panen yang dilakukan dengan membuka lahan baru atau memperluas luas lahan yang diusahakan untuk usaha tani.
- Pertanian Intensif : pertanian pada luasan sama atau tetap yang diusahakan agar hasil panen meningkat perlu menambah atau memberikan asupan baru lebih banyak atau lebih besar.
- Polutan : material pencemar.
- Potensial biotik : kemampuan populasi berkembang diturunkan dari faktor intrinsik, yaitu selisih dari laju kelahiran dan kematian dalam populasi itu sendiri.
- Produser : tingkatan trofik yang mampu memanfaatkan matahari sebagai sumber energi mengubah ikatan anorganik menjadi organik, mengubah gelombang elektro magnetik menjadi energi kimia potensial bagi berlangsungnya sebuah ekosistem.
- Raw material : bahan baku kasar atau bahan dasar.

Resistensi Lingkungan	: faktor koreksi dari pertumbuhan populasi secara geometrik menjadi logistik atau <i>sigmoid</i> akibat adanya daya dukung lingkungan (K). Besar resistensi lingkungan adalah merupakan sumber daya, baik makanan maupun ruang yang belum dimanfaatkan menuju daya dukung tersebut, dengan lambang $(1 - N/K)$ atau sebagai $(K-N)/K$.
Retroaktif	: mampu bekerja kembali jika signal datang. Pil dibuat aktif di malam hari agar mampu mencegah kehamilan dan menjadi tidak aktif ketika pagi hari datang.
Senil	: fase post reproduktif, kelompok umur tua dari populasi.
Social cost	: biaya sosial, ongkos harus dibayar jika terjadi dampak negatif dalam masyarakat.
Transformer	: kelompok pengubah bahan organik dalam molekul kecil menjadi bahan anorganik, hara siap daur ulang dimanfaatkan oleh tumbuhan (produser).
Transgenik	: Pemindahan gen dengan tujuan tertentu. Misalnya, terbentuk kekebalan terhadap penyakit tertentu maupun terjadi proses lebih efisien dalam metabolisme sehingga hasil akhir berupa produk yang meningkat.
Urethra	: saluran kemih.
Uterus	: rahim, tempat zygote berkembang menuju ke dalam kehidupan udara bebas.
Vagina	: otot kelamin wanita.
Vasektomi	: sterilisasi pada kaum pria, dilakukan dengan mengikat saluran sperma sehingga tidak terjadi transfer dari testis ke penis.
Vegan	: trofik level yang mendapat energi sebagian besar dari tumbuhan, sebagai <i>lakto vegan</i> jika masih toleran dengan protein hewani dari susu dan sebagai <i>ovo vegan</i> jika masih toleran dengan protein hewani dari telur.

Zero population growth : pertumbuhan populasi nol, artinya satu datang dan satu lainnya pergi. Dua anak cukup, satu laki-laki dan satu perempuan.

Daftar Pustaka

- Boughey, A.S. (1973). *Ecology of Populations*. 2nd ed. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.
- Cox, B.C; I.N. Healey and P.D. Moore. (1976). *Biogeography*. 2nd ed. London: Blackwell Scientific Publications.
- Kimmins. J.P. (1987). *Forest Ecology*. New York: Macmillan Publishing Co.
- Maxwell, K.E. (1973). *Environment of Life*. California: Dickenson Publishing Company Inc.
- Nair, P.K.R. (1989). *Agroforestry Systems in the Tropics*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. AA Doirdrecht.
- Owen.O.S. (1980). *Natural Resource Conservation. An Ecological Approach*. 3rd ed. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.
- Pearce. D.W. and J.J. Warford. (1993). *World without End*. New York: Oxford University Press, Inc.
- REDD. (2008). *FCA Consolidation Report Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Indonesia*. Forestry Research and Development Agency (FORDA). Ministry of Forestry of The Republic of Indonesia.