

Perkembangan teknologi elektronik yang semakin pesat – yang memicu penulis buku ini untuk melakukan pencarian material baru sebagai bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan divais elektronik dan optoelektronika. Silikon kristal merupakan material yang banyak digunakan dalam divais semikonduktor sebagai komponen dasar dari integrated circuit.

Basri K.

Filosofi 'Cemaran' Air

PT & Press

FILOSOFI, 'Cemaran'

PT & Press

Penyunting

Basri K.

15,5 cm

1,2 cm

15,5 cm

Erma Suryani Sahabuddin yang dilahirkan 19 Mei 1968 di Bantaeng, Sulawesi Selatan

'Cemaran'

Dra. Erma Sahabuddin, M.Pd., M.Pd.K, lahir di Bantaeng, Sulawesi Selatan pada tanggal 19 Mei 1968. Tamat di SDN I Bantaeng, SMPN 3 Bantaeng, SMAN 1 Bantaeng, Strata satu Fakultas Pendidikan MIPA jurusan Pendidikan Kimia Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Lingsi, Selayar dan S1 Kimia Terapan pada Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Pernah bertugas pada Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Nusa Tenggara Timur Kupang (1994-2011). Saat ini bertugas pada Fakultas Ilmu Pendidikan, Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Universitas Negeri Makassar (UNM) Mata kuliah Pokok Pendidikan Lingkungan Hidup dan Sains Terapan.

Hasil Penelitian yang Telah Dipublikasikan : 1. Perbandingan penggunaan starter alami dan starter sintetik dalam pembuatan Nata de nira yang berasal dari pohon nira lontar (2000) 2. Kuantitas Logam berat dan Zat pengawet kimiawi yang terkandung dalam daging sei dan daging olahan yang terdapat dan beredar di kota Kupang (2001) 3. Isolasi dan Identifikasi senyawa metabolit sekunder dari tumbuhan paduk yang tumbuh di daerah pulau Timor (2002) 4. Distribusi kuantitatif logam-logam berat Pb, Cd dan Cu dalam beberapa lapisan sedimen disekitar perairan laut dangkal Pulau Sumbawa (2004) 5. Distribusi kuantitatif Logam-logam berat Fe, Cr dan Zn dalam beberapa lapisan sedimen disekitar perairan Laut dangkal Pulau Sumbawa (2004) 6. Isolasi dan Identifikasi senyawa bioaktif pada ekstrak etanol kulit batang valoa yang tumbuh di NTT (2006) 7. Mikroorganisme kontaminan daging sei pasca pengasapan pada perusahaan daging sei di kota Kupang, NTT (2006) 8. Aktifitas Tanin dan ekstrak kulit psodium gambas asal Pulau Timor dalam serum Broler terhadap pertumbuhan salmonella volorum in vitro (2006). 9. Peningkatan mutu dan inovasi pembelajaran pada beberapa mata kuliah keahlian dan perilaku berkarya untuk mempersiapkan kemampuan mahasiswa dalam mengajar berdasarkan kurikulum berbasis kompetensi di SMAN I Kupang (2008)

Kegiatan Pengabdian pada Masyarakat : 1. Pendamping guru dalam kegiatan sosialisasi dan pengembangan model-model pembelajaran inovatif berbasis multimedia dalam pembelajaran kimia (2007) 2. Semiloka dalam pemantapan kurikulum Matakuliah Pendidikan MIPA yang relevan dengan kebutuhan stake holder. 3. Evaluasi dan instrumen pembelajaran berdasarkan KTSP (2008)

BASRI K. yang dilahirkan 14 Juni 1964 di Pare-Pare, Sulawesi Selatan, sudah gemar menulis sejak masa remaja.

Selain itu, perokok berat ini, yang adalah pengagum Sukarno dan Goenawan Mohamad – yang daripadanya acapkali mengutip ucapan dan tulisan ‘tokoh’ itu, juga menyenangi seni dan keindahan. Kombinasi cita rasa ini, ditambah hobinya membaca, jadi modal dalam menulis.

Buku ini merupakan buku kelimanya, yang digarap dalam bentuk ilmiah *oriented*. Baik buku ini, maupun buku kedua (Pengelolaan Tenaga Kerja dan Keselamatan Kerja, Agustus 2007 dengan Cetakan 3 Januari 2015) dan buku ketiga (Teknik Pemeliharaan, Agustus 2008, dengan cetakan 2 Juni 2012), serta buku keempat (Kamus Istilah Biokimia, Mei 2011 dengan Cetakan 2 Desember 2014) seluruhnya diterbitkan oleh PTK Press – bagian penerbitan Jurusan PTK FKIP Undana, Kupang. Sementara buku pertama, “Oral” yang bernuansa ilmiah populer, telah diterbitkan Lemlit Undana, Maret 2004. Sebanyak 60 esai sebagai kolom Oral tetap tiap minggu di tabloid *METRO* Kupang, dipilih untuk kepentingan buku itu. Ratusan tulisan lainnya telah pula di-muat di berbagai media massa. Misalnya Esai di *Harian Fajar*, kolom Introspeksi di *Sasando Pos*, kolom Uih di Mingguan *Udik*, artikel di *Pos Kupang*, *Warta Undana*, dll. Pada saatnya nanti akan diterbitkan tersendiri. Selain menulis, juga aktif menjadi editor, penyunting, dan *me-layout* dari tak kurang 20-an buku ber-ISBN serta 12-an jurnal ilmiah terbitan Undana.

Segegap kegiatan yang digeluti Dosen Undana ini, tak terlepas dari dukungan istrinya, Nurmiyah Abdullah, yang dinikahinya tahun 1986. Kini, doktor pengelolaan tenaga kerja dan keselamatan kerja ini, telah dikaruniai lima orang anak, tiga putri dan dua putra.

PENGLOLAAN LINGKUNGAN DIUTAMAKAN SEBAGAI PENGELOLAAN MANUSIA DENGAN SEGALA AKSESNYA PADA LINGKUNGAN HIDUPNYA

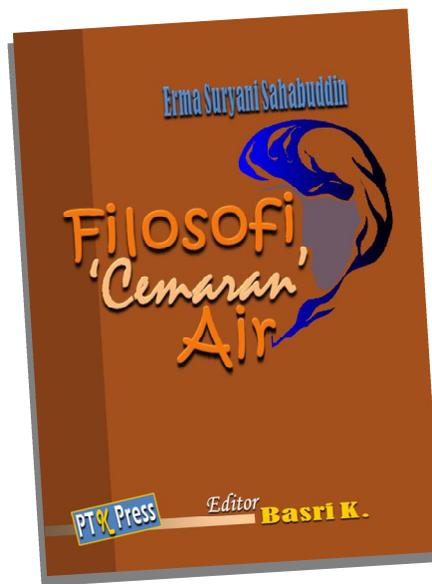
[Lingkungan alami dan Lingkungan buatan]

PTK Press

PTK Press



Erma Suryani Sahabuddin



Cet. 1, Mei 2015

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan

Erma Suryani Sahabuddin, 1968

FILOSOFI ‘Cemaran’ Air/oleh Erma Suryani Sahabuddin;
editor/penyunting, Basri K.; – Cet. 1. -- Kupang: PTK Press, 2015.
xi, 220 hal.; 15,5 x 23 cm

ISBN 978-602-9222-08-1

1. Lingkungan Hidup

I. Judul.

II. Basri K.

.....

FILOSOFI ‘Cemaran’ Air
© **Erma Suryani Sahabuddin**
Hak cipta dilindungi undang-undang

Editor/Penyunting: Basri K.

Desain, Layout, & Ilustrasi: Basri K.

Penerbit: PTK PRESS [bagian penerbitan Jurusan PTK FKIP Undana]

Jl. Adisucipto Penfui Kupang NTT – 85001

Telp. (0380) 881639, Kupang

Cetakan Pertama, Mei 2015

Percetakan: Sekawan

Kata Pengantar

AIR selalu mengubah bentuknya sesuai dengan wadahnya. Air fleksibel dan tidak kaku. Karena itu, ia dapat diterima oleh lingkungannya. Dan saat air mengalami kesulitan dalam mengatasi masalah, ia tidak mengandalkan kekuatan sendiri. Ia dikaruniai kemampuan untuk mengubah dirinya menjadi uap. Itulah, setidaknya makna daripada filosofi air.

Sementara itu, filosofi pencemaran dapat dipandang dari keberadaan manusia yang merupakan komponen lingkungan alam yang bersama-sama dengan komponen alam lainnya, hidup bersama dan mengelola lingkungan dunia, karena manusia adalah makhluk yang memiliki akal dan pikiran, peranannya dalam mengelola lingkungan sangat besar. Manusia dapat dengan mudah mengatur alam dan lingkungannya sesuai dengan yang diinginkan melalui pemanfaatan ipteks yang dikembangkannya.

Dengan demikian, filosofi ‘cemaran’ air menjadi judul buku ini, yang menggambarkan betapa besarnya peran air dalam kehidupan umat manusia. Bahwa dengan demikian pula, buku ini dipersembahkan kepada segenap pembaca, yang bukan sekadar ikut merenungi ‘nasib’ air itu bagi ‘dirinya,’ melainkan suatu anggapan yang absolut, bahwa air merupakan kebutuhan mutlak bagi kehidupan manusia. Secara langsung, air dapat dimanfaatkan bagi pencukupan kebutuhan hidup sehari-hari. Sedangkan secara tidak langsung, air dimanfaatkan bagi upaya pengembangan lingkungan hidupnya. Sumberdaya air adalah kemampuan dan kapasitas potensi air yang dapat dimanfaatkan oleh kegiatan manusia untuk kegiatan sosial ekonomi.

Demikianlah, semoga buku ini memberi bermanfaat.

Makassar, 19 Mei 2015

Penulis,

Erma Suryani Sahabuddin

	halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB	
I. Keberadaan Sumberdaya Air dalam Perspektif Etika Lingkungan	1
A. Ketersediaan Air	2
B. Etika Lingkungan dan Ekologi	5
C. Adab Lingkungan Islami	10
II. Filosofi Air dan Pencemaran	13
A. Filosofi Air	13
B. Filosofi Pencemaran	28
C. Air dan Lingkungan	32
1. Macam-macam pencemaran lingkungan	36
a. Pencemaran udara	37
b. Pencemaran air	39
c. Pencemaran tanah	41
2. Parameter pencemaran lingkungan	43
a. Parameter fisik	43
b. Parameter kimia	43
c. Parameter biologi	45
3. Dampak pencemaran lingkungan	45
a. Punahnya spesies	45
b. Peledakan hama	46
c. Gangguan keseimbangan lingkungan	46
d. Kesuburan tanah berkurang	46
e. Keracunan dan penyakit	46
f. Pemekatan hayati	46
g. Terbentuknya lubang ozon dan efek rumah kaca	46

4. Usaha-usaha mencegah pencemaran lingkungan	47
D. Potensi Berbagai Sumber Air	49
1. Air laut	52
2. Air atmosfer	52
3. Air permukaan	52
4. Air tanah	52
5. Mata air	53
E. Pemanfaatan Sumberdaya Air	53
1. Air irigasi	54
2. Air untuk industri	58
3. Air untuk permukiman	61
III. Kegiatan yang Mempengaruhi Kualitas Air serta Dampaknya	65
A. Kegiatan yang Mempengaruhi Kualitas Air	66
1. Kegiatan alam	72
2. Kegiatan manusia	75
a. Permukiman	76
b. Perindustrian	78
c. Pertambangan	87
d. Pertanian	89
B. Dampak Lingkungan	96
1. Persyaratan kualitas air	98
a. Syarat fisik	98
b. Syarat kimiawi	99
c. Syarat mikrobiologi	100
2. Parameter air bersih	101
a. Parameter air bersih secara fisika	101
b. Parameter air bersih secara kimia	101
3. Kualitas air sungai	101
a. Pencemaran bahan organik	101
b. Pencemaran amonium	103
c. Pencemaran bakteri coli	103
d. Pencemaran logam berat	104
e. Pencemaran pestisida	104

4.	Kualitas air tanah	105
a.	Pencemaran air tanah	106
b.	Penyusupan air asin	111
C.	Dampak Pencemaran Air	114
1.	Dampak terhadap estetika lingkungan	117
2.	Dampak terhadap kehidupan biota air	117
a.	Nutrien tumbuhan	117
b.	Limbah yang membutuhkan O ₂	117
c.	Minyak	118
d.	Sedimen	118
e.	Panas	119
3.	Dampak terhadap kesehatan manusia	119
a.	Penyakit menular	119
b.	Penyakit tidak menular	121
IV.	Pengkajian dan Pengendalian Cemar an Air	125
A.	Pengkajian Cemar an Air	126
1.	Pengendalian pencemaran air (PPA)	126
2.	Teknik pengolahan air buangan	128
a.	Pengolahan secara fisika	128
b.	Pengolahan secara kimia	131
c.	Pengolahan secara biologi	132
3.	Macam-macam istilah air	134
a.	Air murni (akuades)	134
b.	Air bersih	134
c.	Air kotor	135
d.	Air sadah	135
4.	Cara pengolahan air	135
B.	Pengendalian Pencemaran Air	136
1.	Limbah dan sampah rumah tangga	136
2.	Limbah industri	137
3.	Pestisida	138
4.	Intrusi air asin	140
V.	Ikhtisar	145
	SINGKATAN DAN AKRONIM	151
	DAFTAR LAMBANG DAN PERSAMAAN	155

GLOSARIUM	157
INDEKS	203
PUSTAKA ACUAN	217



Daftar Tabel

Tabel	halaman
1. Klasifikasi dampak pencemaran air	115
2. Contoh beberapa penyakit menular yang dapat tersebar melalui air yang tercemar	120
3. Petunjuk umum tentang keamanan dalam menggunakan senyawa kimia pestisida di lapangan	128



Daftar Gambar

Gambar	halaman
1. Skema diagram pengolahan fisik	129
2. Skema diagram pengolahan kimiawi	131
3. Skema diagram pengolahan biologis	132

Bab I



Keberadaan Sumberdaya Air dalam Perspektif Etika Lingkungan

AIR merupakan salah satu kebutuhan hidup yang paling penting. Tanpa air, berbagai proses kehidupan tidak dapat berlangsung. Meskipun air termasuk SDA yang dapat diperbaharui oleh alam, kenyataan menunjukkan bahwa ketersediaan air tawar tidak pernah bertambah.

Di Indonesia, akses terhadap air bersih sering menjadi masalah. Pesatnya pembangunan di berbagai sektor dan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi memerlukan air dalam jumlah yang besar yang seringkali tidak tersedia. Kualitas air pun saat ini bukannya tanpa masalah. Masuknya bahan pencemar ke dalam air menyebabkan kualitas air tidak sesuai lagi bagi berbagai keperluan, termasuk untuk keperluan air minum.

Berbagai gangguan kesehatan dapat ditimbulkan oleh konsumsi air yang sudah tercemar B3, seperti detergen, nitrat, fosfat, bakteri, dan virus. Kontaminasi air yang terjadi di mana-mana, umumnya disebabkan masuknya limbah manusia yang membawa bibit penyakit ke dalam perairan yang dapat dideteksi melalui pengukuran jumlah bakteri koli tinja. Limbah manusia menyebabkan tingginya risiko kesehatan bagi penduduk yang terpaksa mengambil air sungai dan waduk untuk keperluan air minum, mandi, dan mencuci.

Kemampuan sungai untuk mendukung kehidupan organisme air juga berkurang, karena penguraian polutan menurunkan oksigen terlarut dalam air. Berbeda halnya dengan pencemaran oleh tinja, menurunnya oksigen (O_2) tidak berpengaruh pada kesehatan. Tetapi dampak negatifnya terhadap perekonomian perikanan air tawar sangat penting. Limbah rumah tangga dan efluen industri adalah penyebab utama, sedangkan limpasan hara pertanian akibat penggunaan pupuk kimia berlebihan merupakan penyumbang lainnya. Walaupun turunnya kadar O_2 terlarut tidak berpengaruh di sepanjang sungai sebagaimana halnya pencemaran koliform tinja, pemantauan pada tahun 2009-2011 menunjukkan $\pm 36,82\%$ contoh air sungai di Jawa, Sumatra, dan Kalimantan memiliki kadar oksigen terlarut < 3 mg/l yang dapat membahayakan kehidupan ikan.

Masalahnya bertambah buruk bila sungai melintasi kota besar dan kawasan industri. Pada tahun 2001, sekitar empat dari 15 sungai di Pulau Jawa sudah tidak mampu mendukung kehidupan ikan. Di daerah di mana industri, pertambangan dan energi, serta penggunaan bahan kimia pertanian semakin intensif, sungai menjadi lebih tercemar oleh limbah kimia beracun dan logam berat, seperti plumbum (Pb), kadmium (Cd), dan air raksa.

A. Ketersediaan Air

Indonesia dengan luas daratan $\pm 2.027.870$ km² memiliki curah hujan yang relatif tinggi, bervariasi antara 700–7.000 mm setahun, dan angka penguapan ± 1.200 –1.400 mm setahun. Bila curah hujan rata-rata 2.640 mm/tahun dan kehilangan air sebesar 1.400 mm/tahun, maka potensi air yang masih tersedia adalah 1.240 mm/tahun. Sebenarnya bila seluruh potensi air itu tersedia mantap sepanjang tahun, tidak ada masalah dengan penyediaan air tawar.

POTENSI sumberdaya air yang ada di Indonesia rata-rata 18.845 m³/kapita/tahun. Dari jumlah tersebut, rata-rata hanya 4.000 m³/kapita/

tahun yang dapat dijamin ketersediaannya pada tahun 2001, menurun menjadi 3.270 m³ pada tahun 2010. Ini berarti hanya 25–35% potensi air yang ada berupa aliran mantap dan dapat dimanfaatkan. Sisanya adalah aliran tidak mantap yang mengalir ke laut.

Ketersediaan air per kapita di berbagai daerah tidak sama. Perbedaan itu tergantung pada topografi, karakteristik sungai, luas daerah tangkapan air, iklim, intervensi manusia, dan jumlah penduduk. Dengan demikian, kelangkaan air dapat terjadi di tempat-tempat tertentu, selain kurangnya air di musim kemarau.

Sebagian besar air tawar yang digunakan di Indonesia berasal dari sungai, danau, dan waduk. Di Indonesia, terdapat ± 200 sungai penting. Potensi air aliran permukaan per kapita sangat bervariasi dan sebagian di antaranya tidak dapat dimanfaatkan. Untuk menyimpan kelebihan air dan mengalirkannya dengan kecepatan tertentu, telah dibangun waduk dengan membendung aliran sungai. Di samping itu, waduk juga penting untuk pengendalian banjir, pembangkit listrik, irigasi, serta untuk keperluan budidaya perikanan.

Ekosistem perairan tawar di Indonesia lainnya adalah danau. Sebagian besar danau-danau di Indonesia merupakan sumber kegiatan perikanan penting. Luas perairan danau alam di Indonesia ± 1,85 juta hektar. Danau alam tersebut tersebar tidak merata di seluruh Indonesia. Meskipun persediaan airnya cukup besar, umumnya danau-danau di Indonesia difokuskan untuk tujuan wisata. Hanya sebagian kecil air danau dimanfaatkan untuk keperluan domestik.

Ketersediaan air tanah dan kedalamannya bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya, tergantung pada sifat geologi daerah setempat. Potensi air tanah di Indonesia > 450 miliar m³, yang diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan air sampai tahun 2020.

Walaupun potensinya lebih kecil dibandingkan air permukaan, air tanah merupakan sumber air yang penting bagi keperluan rumah tangga dan pasok air industri di daerah urban. Pengambilan air tanah di Pulau Jawa untuk keperluan rumah tangga diperkirakan > 8,7 miliar m³/tahun.

Tetapi, pesatnya pembangunan di sektor industri serta cepatnya laju pertumbuhan penduduk menyebabkan pemanfaatan air tanah un-

tuk berbagai keperluan semakin meningkat. Di beberapa tempat, kenyataan ini memberi dampak terhadap penurunan permukaan air tanah. Dampak itu, misalnya dibuktikan dari penelitian Unnisa dan Srivani (2008: 19) yang dilakukannya di Hyderabad, salah satu kota besar India dengan jumlah penduduk lebih dari enam juta dan sejauhmana limbah padat yang dihasilkan dari kota tersebut diperkirakan 2.000–2.500 ton per hari. Limbah padat yang dihasilkan dibuang pada TPA di daerah dataran rendah. Telah ada keprihatinan serius tentang pencemaran air tanah ketika limbah tersebut dibuang. Untuk itu, dampak dari pembuangan limbah padat perkotaan pada karakteristik air tanah diselidiki dengan mendapatkan sampel air tanah dari dua lokasi. Sampel air tanah, baik di lokasi pembuangan yang tercemar dan tidak layak untuk konsumsi manusia dan penggunaan domestik tetapi dapat digunakan untuk tujuan irigasi. Analisis secara keseluruhan menunjukkan risiko yang meningkat untuk kelestarian sumberdaya air tanah.

Jadi, krisis air tidaklah dalam hal jumlah saja, kualitasnya pun kini menjadi masalah. Pulau Jawa saat ini dihadapkan pada berbagai permasalahan dengan menurunnya kualitas air akibat limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri, pertanian, dan limbah rumah tangga. Kondisi sanitasi rumah tangga yang tidak memenuhi persyaratan kesehatan, memberikan kontribusi besar terhadap kondisi kualitas air di Indonesia. Terbatasnya usaha pengolahan limbah penduduk dan semakin padatnya penduduk di perkotaan, menyebabkan limbah yang dihasilkan melebihi daya asimilasi sungai-sungai. Kondisi ini semakin diperburuk oleh tingginya beban buangan industri.

Isu-isu kerusakan lingkungan menghadirkan persoalan etika yang rumit. Karena meskipun pada dasarnya alam sendiri sudah diakui sungguh memiliki nilai dan berharga, tetapi kenyataannya terus terjadi pencemaran dan perusakan. Keadaan ini memunculkan banyak pertanyaan. Apakah manusia sudah melupakan hal-hal ini atau manusia sudah kehilangan rasa cinta pada alam? Bagaimanakah sesungguhnya manusia memahami alam dan bagaimana cara menggunakannya?

B. Etika Lingkungan dan Ekologi

Perhatian kita pada isu lingkungan ini juga memunculkan pertanyaan tentang bagaimana keterkaitan dan relasi kita dengan generasi yang akan datang. Kita juga diajak berpikir ke depan.

Bagaimana situasi alam atau lingkungan di masa yang akan datang? Kita akan menyadari bahwa relasi kita dengan generasi akan datang, yang memang tidak bisa timbal-balik. Karenanya ada teori etika lingkungan yang secara khusus memberi bobot pertimbangan pada kepentingan generasi mendatang dalam membahas isu lingkungan ini. Para penganut utilitarianisme, secara khusus, memandang generasi yang akan datang dipengaruhi oleh apa yang kita lakukan sekarang. Apapun yang kita lakukan pada alam akan mempengaruhi mereka. Pernyataan ini turut memunculkan beberapa pandangan tentang etika lingkungan dengan kekhususannya dalam pendekatannya terhadap alam dan lingkungan.

KRISIS lingkungan global yang terjadi pada saat sekarang ini, antara lain terjadinya kerusakan [hutan, tanah, lapisan ozon (O_3)], pencemaran (air, tanah, udara, laut), kepunahan sumberdaya energi dan mineral, kepunahan keanekaragaman hayati, dan lain-lain. Di mana krisis lingkungan global sudah merupakan ancaman yang sangat serius dan nyata terhadap kehidupan manusia. Apa yang menjadi akar permasalahan dalam krisis lingkungan hidup? Yang menjadi akar permasalahan krisis lingkungan global, adalah: **pertama**, kesalahan cara pandang (paradigma) manusia terhadap dirinya, alam, dan hubungan manusia dengan alam. Sifat manusia yang tamak, rakus, pola konsumsi, eksploitatif, dan tidak bertanggung jawab merupakan salah satu permasalahan yang ada. **Kedua**, kesalahan paradigma pembangunan, di mana pembangunan berkelanjutan hanya sebagai jargon, yang pada kenyataannya pembangunan yang terjadi mengorbankan lingkungan. **Ketiga**, adanya *bad government*, *bad ethics* seperti KKN yang menyebabkan izin eksploitasi tanpa peduli lingkungan hidup.

Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut di atas, maka perlu dilakukan tindakan agar krisis lingkungan dapat teratasi, yakni: **pertama**, perubahan perilaku. **Kedua**, perubahan paradigma pembangunan dari pembangunan berkelanjutan ke pembangunan keberlanjutan ekologi. **Ketiga**, perlunya *good environmental government*, yang memiliki komitmen moral yang konsisten (individu, masyarakat, dunia usaha, dan pemerintah). Dalam hal pembangunan ekologi atau lingkungan yang berkelanjutan, diperlukan adanya audit lingkungan. Hal ini ditekankan oleh Tripathy (2011: 9) dengan memberi contoh pada aktivitas industri, bahwa audit lingkungan adalah proses di mana organisasi kinerja lingkungan diuji terhadap kebijakan lingkungan dan tujuannya. UU lingkungan saat ini, persyaratan pemasaran, dan harapan masyarakat mencerminkan peningkatan kesadaran akan kebutuhan untuk melindungi lingkungan yang mengharuskan semua aspek industri yang akan dilakukan dengan cara yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Audit lingkungan dapat membantu industri untuk bertanggung jawab terhadap lingkungan dan menunjukkan tanggung jawab ini kepada masyarakat. Audit lingkungan mengacu pada laporan penilaian dampak lingkungan dari industri yang ada. Ini adalah alat untuk menilai sistem manajemen lingkungan, kebijakan, dan peralatan. Kebutuhan untuk melakukan audit lingkungan hidup bervariasi untuk organisasi yang berbeda, sesuai dengan tujuan audit. Dengan demikian, prosedur audit lingkungan harus direncanakan sesuai dengan tujuan audit. Harus digabungkan dengan alat lainnya, seperti AMDAL dan Sistem Manajemen Lingkungan (EMS) untuk hasil yang lebih baik. Pelaksanaan yang efektif dari audit lingkungan membantu dalam minimalisasi risiko lingkungan dengan biaya rendah. Tindakan semacam itulah yang memungkinkan terbetiknya perilaku yang beretika dalam lingkungan.

Etika lingkungan disebut juga etika ekologi. Etika ekologi selanjutnya dibedakan menjadi dua, yaitu *etika ekologi dalam* dan *etika ekologi dangkal*. Selain itu, etika lingkungan juga dibedakan lagi sebagai *etika pelestarian* dan *etika pemeliharaan*. Etika pelestarian adalah etika yang menekankan pada mengusahakan pelestarian alam untuk kepentingan manusia; sedangkan etika pemeliharaan dimaksudkan untuk mendu-

kung usaha pemeliharaan lingkungan untuk kepentingan semua makhluk. Sementara itu, yang dimaksud etika ekologi dalam adalah pendekatan terhadap lingkungan yang melihat pentingnya memahami lingkungan sebagai keseluruhan kehidupan yang saling menopang, sehingga semua unsur mempunyai arti dan makna yang sama. Etika ekologi ini memiliki prinsip, bahwa semua bentuk kehidupan memiliki nilai bawaan dan karena itu memiliki hak untuk menuntut penghargaan karena harga diri, hak untuk hidup, dan hak untuk berkembang. Premisnya adalah bahwa lingkungan moral harus melampaui spesies manusia dengan memasukkan komunitas yang lebih luas¹.

Bagi etika ekologi, dalam alam memiliki fungsi sebagai penopang kehidupan. Untuk itu, lingkungan patut dihargai dan diperlakukan dengan cara yang baik. Etika ini juga disebut etika lingkungan ekstensionisme dan etika lingkungan preservasi. Etika ini menekankan pemeliharaan alam bukan hanya demi manusia, tetapi juga demi alam itu sendiri. Karena alam disadari sebagai penopang kehidupan manusia dan seluruh ciptaan. Untuk itu, manusia dipanggil untuk memelihara alam demi kepentingan bersama.

Etika lingkungan ini dibagi lagi menjadi beberapa macam menurut fokus perhatiannya, yaitu neo-utilitarisme, zoosentrisme, biosentrisme, dan ekosentrisme. Etika lingkungan neo-utilitarisme merupakan pengembangan etika utilitarisme Jeremy Bentham yang menekankan kebaikan untuk semua. Dalam konteks etika lingkungan, maka kebaikan yang dimaksudkan, ditujukan untuk seluruh makhluk. Tokoh yang mempelopori etika ini, adalah Peter Singer. Dia beranggapan, bahwa menyakiti binatang dapat dianggap sebagai perbuatan tidak bermoral.

Etika lingkungan zoosentrisme, adalah etika yang menekankan perjuangan hak-hak binatang, karenanya etika ini juga disebut etika pembebasan binatang. Tokoh bidang etika ini, adalah Charles Brich. Menurut etika ini, binatang mempunyai hak untuk menikmati kesenangan karena mereka dapat merasa senang dan harus dicegah dari penderitaan. Sehingga bagi para penganut etika ini, rasa senang dan penderitaan binatang dijadikan salah satu standar moral. Menurut *The*

¹ maksudnya adalah komunitas yang menyertakan binatang dan tumbuhan serta alam

Society for the Prevention of Cruelty to Animals, perasaan senang dan menderita mewajibkan manusia secara moral memperlakukan binatang dengan penuh belas kasih.

Etika lingkungan biosentrisme, adalah etika lingkungan yang lebih menekankan kehidupan sebagai standar moral. Salah satu tokoh pengikutnya, adalah Kenneth Goodpaster. Menurut Goodpaster rasa senang atau menderita bukanlah tujuan pada dirinya sendiri. Bukan senang atau menderita akhirnya, melainkan kemampuan untuk hidup atau kepentingan untuk hidup. Kepentingan untuk hidup yang harus dijadikan standar moral. Sehingga bukan hanya manusia dan binatang saja yang harus dihargai secara moral, tetapi juga tumbuhan. Sebab menurut Paul Taylor, tumbuhan dan binatang secara moral dapat dirugikan dan atau diuntungkan dalam proses perjuangan untuk hidup mereka sendiri, seperti bertumbuh dan bereproduksi.

Etika lingkungan ekosentrisme, adalah sebutan untuk etika yang menekankan keterkaitan seluruh organisme dan anorganisme dalam ekosistem. Setiap individu dalam ekosistem diyakini terkait satu dengan yang lain secara mutual. Planet bumi menurut pandangan etika ini adalah semacam pabrik integral, suatu keseluruhan organisme yang saling membutuhkan, saling menopang, dan saling memerlukan. Sehingga proses hidup-mati harus terjadi dan menjadi bagian dalam tata kehidupan ekosistem. Kematian dan kehidupan haruslah diterima secara seimbang. Hukum alam memungkinkan makhluk saling memangsa di antara semua spesies. Ini menjadi alasan mengapa manusia boleh memakan unsur-unsur yang ada di alam, seperti binatang maupun tumbuhan. Menurut salah satu tokohnya, John B. Cobb, etika ini mengusahakan keseimbangan antara kepentingan individu dengan kepentingan keseluruhan dalam ekosistem.

Secara umum etika ekologi dalam ini menekankan hal-hal berikut: (1) manusia adalah bagian dari alam; (2) menekankan hak hidup makhluk lain, walaupun dapat dimanfaatkan oleh manusia, tidak boleh diperlakukan sewenang-wenang; (3) prihatin akan perasaan semua makhluk dan sedih kalau alam diperlakukan sewenang-wenang; (4) kebijakan manajemen lingkungan bagi semua makhluk; (5) alam harus dilestarikan dan tidak dikuasai; (6) pentingnya melindungi keaneka-

ragaman hayati; (7) menghargai dan memelihara tata alam; (8) mengutamakan tujuan jangka panjang sesuai ekosistem; dan (9) mengkritik sistem ekonomi dan politik dan menyodorkan sistem alternatif, yaitu sistem mengambil sambil memelihara.

Sedangkan etika ekologi dangkal, adalah pendekatan terhadap lingkungan yang menekankan bahwa lingkungan sebagai sarana untuk kepentingan manusia, yang bersifat antroposentris. Etika ekologi dangkal ini biasanya diterapkan pada filsafat rasionalisme dan humanisme serta ilmu pengetahuan mekanistik yang kemudian diikuti dan dianut oleh banyak ahli lingkungan. Kebanyakan para ahli lingkungan ini memiliki pandangan, bahwa alam bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia.

Etika ini dapat digolongkan menjadi dua, yakni etika antroposentris yang menekankan segi estetika dari alam dan etika antroposentris yang mengutamakan kepentingan generasi penerus. Etika ekologi dangkal yang berkaitan dengan kepentingan estetika didukung oleh dua tokohnya, yakni Eugene Hargrove dan Mark Sagoff. Menurut mereka etika lingkungan harus dicari pada aneka kepentingan manusia, secara khusus kepentingan estetika. Sedangkan etika antroposentris yang mementingkan kesejahteraan generasi penerus mendasarkan pada perlindungan atau konservasi alam yang ditujukan untuk generasi penerus manusia.

Etika yang antroposentris ini memahami, bahwa alam merupakan sumber hidup manusia. Etika ini menekankan hal-hal berikut ini: (1) manusia terpisah dari alam; (2) mengutamakan hak-hak manusia atas alam, tetapi tidak menekankan tanggung jawab manusia; (3) mengutamakan perasaan manusia sebagai pusat keprihatinannya; (4) kebijakan dan manajemen SDA untuk kepentingan manusia; (5) norma utama adalah untung rugi; (6) mengutamakan rencana jangka pendek; (7) pemecahan krisis ekologis melalui pengaturan jumlah penduduk, khususnya di negara miskin; dan (8) menerima secara positif pertumbuhan ekonomi.

Demikian etika lingkungan dapat digolongkan ke dalam dua kelompok, yaitu etika lingkungan dalam dan etika lingkungan dangkal. Keduanya memiliki beberapa perbedaan-perbedaan seperti di atas.

Tetapi bukan berarti munculnya etika lingkungan ini memberi jawab langsung atas pertanyaan mengapa terjadi kerusakan lingkungan. Namun paling tidak dengan adanya gambaran etika lingkungan ini dapat sedikit menguraikan norma-norma mana yang dipakai oleh manusia dalam melakukan pendekatan terhadap alam ini. Dengan demikian, etika lingkungan berusaha memberi sumbangan dengan beberapa norma yang ditawarkan untuk mengungkap dan mencegah terjadinya kerusakan lingkungan (Effendi, 2008).

C. Adab Lingkungan Islami

Dalam pandangan Islam, permasalahan lingkungan yang terjadi saat sekarang ini disebabkan oleh dua hal, yaitu: pertama, karena kejadian alam yang harus terjadi sebagai sebuah proses dinamika alam itu sendiri. Kedua, sebagai akibat dari perbuatan manusia. Eksploitasi SDA yang tidak ramah lingkungan menimbulkan kerusakan yang akhirnya juga mengancam eksistensi manusia. Berkaitan dengan hal ini Allah berfirman: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS 30: 41).

ISLAM sebagai *rahmatan lil'alam* telah mengatur adab terhadap lingkungan. Hal ini dapat kita temukan dalam banyak keterangan, sejarah, serta aktivitas ibadah *magh'dah*. Yang paling jelas adalah refleksi kesadaran lingkungan dalam ibadah haji. Ketika mulai berihram atau memasuki tanah Haram, jemaah haji atau manusia tidak diperkenankan menyakiti binatang, menumbangkan pepohonan, bahkan memetik rumput sekalipun (Republika, 2007). Konsep pelestarian lingkungan juga telah diaplikasikan oleh Rasulullah dengan memperkenalkan kawasan lindung (*hima'*), yakni suatu kawasan yang khusus dilindungi pemerintah atas dasar syari'at guna melestarikan kehidupan liar di hutan. Nabi pernah mencagarkan kawasan sekitar Madinah sebagai *hima'*

guna melindungi lembah, padang rumput, dan tumbuhan yang ada di dalamnya. Selain *hima'*, Islam juga memperkenalkan konsep *ihya'ul mawat*, yakni usaha mengelola lahan yang masih belum bermanfaat menjadi berguna bagi manusia.

Manusia diciptakan oleh Allah untuk beribadah kepada-Nya. Hal ini dengan jelas dinyatakan dalam ayat berikut: "Dan tidaklah Aku ciptakan jin dan manusia kecuali untuk beribadah kepada-Ku" (QS 51: 56). Ibadah dalam arti luas sesuai firman Allah tersebut sebagai segala sesuatu yang diridhoi Allah SWT dalam bentuk ucapan dan perbuatan lahir atau batin. Mengacu pada pengertian ini, ibadah bukan hanya yang menyangkut ritual, tetapi meliputi totalitas aspek kehidupan dari yang sangat kecil, seperti masuk kamar mandi sampai yang besar, seperti prinsip bernegara. Salah satu aspek ibadah yang sangat penting yang paling sering dilupakan oleh masyarakat muslim adalah aspek lingkungan hidup.

Islam adalah agama yang sangat memperhatikan keseimbangan dan kelestarian lingkungan. Apabila masyarakat muslim memahami, bahwa interaksi yang benar dengan lingkungan juga merupakan ibadah mungkin kerusakan lingkungan tidak akan sebesar yang terjadi saat ini. Demikian halnya secara khusus terhadap terjadinya kerusakan sumberdaya air, karena ulah dan perlakuan manusia.

Bab II



Filosofi Air dan Pencemaran

SEBELUM membahas terlalu jauh mengenai pencemaran air, sebaiknya kita menengok terlebih dahulu mengenai apa sebenarnya nilai yang terkandung dalam air.

Air memperoleh sesuatu dengan kelembutan, tanpa merusak dan mengacaukan yang lain. Meskipun air bergerak pelan dan sedikit demi sedikit, tetapi ia dapat menembus bebatuan yang keras. Ingat, hati seseorang hanya dapat dibuka dengan kelembutan dan kasih, bukan dengan paksaan dan kekerasan. Kekerasan hanya menimbulkan dendam, dan paksaan hanya menuai keinginan membela diri.

A. Filosofi Air

Air selalu mengubah bentuknya sesuai dengan wadahnya. Air fleksibel dan tidak kaku. Karena itu, ia dapat diterima oleh lingkungannya. Dan, saat air mengalami kesulitan dalam mengatasi masalah, ia tidak mengandalkan kekuatan sendiri. Ia dikaruniai kemampuan untuk mengubah dirinya menjadi uap.

AIR bersifat mengalah, namun selalu tidak pernah kalah. Air memadamkan api dan membersihkan kotoran. Kalau sekiranya akan terkalahkan, air meloloskan diri dalam bentuk uap dan kembali mengembun. Air merapuhkan besi yang kuat, sehingga menjadi abu. Bilamana ber-

temu batu karang, ia akan berbelok untuk kemudian melanjutkan perjalanannya kembali.

Air dapat menjernihkan udara, sehingga angin menjadi mati (saat hujan turun). Air dapat menaklukkan hambatan dengan segala kerendahan hati. Air sadar bahwa tak ada satu kekuatan pun yang dapat mencegah perjalanannya menuju lautan. Air menang dengan mengalahkan. Ia tak pernah menyerang, namun selalu menang pada akhir perjuangannya.

Air adalah zat yang sangat dibutuhkan oleh manusia agar tetap hidup. Bahkan semua makhluk hidup pasti membutuhkan air. Kehadiran air di dunia ini sangat memberikan manfaat besar, penting, dan selalu dibutuhkan oleh semua makhluk. Tapi, air juga sanggup mendatangkan bahaya, tengok saja banjir dan tanah longsor. Air dapat larut dengan bahan lain untuk memberikan cita rasa yang berbeda-beda, seperti sirup, kopi, teh, ataupun jus.

Sanggupkah manusia menjadi seperti air? Air memberikan manfaat, kesenangan, kenikmatan, dan kepuasan saat meneguknya. Bisakah manusia dilebur bersama manusia lain, sehingga menjadi unik nan dinamis? Bahkan, dapat menghasilkan karya kritis dan produktif laksana air sungai yang terus mengalir? Sesungguhnya, manusia yang efektif adalah manusia yang berkontribusi bagi sesamanya, tidak diam! Air yang diam akan menjadi kotor dan sumber penyakit.

Karena mempunyai massa, air akan ditarik oleh gaya gravitasi bumi, sehingga ia mengalir ke tempat yang lebih rendah. Akan tetapi, ketika molekul air mengecil, air bisa menuju pada proses penguapan air. Setelah molekul air yang menguap berkumpul menjadi awan, lama-kelamaan air menjadi berat, akhirnya jatuh menjadi hujan.

Ketika manusia merendahkan diri, maka derajatnya akan naik. Sebaliknya, ketika mereka merasa besar, maka derajatnya mereka akan jatuh. Ada kehidupan dalam air yang mengalir. Tetapi di dalam air yang tergenang, terdapat berbagai penyakit. Bahkan, ada yang tidak terdapat kehidupan di dalamnya. Oleh karena itu, manusia harus terus bergerak, karena berhenti artinya penyakit bahkan kematian.

Itulah beberapa nilai yang dapat kita ambil dari mempelajari air. Namun, ternyata air yang begitu bernilai tersebut saat ini tengah berada

dalam fase pengrusakan oleh tangan manusia sendiri. Padahal air bila dikaji lebih dalam, maka akan lebih banyak lagi nilai yang didapatkan.

Pencarian air (H_2O) dalam basis kehidupan yang kita kenal saat ini sangatlah penting. Pencarian terhadap air sudah sering dilakukan dan dikaji secara teori oleh beberapa ilmuwan, khususnya geologi yang kini tergabung dalam ilmu multidisiplin salah satunya kita kenal dengan kajian ilmu astrobiologi. Pertanyaan yang sering diajukan beberapa ilmuwan adalah bagaimana kehidupan dimulai dan berkembang, jika telah ditemukan bentuk kehidupan di tempat lain dari kosmos, bagaimana masa depan untuk kehidupan di planet kita. Meskipun pertanyaan-pertanyaan ini menggoda para ilmuwan untuk memiliki imajinasi mengenai kehidupan di tempat lain, ilmuwan yang melakukan penelitian lebih lanjut baru mampu secara sistematis menyelidiki subjek dari berbagai perspektif, termasuk mikrobiologi, astrokimia, evolusi planet, genomika, atmosfer kimia, geobiologi, dan masih banyak lagi.

Dilihat dari luar angkasa, daratan di bumi muncul dan terlihat sebagai pulau kecil dalam lautan luas. Meskipun ada air di planet dan satelit lain, tetapi belum ditemukan planet dengan permukaan lautan seperti bumi. Ukuran planet, jaraknya dari matahari dan geologi yang terbentuk seakan semua saling berinteraksi menghasilkan hamparan besar air yang kita temukan di sini dan hari ini.

Diketahui air dalam bentuk cair begitu penting bagi semua bentuk kehidupan, maka pencarian kehidupan lain di alam semesta berpusat pada pencarian air. Beberapa ahli geologi berpikir bahwa gunung berapi meletus akan menghasilkan uap air dan gas-gas lainnya yang kemudian membentuk awal lautan di bumi kita. Beberapa ahli geologi lain mempercayakan bahwa setidaknya beberapa dari lautan yang ada di bumi berasal dari komet dan meteorit yang mengandung air pada saat planet dalam usia muda. Hal ini diperkuat dengan ditemukannya sebuah meteorit di Texas yang mengandung sejumlah air yang terkandung dalam kristal halit. Kandungan yang seperti ini dipercaya hadir \pm 4,5 miliar tahun yang lalu ketika sistem tata surya sedang dalam tahap pembentukan. Dalam kristal tersebut ditemukan beberapa bakteri tua yang tertangkap di antaranya.

Para ilmuwan yang mempelajari meteorit, terutama yang kaya akan karbon menemukan bahwa terdapat kandungan air sebesar 20% dari sampel yang mereka miliki. Bukti ini menunjukkan, bahwa kemungkinan air terlebih dahulu hadir sebelum bumi terbentuk dan berasal dari benda luar angkasa. Bagaimanapun asalnya, air pertama yang hadir di bumi dalam bentuk uap yang tergantung bebas di atas permukaan planet yang masih panas. Setelah kerak bumi mulai mendingin, uap air mulai terkondensasi menjadi hujan dan kemudian berbaliklah sebuah planet yang tandus kini menjadi apa yang para astronot lihat, yaitu *planet biru*.

Saat ini kita bisa menemukan banyak air di bumi. Tetapi sebagian besar, $\pm 97\%$ adalah air tanpa pengolahan dalam artian tidak untuk diminum atau dipakai karena 2% air terkunci dalam es (air bawah tanah, sungai, danau, dan gunung es yang ada di kutub bumi). Air dalam bentuk es dapat ditemukan di satelit Jupiter, yaitu Europa yang diyakini memiliki kandungan air lebih banyak daripada bumi.

Air adalah senyawa dengan dua bagian hidrogen (H) dan satu bagian O_2 . Tidak seperti beberapa planet besar, seperti Jupiter (hidrogen berlimpah), massa gravitasi bumi tidak cukup untuk menahan hidrogen. Sebagian besar dari itu melarikan diri ke ruang angkasa. Sebagai elemen paling ringan, hidrogen membutuhkan elemen berat untuk menangkap dan menahan sebagai jangkar. O_2 , belerang, dan karbon semua bertindak sebagai jangkar tersebut. Ketika dua atom hidrogen dihubungkan dengan atom O_2 , mereka berbagi elektron dan hasilnya adalah air. Molekul airpun cukup ringan untuk menjadi udara dan dengan demikian menguap dan beredar di atmosfer.

Matahari, bulan, rotasi bumi semua dalam keadaan tetap, sedangkan air terus bergerak, beredar melalui lautan dan atmosfer kita. Hampir satu triliun ton air terus menguap setiap harinya karena akibat reaksi dari panas matahari. Kemudian uap tersebut mengembun dan jatuh lagi sebagai hujan air, hujan es, dan salju. Meskipun jumlah air di bumi terlihat konstan secara angka, tapi keberadaannya tidaklah merata. Air mengalir di sungai, mengendap di tanaman, dan merayap melalui tanah menjadi akuifer yang luas di bawah permukaan bumi kita. Para ilmuwan memperkirakan 75 dari 99% air di bumi disimpan dalam

akuifer yang luas di bawah permukaan bumi, di mana 75% merupakan gabungan dari anak sungai, sungai, dan danau jika digabungkan. Tetapi di banyak tempat, seperti Afrika, air merupakan komoditas yang langka. Baru dapat ditemukan di daerah lapisan bawah tanah batuan yang berpori, seperti batu berpasir, di mana air terjebak di antara partikel. Cadangan air seperti ini bisa dijadikan sebagai sumber yang mampu mencakup ribuan kilometer persegi mata air dan sumur di seluruh dunia.

Semua organisme di bumi memerlukan air untuk bertahan. Hal ini dimaksudkan bahwa air merupakan elemen penting agar fungsi sel tetap terjaga sebagaimana mestinya. Tanpa air dalam bentuk mineral, maka bahan makanan (nutrien) dan garam tidak bersirkulasi dengan baik, yang kemudian akan pecah dan bergabung dengan cairan lainnya. Baik tanaman maupun hewan, akan melakukan sekresi, mengairi sel, melarutkan mineral, melakukan impuls, pelarutan kalsium (Ca) dalam tulang, dan hidrat jaringan semuanya memerlukan bantuan air.

Bahkan O_2 yang kita hirup adalah hasil dari air. Tanaman menggunakan energi matahari dan air untuk bergabung hidrogen dengan karbon untuk menghasilkan makanan mereka. Kegiatan ini melepaskan atom O_2 ke atmosfer. Namun, tidak semua air yang digunakan untuk produksi makanan. Air melewati tanaman dengan kecepatan tinggi. Misalnya pohon willow, membutuhkan > 18.925 liter (5.000 gal) air selama musim panas. Tanaman kehilangan air penguapan melalui ratusan ventilasi kecil yang dikenal sebagai stomata. Hasilnya adalah air laut yang tertinggal di udara.

Secara fisika, biologis, dan kimiawi air mempunyai berbagai karakteristik yang unik, seperti substansi kimia dengan rumus kimia H_2O : satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom O_2 . Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K ($0^\circ C$). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas, dan banyak macam molekul organik.

Keadaan air yang berbentuk cair merupakan suatu keadaan yang tidak umum dalam kondisi normal, terlebih lagi dengan memperhatikan hubungan antara hidrida-hidrida lain yang mirip dalam kolom O_2 pada tabel periodik, yang mengisyaratkan bahwa air seharusnya berbentuk gas, sebagaimana hidrogen sulfida. Dengan memperhatikan tabel periodik, terlihat bahwa unsur-unsur yang mengelilingi O_2 adalah nitrogen (N), fluor, dan fosfor, sulfur, dan klor. Semua elemen-elemen ini apabila berikatan dengan hidrogen akan menghasilkan gas pada temperatur dan tekanan normal. Alasan mengapa hidrogen berikatan dengan O_2 membentuk fase berkeadaan cair, adalah karena O_2 lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali fluor).

Tarikan atom O_2 pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat daripada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom O_2 . Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antarmolekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen.

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-).

Molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirkannya arus listrik. Proses ini disebut elektrolisis air. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas O_2 , melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi, sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Gas hidrogen dan O_2 yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektrode dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfa-

atkan untuk menghasilkan hidrogen dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen.

Air adalah pelarut yang kuat, melarutkan banyak jenis zat kimia. Zat-zat yang bercampur dan larut dengan baik dalam air (misalnya garam-garam) disebut sebagai zat-zat “hidrofilik” (pencinta air), dan zat-zat yang tidak mudah tercampur dengan air (misalnya lemak dan minyak), disebut sebagai zat-zat “hidrofobik” (takut-air). Kelarutan suatu zat dalam air ditentukan oleh dapat tidaknya zat tersebut menandingi kekuatan gaya tarik-menarik listrik (gaya intermolekul dipol-dipol) antara molekul-molekul air. Jika suatu zat tidak mampu menandingi gaya tarik-menarik antarmolekul air, molekul-molekul zat tersebut tidak larut dan akan mengendap dalam air.

Air menempel pada sesamanya (kohesi) karena air bersifat polar. Air memiliki sejumlah muatan parsial negatif (σ^-) dekat atom O_2 akibat pasangan elektron yang (hampir) tidak digunakan bersama, dan sejumlah muatan parsial positif (σ^+) dekat atom O_2 . Dalam air hal ini terjadi karena atom O_2 bersifat lebih elektronegatif dibandingkan atom hidrogen—yang berarti, ia (atom O_2) memiliki lebih “kekuatan tarik” pada elektron-elektron yang dimiliki bersama dalam molekul, menarik elektron-elektron lebih dekat ke arahnya (juga berarti menarik muatan negatif elektron-elektron tersebut) dan membuat daerah di sekitar atom O_2 bermuatan lebih negatif ketimbang daerah-daerah di sekitar kedua atom hidrogen.

Air memiliki pula sifat adhesi yang tinggi disebabkan oleh sifat alami ke-polar-annya. Air memiliki tegangan permukaan yang besar yang disebabkan oleh kuatnya sifat kohesi antarmolekul-molekul air. Hal ini dapat diamati saat sejumlah kecil air ditempatkan dalam sebuah permukaan yang tak dapat terbasahi atau terlarutkan (*non-soluble*); air tersebut akan berkumpul sebagai sebuah tetesan. Di atas sebuah permukaan gelas yang amat bersih atau bepermukaan amat halus air dapat membentuk suatu lapisan tipis (*thin film*) karena gaya tarik molekuler antara gelas dan molekul air (gaya adhesi) lebih kuat ketimbang gaya kohesi antarmolekul air.

Dalam sel-sel biologi dan organel-organel, air bersentuhan dengan membran dan permukaan protein yang bersifat hidrofilik, yaitu permu-

kaan-permukaan yang memiliki ketertarikan kuat terhadap air. Irvin Langmuir mengamati suatu gaya tolak yang kuat antarpermukaan-permukaan hidrofilik. Untuk melakukan dehidrasi suatu permukaan hidrofilik² perlu dilakukan kerja sungguh-sungguh melawan gaya-gaya ini, yang disebut gaya-gaya hidrasi. Gaya-gaya tersebut amat besar nilainya akan tetapi meluruh dengan cepat dalam rentang nanometer atau lebih kecil. Pentingnya gaya-gaya ini dalam biologi telah dipelajari secara ekstensif oleh V. Adrian Parsegian dari *National Institute of Health*. Gaya-gaya ini penting terutama saat sel-sel terdehidrasi saat bersentuhan langsung dengan ruang luar yang kering atau pendinginan di luar sel (*extracellular freezing*).

Dari sudut pandang biologi, air memiliki sifat-sifat yang penting untuk adanya kehidupan. Air dapat memunculkan reaksi yang dapat membuat senyawa organik untuk melakukan replikasi. Semua makhluk hidup yang diketahui memiliki ketergantungan terhadap air. Air merupakan zat pelarut yang penting untuk makhluk hidup dan adalah bagian penting dalam proses metabolisme. Air juga dibutuhkan dalam fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis menggunakan cahaya matahari untuk memisahkan atom hidrogen dengan O₂. Hidrogen akan digunakan untuk membentuk glukosa dan O₂ akan dilepas ke udara.

Perairan bumi dipenuhi dengan berbagai macam kehidupan. Semua makhluk hidup pertama di bumi ini berasal dari perairan. Hampir semua ikan hidup di dalam air, selain itu, mamalia seperti lumba-lumba dan ikan paus juga hidup di dalam air. Hewan-hewan seperti amfibi menghabiskan sebagian hidupnya di dalam air. Bahkan, beberapa reptil seperti ular dan buaya hidup di perairan dangkal dan lautan. Tumbuhan laut seperti alga dan rumput laut menjadi sumber makanan ekosistem perairan. Di samudra, plankton menjadi sumber makanan utama para ikan.

Peradaban manusia berjaya mengikuti sumber air. Mesopotamia yang disebut sebagai awal peradaban berada di antara Sungai Tigris dan Euphrates. Peradaban Mesir Kuno bergantung pada Sungai Nil. Pusat-pusat manusia yang besar, seperti Rotterdam, London, Montreal,

² dalam arti melepaskan lapisan yang terikat dengan kuat dari hidrasi air

Paris, New York City, Shanghai, Tokyo, Chicago, dan Hong Kong mendapatkan kejayaannya sebagian dikarenakan adanya kemudahan akses melalui perairan.

Tubuh manusia terdiri atas 55–78% air, tergantung dari ukuran badan. Agar dapat berfungsi dengan baik, tubuh manusia membutuhkan antara satu sampai tujuh liter air setiap hari untuk menghindari dehidrasi; jumlah pastinya bergantung pada tingkat aktivitas, suhu, kelembapan, dan beberapa faktor lainnya. Selain dari air minum, manusia mendapatkan cairan dari makanan dan minuman lain selain air. Sebagian besar orang percaya bahwa manusia membutuhkan 8–10 gelas (± 2 liter) per hari, namun hasil penelitian yang diterbitkan Universitas Pennsylvania pada tahun 2008 menunjukkan bahwa konsumsi sejumlah 8 gelas tersebut tidak terbukti banyak membantu dalam menyehatkan tubuh. Malah kadang-kadang untuk beberapa orang, jika meminum air lebih banyak atau berlebihan dari yang dianjurkan dapat menyebabkan ketergantungan. Literatur medis lainnya menyarankan konsumsi satu liter air per hari, dengan tambahan bila berolahraga atau pada cuaca yang panas.

Pelarut digunakan sehari-hari untuk mencuci, contohnya mencuci tubuh manusia, pakaian, lantai, mobil, makanan, dan hewan. Selain itu, limbah rumah tangga juga dibawa oleh air melalui saluran pembuangan. Pada negara-negara industri, sebagian besar air terpakai sebagai pelarut.

Air dapat memfasilitasi proses biologi yang melarutkan limbah. Mikroorganisme yang ada di dalam air dapat membantu memecah limbah menjadi zat-zat dengan tingkat polusi yang lebih rendah. Zona biologis. Air merupakan cairan singular, oleh karena kapasitasnya untuk membentuk jaringan molekul tiga dimensi dengan ikatan hidrogen yang mutual. Hal ini disebabkan setiap molekul air mempunyai empat muatan fraksional dengan arah tetrahedron, dua muatan positif dari kedua atom hidrogen dan dua muatan negatif dari atom O_2 . Akibatnya, setiap molekul air dapat membentuk empat ikatan hidrogen dengan molekul di sekitarnya. Sebagai contoh, sebuah atom hidrogen yang terletak di antara dua atom O_2 , akan membentuk satu ikatan kovalen dengan satu atom O_2 dan satu ikatan hidrogen dengan atom O_2 lainnya,

seperti yang terjadi pada es. Perubahan densitas molekul air akan berpengaruh pada kemampuannya untuk melarutkan partikel. Oleh karena sifat muatan fraksional molekul, pada umumnya, air merupakan zat pelarut yang baik untuk partikel bermuatan atau ion, namun tidak bagi senyawa hidrokarbon.

Konsep tentang sel sebagai larutan yang terbalut membran, pertama kali dipelajari oleh ilmuwan Rusia bernama Troschin pada tahun 1956. Pada monografinya, *Problems of Cell Permeability*, tesis Troschin mengatakan partisi larutan yang terjadi antara lingkungan intraselular dan ekstraselular tidak hanya ditentukan oleh permeabilitas membran, namun terjadi akumulasi larutan tertentu di dalam protoplasma, sehingga membentuk larutan gel yang berbeda dengan air murni.

Pada tahun 1962, Ling melalui monografinya, *A physical theory of the living state*, mengutarakan bahwa air yang terkandung di dalam sel mengalami polarisasi menjadi lapisan-lapisan yang menyelimuti permukaan protein dan merupakan pelarut yang buruk bagi ion. Ion K⁺ diserap oleh sel normal, sebab gugus karboksil dari protein cenderung untuk menarik K⁺ daripada ion Na⁺. Teori ini, dikenal sebagai hipotesis induksi-asosiasi juga mengutarakan tidak adanya pompa kation, ATPase, yang terikat pada membran sel, dan distribusi semua larutan ditentukan oleh kombinasi dari gaya tarik menarik antara masing-masing protein dengan modifikasi sifat larutan air dalam sel. Hasil dari pengukuran NMR memang menunjukkan penurunan mobilitas air di dalam sel, namun dengan cepat terdifusi dengan molekul air normal. Hal ini kemudian dikenal sebagai model *two-fraction, fast-exchange*.

Keberadaan pompa kation yang digerakkan oleh ATP pada membran sel, terus menjadi bahan perdebatan, sejalan dengan perdebatan tentang karakteristik cairan di dalam sitoplasma dan air normal pada umumnya. Argumentasi terkuat yang menentang teori mengenai jenis air yang khusus di dalam sel, berasal dari kalangan ahli kimiawan fisis. Mereka berpendapat, bahwa air di dalam sel tidak mungkin berbeda dengan air normal, sehingga perubahan struktur dan karakter air intraselular juga akan dialami dengan air ekstraselular. Pendapat ini didasarkan pada pemikiran, bahwa meskipun jika pompa kation benar ada terikat pada membran sel, pompa tersebut hanya menciptakan kesetim-

banagan osmotik selular yang memisahkan satu larutan dari larutan lain, namun tidak bagi air. Air dikatakan memiliki kesetimbangan sendiri yang tidak dapat dibatasi oleh membran sel.

Para ahli lain yang berpendapat bahwa air di dalam sel sangat berbeda dengan air pada umumnya. Air yang menjadi tidak bebas bergerak oleh karena pengaruh permukaan ionik, disebut sebagai air berikat (bahasa Inggris: *bound water*), sedangkan air di luar jangkauan pengaruh ion tersebut disebut air bebas (bahasa Inggris: *bulk water*).

Air berikat dapat segera melarutkan ion, oleh karena tiap jenis ion akan segera tertarik oleh masing-masing muatan fraksional molekul air, sehingga kation dan anion dapat berada berdekatan tanpa harus membentuk garam. Ion lebih mudah terhidrasi oleh air yang reaktif, padat dengan ikatan lemah, daripada air inert tidak padat dengan daya ikat kuat. Hal ini menciptakan zona air, sebagai contoh, kation kecil yang sangat terhidrasi akan cenderung terakumulasi pada fase air yang lebih padat, sedangkan kation yang lebih besar akan cenderung terakumulasi pada fase air yang lebih renggang, dan menciptakan partisi ion seperti serial Hofmeister.

Daur/siklus hidrologi, siklus air atau siklus H₂O adalah sirkulasi yang tidak pernah berhenti dari air di bumi di mana air dapat berpindah dari darat ke udara kemudian ke darat lagi bahkan tersimpan di bawah permukaan dalam tiga fasenya, yaitu cair (air), padat (es), dan gas (uap air). Daur hidrologi merupakan salah satu dari daur biogeokimia. Siklus hidrologi memainkan peran penting dalam cuaca, iklim, dan ilmu meteorologi. Keberadaan siklus hidrologi sangat signifikan dalam kehidupan kita tidak akan lama-lama di bagian pembukaan.

Meskipun keseimbangan air di bumi tetap konstan dari waktu ke waktu, molekul air bisa datang dan pergi, dan keluar dari atmosfer. Air bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain, seperti dari sungai ke laut, atau dari laut ke atmosfer, oleh proses fisik penguapan, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, limpasan, dan aliran bawah permukaan. Dengan demikian, air berjalan melalui fase yang berbeda: cair, padat, dan gas.

Siklus hidrologi melibatkan pertukaran energi panas, yang menyebabkan perubahan suhu. Misalnya, dalam proses penguapan, air mengambil energi dari sekitarnya dan mendinginkan lingkungan. Sebalik-

nya, dalam proses kondensasi, air melepaskan energi dengan lingkungannya, pemanasan lingkungan. Siklus air secara signifikan berperan dalam pemeliharaan kehidupan dan ekosistem di bumi. Bahkan saat air dalam reservoir masing-masing memainkan peran penting, siklus air membawa signifikansi ditambahkan ke dalam keberadaan air di planet kita. Dengan mentransfer air dari satu reservoir ke yang lain, siklus air memurnikan air, mengisi ulang tanah dengan air tawar, dan mengangkut mineral ke berbagai bagian dunia. Hal ini juga terlibat dalam membentuk kembali fitur geologi bumi, melalui proses seperti erosi dan sedimentasi. Selain itu, sebagai siklus air juga melibatkan pertukaran panas, hal itu berpengaruh pada kondisi iklim di bumi. Sama seperti proses fotosintesis pada siklus karbon, matahari juga berperan penting dalam siklus hidrologi. Matahari merupakan sumber energi yang mendorong siklus air, memanaskan air dalam samudra dan laut. Akibat pemanasan ini, air menguap sebagai uap air ke udara. Sebesar 90% air yang menguap berasal dari lautan. Es dan salju juga dapat menyublim dan langsung menjadi uap air. Selain itu semua, juga terjadi evapotranspirasi air terjadi dari tanaman dan menguap dari tanah yang menambah jumlah air yang memasuki atmosfer.

Setelah air tadi menjadi uap air, arus udara naik mengambil uap air agar bergerak naik sampai ke atmosfer. Semakin tinggi suatu tempat, suhu udaranya akan semakin rendah. Nantinya suhu dingin di atmosfer menyebabkan uap air mengembun menjadi awan. Untuk kasus tertentu, uap air berkondensasi di permukaan bumi dan membentuk kabut.

Arus udara (angin) membawa uap air bergerak di seluruh dunia. Banyak proses meteorologi terjadi pada bagian ini. Partikel awan bertabrakan, tumbuh, dan air jatuh dari langit sebagai presipitasi. Beberapa presipitasi jatuh sebagai salju (*hail*), *sleet*, dan dapat terakumulasi sebagai es dan gletser, yang dapat menyimpan air beku untuk ribuan tahun. *Snowpack* (salju padat) dapat mencair dan meleleh, dan air mencair mengalir di atas tanah sebagai *snowmelt* (salju yang mencair). Sebagian besar air jatuh ke permukaan dan kembali ke laut atau ke tanah sebagai hujan, di mana air mengalir di atas tanah sebagai limpasan permukaan.

Sebagian dari limpasan masuk sungai, got, kali, lembah, dan lain-lain. Semua aliran itu bergerak menuju lautan. sebagian limpasan menjadi air tanah disimpan sebagai air tawar di danau. Tidak semua limpasan mengalir ke sungai, banyak yang meresap ke dalam tanah sebagai infiltrasi. Infiltrasi air jauh ke dalam tanah dan mengisi ulang akuifer, yang merupakan ‘toko air tawar’ untuk jangka waktu yang lama. Sebagian infiltrasi tetap dekat dengan permukaan tanah dan bisa merembes kembali ke permukaan badan air (dan laut) sebagai debit air tanah. Beberapa tanah menemukan bukaan di permukaan tanah dan keluar sebagai mata air, air tawar. Seiring waktu, air kembali ke laut, di mana siklus hidrologi kita mulai.

Selain siklus hidrologi adalah siklus biogeokimia sendiri, aliran air di atas dan di bawah bumi adalah komponen kunci dari perputaran siklus biogeokimia lainnya. Limpasan bertanggung jawab untuk hampir semua transportasi sedimen terkikis dan fosfor dari darat ke badan air. Salinitas lautan berasal dari erosi dan transportasi garam terlarut dari tanah. Eutrofikasi danau terutama disebabkan fosfor, diterapkan lebih untuk bidang pertanian di pupuk, dan kemudian diangkut sungai darat dan bawah. Limpasan dan aliran air tanah memainkan peran penting dalam pengangkutan nitrogen dari tanah ke badan air. Zona mati di *outlet* Sungai Mississippi merupakan konsekuensi dari nitrat dari pupuk terbawa bidang pertanian dan disalurkan ke sistem sungai ke Teluk Meksiko. Limpasan juga memainkan peran dalam siklus karbon, sekali lagi melalui pengangkutan batu terkikis dan tanah.

Uap air yang jatuh ke permukaan bumi. Sebagian besar presipitasi terjadi sebagai hujan, tetapi di samping itu, presipitasi juga menjadi salju, hujan es (*hail*), kabut menetes (*fog drip*), graupel, dan hujan es (*sleet*). Di mana $\pm 505.000 \text{ km}^3$ (121.000 cu mil) air jatuh sebagai presipitasi setiap tahunnya, 398.000 km^3 (95.000 cu mil) dari terjadi di atas lautan. Presipitasi (meteorologi). Dalam meteorologi, presipitasi³ adalah setiap produk dari kondensasi uap air di atmosfer. Ia terjadi

³ juga dikenal sebagai satu kelas dalam hidrometeor, yang merupakan fenomena atmosferik

ketika atmosfer⁴ menjadi jenuh dan air kemudian terkondensasi dan keluar dari larutan tersebut (terpresipitasi). Udara menjadi jenuh melalui dua proses: pendinginan atau penambahan uap air.

Presipitasi yang mencapai permukaan bumi dapat menjadi beberapa bentuk, termasuk di antaranya hujan, hujan beku, hujan rintik, salju, *sleet*, dan hujan es. *Vigra* adalah presipitasi yang pada mulanya jatuh ke bumi tetapi menguap sebelum mencapai permukaannya. Presipitasi adalah salah satu komponen utama dalam siklus air, dan merupakan sumber utama air tawar di planet ini. Diperkirakan 505,000 km³ air jatuh sebagai presipitasi setiap tahunnya, 398,000 km³ di antaranya jatuh di lautan. Bila didasarkan pada luasan permukaan bumi, presipitasi tahunan global adalah ± 1 m, dan presipitasi tahunan rata-rata di atas lautan $\pm 1,1$ m.

Presipitasi perlu diukur untuk mendapatkan data hujan yang sangat berguna bagi perencanaan hidrologis, semisal perencanaan pembangunan bendung, dam, dan sebagainya. Salah satu alat ukurnya yang sederhana adalah alat ukur hujan harian. Pengukurannya dengan mengukur kedalaman air yang terkumpul dalam botol pengumpul di bagian tengah tersebut.

Penempatan alat ukur hujan harus di tempat terbuka, harus dilindungi dari gangguan binatang dan manusia, selalu dijaga agar tetap bersih, data hujan yang terkumpul tiap harinya harus diukur dengan teratur pada jam yang sama tiap harinya⁵. Jarak minimal alat ukur hujan terhadap bangunan yang terdekat dengannya adalah sejauh empat kali tinggi bangunan terdekat tersebut.

Keberadaan dan dinamika air dapat juga diuraikan pada keberadaan arus laut. Arus air laut adalah pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal, sehingga menuju keseimbangannya, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia. Arus juga merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dikarenakan tiupan angin atau perbedaan densitas atau pergerakan gelombang panjang.

⁴ yang merupakan suatu larutan gas raksasa

⁵ ini menyebabkan Indonesia sangat kekurangan data hujan, karena jarang ada orang yang mau secara rutin mengecek alat ukur hujan

Pergerakan arus dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain arah angin, perbedaan tekanan air, perbedaan densitas air, gaya Coriolis dan arus Ekman, topografi dasar laut, arus permukaan, *upwelling*, *downwelling*.

Selain angin, arus dipengaruhi oleh paling tidak tiga faktor, yakni: (1) bentuk topografi dasar lautan dan pulau-pulau yang ada di sekitarnya. Beberapa sistem lautan utama di dunia dibatasi oleh massa daratan dari tiga sisi dan pula oleh arus *equatorial counter* di sisi yang keempat. Batas-batas ini menghasilkan sistem aliran yang hampir tertutup dan cenderung membuat aliran mengarah dalam suatu bentuk bulatan; (2) gaya Coriolis dan arus Ekman. Gaya Coriolis mempengaruhi aliran massa air, di mana gaya ini akan membelokkan arah mereka dari arah yang lurus. Gaya Coriolis juga yang menyebabkan timbulnya perubahan-perubahan arah arus yang kompleks susunannya yang terjadi sesuai dengan semakin dalamnya kedalaman suatu perairan; dan (3) perbedaan densitas serta *upwelling* dan *sinking*. Perbedaan densitas menyebabkan timbulnya aliran massa air dari laut yang dalam di daerah kutub selatan dan kutub utara ke arah daerah tropik.

Adapun jenis-jenis arus dibedakan menjadi dua bagian, yakni: (1) berdasarkan penyebab terjadinya, di mana: a) arus Ekman, arus yang dipengaruhi oleh angin; b) arus termohaline, arus yang dipengaruhi oleh densitas dan gravitasi; c) arus pasut, arus yang dipengaruhi oleh pasut; d) arus geostropik, arus yang dipengaruhi oleh gradien tekanan mendatar dan Gaya Coriolis; e) *wind driven current*, arus yang dipengaruhi oleh pola pergerakan angin dan terjadi pada lapisan permukaan; dan (2) berdasarkan kedalaman, di mana: a) arus permukaan, terjadi pada beberapa ratus meter dari permukaan, bergerak dengan arah horizontal dan dipengaruhi oleh pola sebaran angin; dan b) arus dalam, terjadi jauh di dasar kolom perairan, arah pergerakannya tidak dipengaruhi oleh pola sebaran angin dan membawa massa air dari daerah kutub ke daerah ekuator.

Aliran air bawah tanah, di zona Vadose dan akuifer. Air bawah permukaan dapat kembali ke permukaan (misalnya sebagai pegas atau dipompa) atau akhirnya meresap ke dalam lautan. Air kembali ke permukaan tanah pada elevasi lebih rendah dari tempat itu disusupi, di bawah tekanan gaya gravitasi atau gravitasi diinduksi. Tanah cenderung

bergerak lambat, dan diisi kembali perlahan-lahan, sehingga dapat tetap dalam akuifer selama ribuan tahun.

Transformasi air dari cair ke fase gas ketika bergerak dari tanah atau badan air ke atmosfer atasnya. Sumber energi untuk penguapan terutama radiasi matahari. Penguapan banyak yang implisit meliputi transpirasi dari tanaman, meskipun bersama-sama mereka secara khusus disebut sebagai evapotranspirasi. Jumlah evapotranspirasi tahunan total $\pm 505.000 \text{ km}^3$ (121.000 cu mil) volume air, 434.000 km^3 (104.000 cu mil) yang menguap dari lautan.

B. Filosofi Pencemaran

Manusia merupakan komponen lingkungan alam yang bersama-sama dengan komponen alam lainnya, hidup bersama dan mengelola lingkungan dunia, karena manusia adalah makhluk yang memiliki akal dan pikiran, peranannya dalam mengelola lingkungan sangat besar. Manusia dapat dengan mudah mengatur alam dan lingkungannya sesuai dengan yang diinginkan melalui pemanfaatan ipteks yang dikembangkannya.

AKIBAT perkembangan ipteks yang sangat pesat, kebudayaan manusia pun berubah dimulai dari budaya hidup berpindah-pindah (*nomad*), kemudian hidup menetap dan mulai mengembangkan buah pikirannya yang terus berkembang sampai sekarang ini. Hasilnya berupa teknologi yang dapat membuat manusia lupa akan tugasnya dalam mengelola bumi. Sifat dan perilakunya semakin berubah dari zaman ke zaman. Sekarang ini manusia mulai bersifat boros, konsumtif, dan cenderung merusak lingkungannya.

Setelah menelusuri jejak relasi manusia dengan alam mengenai perilaku, dapat hendaknya mengubah cara berpikir manusia dengan lingkungannya pada zaman sekarang ini. Dalam buku ini dibutuhkan kajian filsafat mengenai etika untuk mencari jalan keluar dari permasalahan lingkungan hidup yang didasarkan pada pemikiran beberapa tokoh lingkungan hidup dan beberapa filsuf yang terkenal lainnya.

Sehubungan dengan aspek filosofis, perlu diangkat pandangan para filsuf yang akan menjelaskan mengenai hakikat eksistensi manusia dalam menangani relasi manusia dengan alam demi kelanjutan kehidupan generasi selanjutnya. Pada hakikatnya manusia terikat pada kehidupan di dunia sekitarnya, karena hanya manusialah yang bereksistensi dan manusialah yang mempunyai kelebihan akal budi yang memahami apa arti kehidupan. Oleh karena itu, pandangan-pandangan itu dipergunakan dengan sebaik-baiknya demi keselamatan manusia dalam mengelola alam lingkungan untuk mempertahankan hidupnya pada masa-masa yang akan datang.

Lingkungan hidup merupakan bagian yang mutlak dari kehidupan manusia. Dengan kata lain, lingkungan hidup tidak terlepas dari kehidupan manusia, yang diartikan sebagai semua benda dan kondisi termasuk di dalamnya manusia dan tingkah perbuatannya, yang terdapat dalam ruang tempat manusia berada dan mempengaruhi hidup dan kesejahteraan manusia dan jasad hidup lainnya. Hal ini dipertegas oleh Soemarwoto (2003), bahwa manusia dan lingkungan mempunyai hubungan yang sirkuler, artinya manusia dalam aktivitasnya akan selalu mempengaruhi lingkungan, baik aktivitas sederhana dan normal, ataupun aktivitas yang berlebihan.

Dengan adanya proses saling mempengaruhi antara makhluk hidup dalam suatu lingkup kehidupan (lingkungan hidup) yang tersusun secara teratur tersebut, maka muncullah istilah yang dikenal dengan ekosistem. Ekosistem atau proses interaksi ini, menurut Murtiyanto (2011), disebabkan oleh fungsi yang berbeda dari masing-masing individu makhluk hidup yang menempati satu ruang/tempat, di mana setiap individu tersebut berusaha menjaga dan mempertahankan eksistensi dan fungsinya. Rangkaian proses tersebut kemudian menjalin rantai makanan (*life chain*). Selama terdapat keteraturan fungsi dan interaksi, maka proses di dalam ekosistem akan tetap terkendali sedemikian rupa, sehingga keseimbangan akan tetap terjaga.

Populasi manusia yang terus bertambah mengakibatkan kebutuhan manusia semakin bertambah pula, terutama kebutuhan dasar manusia seperti makanan, sandang, dan perumahan. Bahan-bahan untuk kebutuhan itu semakin banyak yang diambil dari lingkungan. Di samping

itu, perkembangan ipteks memacu proses industrialisasi, baik di negara maju ataupun negara berkembang. Untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus meningkat, harus diproduksi bahan-bahan kebutuhan dalam jumlah yang besar melalui industri. Kian hari kebutuhan-kebutuhan itu harus dipenuhi. Karena itu mendorong semakin berkembangnya industri, hal ini akan menimbulkan akibat antara lain SDA yang diambil dari lingkungan semakin besar, baik macam maupun jumlahnya, industri mengeluarkan limbah yang mencemari lingkungan, populasi manusia mengeluarkan limbah juga, seperti limbah rumah tangga yang dapat mencemari lingkungan, muncul bahan-bahan sintetik yang tidak alami (insektisida, obat-obatan, dan sebagainya) yang dapat meracuni lingkungan. Akibat selanjutnya lingkungan semakin rusak dan mengalami pencemaran. Pencemaran lingkungan terbagi atas tiga jenis, berdasarkan tempat terjadinya, yaitu pencemaran udara, pencemaran air, dan pencemaran tanah⁶. Di Indonesia, kerusakan lingkungan akibat pencemaran udara, air, dan tanah sudah sangat kritis. Sementara di Malaysia, sebagaimana diungkapkan Afroz dkk. (2006: 27) dari hasil penelitiannya, di mana polusi udara baru-baru ini menjadi prioritas antara isu-isu lingkungan. Kondisi atmosfer sekeliling telah semakin memburuk karena pertumbuhan urbanisasi yang sangat pesat, jumlah kendaraan bermotor, dan pembangunan industri yang berkelanjutan. Dengan menggunakan metode penilaian kontinjensi (CVM) pada pemantauan data dan studi tentang kualitas udara ambien menunjukkan, bahwa kualitas udara ambien negara yang bersih secara umum, namun beberapa polutan udara di beberapa kota besar, terutama di Klang Valley, daerah yang paling padat penduduknya, semakin meningkat dengan waktu dan tidak selalu pada tingkat yang dapat diterima sesuai dengan standar nasional kualitas udara ambien.

Lingkungan mempunyai daya dukung dan daya lenting. Kegiatan manusia amat berpengaruh pada peningkatan atau penurunan daya dukung maupun daya lenting lingkungan. Manusia dapat meningkatkan daya dukung lingkungan, tetapi karena keterbatasan kemampuan dan kapasitas lingkungan, tidak mungkin terus ditingkatkan tanpa batas,

⁶ terlebih kebanyakan dari manusia menggantungkan hidupnya dari laut

sehingga manusia secara sadar ataupun tidak menyebabkan ketidaksetimbangan atau kerusakan lingkungan. Kerusakan lingkungan diakibatkan oleh berbagai faktor, antara lain oleh pencemaran. Pencemaran ada yang diakibatkan oleh alam, dan ada pula yang diakibatkan oleh perbuatan manusia. Pencemaran akibat alam antara lain letusan gunung berapi. Bahan-bahan yang dikeluarkan oleh gunung berapi, seperti asap dan awan panas dapat mematikan tumbuhan, hewan bahkan manusia. Lahar dan batu-batu besar dapat mengubah bentuk muka bumi. Pencemaran akibat manusia adalah akibat dari aktivitas yang dilakukannya. Lingkungan dapat dikatakan tercemar jika dimasuki atau memasuki bahan pencemar yang dapat mengakibatkan gangguan pada makhluk hidup yang ada di dalamnya. Gangguan itu ada yang segera nampak akibatnya, dan ada pula yang baru dapat dirasakan oleh keturunan berikutnya. Kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia dimulai dari meningkatnya jumlah penduduk dari abad ke abad.

Kita tidak perlu melakukan survei mengenai segi-segi penataan lingkungan yang pokok untuk memahami bahwa penataan lingkungan tersebut sangat dipengaruhi oleh kegiatan-kegiatan manusia. Kita dapat membatasi, bahwa penataan lingkungan itu adalah suatu sistem yang di dalamnya termasuk semua makhluk hidup, udara, air, dan tanah yang merupakan unsur kehidupan. Sistem tersebut sering disebut ekosfera. Untuk menguraikannya sebagai sistem dan menekankan kesatuannya, maka dapat disimpulkan yaitu suatu sistem yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berkaitan dengan interaksi secara dinamis satu sama lainnya dan yang mampu untuk melakukan maksud-maksud tertentu serta berkemampuan pula untuk bekerja sama dalam suatu program dengan sikap yang bersamaan.

Program yang demikian harus mengarah kepada suatu sasaran tertentu dan sasaran itu ialah memelihara stabilitas. Hal ini rupanya merupakan sasaran dasar dari semua proses-proses alamiah yang bersifat mengatur diri sendiri dan membentuk ekosfera. Stabilitas adalah sifat yang sangat baik sebagai kemampuan suatu sistem untuk memelihara segi-segi dasarnya, dengan kata lain untuk mempertahankan hidup dalam menghadapi perubahan penataan lingkungan. Hal ini berarti bahwa dalam suatu sistem yang stabil, perubahan akan diperkecil dan di

mana perlu diadakan penyesuaian terhadap penataan lingkungan yang berubah itu. Dengan meningkatnya stabilitas, frekuensi dari perubahan-perubahan tak karuan dengan sendirinya akan berkurang. Kita dapat melihat dengan nyata bagaimana ekosfera tersebut lambat laun menjadi lebih stabil melalui evolusi yang berlangsung jutaan tahun (Zen, 2002: 172).

C. Air dan Lingkungan

Air merupakan kebutuhan mutlak bagi kehidupan manusia.

Secara langsung, air dapat dimanfaatkan bagi pencukupan kebutuhan hidup sehari-hari. Sedangkan secara tidak langsung, air dimanfaatkan bagi upaya pengembangan lingkungan hidupnya. Sumberdaya air adalah kemampuan dan kapasitas potensi air yang dapat dimanfaatkan oleh kegiatan manusia untuk kegiatan sosial ekonomi.

TERDAPAT berbagai jenis sumber air yang umumnya dimanfaatkan oleh masyarakat, seperti air laut, air hujan, air tanah, dan air permukaan. Dari keempat jenis air tersebut, sejauh ini air permukaan merupakan sumber air tawar yang terbesar digunakan oleh masyarakat. Salah satu manfaat air yang penting namun kurang dihargai adalah kemampuannya untuk menghancurkan dan menghanyutkan kotoran dan limbah. Kemampuan ini telah lama diketahui dan dimanfaatkan dalam peradaban manusia. Namun, kegagalan dalam mengelola proses ini dapat menimbulkan pencemaran yang disebabkan terlampauinya kapasitas air untuk mengasimilasi dan mendifusikan kotoran dan limbah tersebut.

Meningkatnya kuantitas dan kualitas air yang diperlukan dari waktu ke waktu sangat ditentukan oleh perkembangan kependudukan seta perkembangan tingkat kesejahteraan manusia. Sementara itu kita menghadapi kenyataan bahwa kuantitas sumberdaya air tidak mungkin ditingkatkan, sedangkan keterdapatan dan penyebaran sumberdaya ter-

sebut tidaklah merata di seluruh di Indonesia menurut kebutuhan yang sebenarnya.

Perbedaan iklim, menurunnya daya serap dan daya tampung air lahan karena meningkatnya erosi, meluasnya tanah kritis, serta kurang sesuai penerapan tata guna tanah merupakan beberapa sebab yang di antaranya mengakibatkan menurunnya kuantitas sumberdaya air di Indonesia. Majunya teknologi serta meningkatnya kesejahteraan penduduk menuntut kebutuhan air yang berkualitas lebih tinggi. Sedangkan di lain pihak terdapat kecenderungan terus menurunnya kualitas air karena meningkatnya pencemaran air oleh buangan pemukiman, industri, pertambangan, intensifikasi pertanian, serta meningkatnya kegiatan pariwisata dan pelayaran.

Akibat buangan limbah, banyak sungai-sungai di Pulau Jawa dan Sumatra telah tercemar oleh bahan organik dan bakteri. Demikian juga air tanah di kota-kota besar telah banyak tercemar oleh bahan organik, detergen, dan nitrat. Pengambilan air tanah secara besar-besaran telah mengakibatkan penyusutan air asin, seperti yang telah terjadi di Medan, Jakarta, Cilegon, pantai utara Jabar, pantai utara Jateng, Semarang, dan Denpasar. Hasil ini berbanding terbalik dengan kenyataan air tanah di Kota Nagpur, India. Itu disajikan dari hasil penelitian Rajankar dkk. (2010: 89) di mana dari 15 lokasi diukur, hanya 13% (dua lokasi) menunjukkan perubahan kualitas dari yang baik sampai sedang, dan 87% lainnya menunjukkan variasi dalam indeks kualitas air (WQI), tetapi tidak mengubah kualitas air. Analisis ini menunjukkan, bahwa air tanah dari beberapa daerah memerlukan beberapa perawatan sebelum dikonsumsi, dan juga perlu dilindungi dari bahaya kontaminasi. Hasil ini memperkuat penelitian Datta dkk. (2009: 19) yang mengevaluasi kualitas air di sepanjang Sungai Hoogly, India. Untuk menganalisis variabilitas spasial dan temporal kualitas air secara keseluruhan dalam WQI dengan metode agregatif dan perkalian dihitung dari delapan parameter fisika-kimia mengambil sampel air dari enam lokasi berbeda di dan sekitar Kolkata sepanjang tahun selama kondisi air pasang dan surut. Ditemukan bahwa kualitas air berkurang dari musim dingin ke musim panas, namun meningkat selama musim hujan. Hal ini tergantung pada lokasi, parameter yang berbeda seperti

BOD, COD, DO, dan lain-lain. Penelitian ini mengungkapkan bahwa anak sungai, seperti Damodar, Roopnaryan, dan debit air limbah perkotaan bersama-sama berkontribusi dengan isi yang cukup dari logam beracun dalam sedimen bawah Sungai Hoogly. Untuk mengantisipasi terhadap akibat yang ditimbulkannya, Sekhar dkk. (2004: 65) menganjurkan perlunya mengestimasi secara akurat resapan air tanah yang menurutnya sangat penting bagi pengelolaan yang baik dari sistem air tanah, terutama di daerah semi-kering. Pada penelitian ini telah dipelajari pemodelan air tanah untuk menilai keseimbangan air tanah dan memperkirakan isi ulangannya di sub-cekungan, yang terletak di bagian semi-kering. Sementara itu, Subramanian (2004: 41) yang meneliti kualitas air di Asia Selatan, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam kimia air dari Himalaya dan sungai semenanjung selatan. Sungai besar dan kecil juga menunjukkan berbagai jenis kualitas air. Limbah cair dan padat pasti berkontribusi terhadap kualitas air di pusat-pusat perkotaan, seperti Jakarta dan bahkan daerah pesisir, seperti di dekat Mumbai, dipengaruhi oleh pembuangan limbah. Sub-benua juga menderita masalah yang terkait dengan flor dan juga arsenik (As) dalam bagian yang berbeda. Bahkan air minum menunjukkan kontaminasi dengan logam. Dengan demikian, lebih dari satu miliar orang, baik kualitatif maupun kuantitatif, memiliki risiko terhadap turunnya kualitas air. Studi kualitas air dalam aspek seperti logam berat dan mikrobiologi sangat dibutuhkan – terutama di daerah seperti Nepal dan Bhutan di mana data dasarnya sedikit. Aktivitas pertanian intensif di sub-benua tercermin dalam tingkat peningkatan nutrisi dalam berbagai badan air di banyak bagian wilayah tersebut. Dengan demikian, air di Asia Selatan dapat dianggap tidak lagi untuk mewakili kualitas air alami, tetapi menunjukkan dampak dari berbagai jenis aktivitas manusia hampir di setiap bagian dari sub-benua.

Pencemaran air didefinisikan sebagai masuk 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 (PP Nomor 82 Tahun 2001). Masukan tersebut sering disebut dengan istilah unsur pencemar berupa buangan yang bersifat rutin.

Berdasarkan definisi pencemaran air tersebut, faktor penyebab terjadinya pencemaran dapat berupa masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air tercemar. Pada kawasan padat penduduk, aspek pelaku pencemaran air tanah lebih disebabkan oleh aktivitas manusia yang melebihi daya dukung lingkungan kawasan tersebut. Bagi manusia, air merupakan hal pokok bagi konsumsi, sanitasi, dan untuk kegiatan produksi. Pesatnya pertumbuhan penduduk mengakibatkan air bersih menjadi salah satu SDA yang sangat penting.

Kebijaksanaan dasar yang diterapkan dalam pengelolaan sumberdaya air, adalah: (a) secara nasional harus dilakukan secara holistik, terencana, dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan nasional dan melestarikan lingkungan, untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat dan menjaga kesatuan dan ketahanan nasional; (b) harus dilakukan secara terdesentralisasi dengan berdasar atas DPS sebagai satu kesatuan wilayah pembinaan; (c) harus berdasar prinsip partisipasi dengan melibatkan masyarakat dalam pengambilan keputusan dalam seluruh aspek kegiatan (perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, pengendalian, dan pembiayaan) untuk mendorong tumbuhnya komitmen semua pihak yang berkepentingan; (d) diprioritaskan pada sungai-sungai strategis bagi perkembangan ekonomi, kesatuan, dan ketahanan nasional dengan memperhatikan tingkat perkembangan sosio-ekonomi daerah, tuntutan kebutuhan, serta tingkat pemanfaatan dan ketersediaan air; dan (3) masyarakat yang memperoleh manfaat/kenikmatan atas air dan sumber-sumber air secara bertahap wajib menanggung biaya pengelolaan sumberdaya air (*users pay and cost recovery principles*). Sebagai perbandingan, Elfithri dkk (2008: 49-50) yang melakukan studi di Malaysia dalam aspek pengelolaan sumberdaya air. Diperoleh masukan, bahwa Pengambilan Keputusan Kolaboratif (CDM) menjadi mekanisme yang cocok antarinstansi, di mana data dan informasi dapat diperoleh melalui konsensus dan mekanisme konsultasi. CDM diperlukan dalam keterlibatan pemangku kepentingan yang relevan untuk bekerja sama sebagai mitra dan membuat keputusan bersama dalam aspek yang berhubungan dengan berbagai masalah dalam pengelolaan sum-

berdaya air. CDM juga akan memastikan pengambilan keputusan yang lebih tepat dan menyeluruh dalam pengelolaan sumberdaya air.

Di sisi lain, polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran dapat timbul sebagai akibat kegiatan manusia ataupun disebabkan oleh alam (misalnya gunung meletus, gas beracun). Ilmu lingkungan biasanya membahas pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang dapat dicegah dan dikendalikan.

Karena kegiatan manusia, pencemaran lingkungan pasti terjadi. Pencemaran lingkungan tersebut tidak dapat dihindari. Yang dapat dilakukan adalah mengurangi pencemaran, mengendalikan pencemaran, dan meningkatkan kesadaran dan kepedulian masyarakat terhadap lingkungannya agar tidak mencemari lingkungan.

Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran di sebut polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Contohnya, karbon dioksida (CO_2) dengan kadar 0,033% di udara berfaedah bagi tumbuhan, tetapi bila lebih tinggi dari 0,033% dapat memberikan efek merusak.

Suatu zat dapat disebut polutan apabila: (1) jumlahnya melebihi jumlah normal; (2) berada pada waktu yang tidak tepat; dan (3) berada di tempat yang tidak tepat. Sementara sifat polutan adalah: (1) merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan tidak merusak lagi; dan (2) merusak dalam waktu lama. Contohnya Pb tidak merusak bila konsentrasinya rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Pb dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkat yang merusak.

1. Macam-macam pencemaran lingkungan

Menurut tempat terjadinya, pencemaran dibedakan menjadi pencemaran udara, air, dan tanah.

a. Pencemaran udara

Pencemaran udara disebabkan oleh asap buangan, misalnya gas CO₂ hasil pembakaran, SO, sulfur dioksida (SO₂), CFC, CO, dan asap rokok.

1) CO₂

Pencemaran udara yang paling menonjol adalah semakin meningkatnya kadar CO₂ di udara. CO₂ itu berasal dari pabrik, mesin-mesin yang menggunakan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi), juga dari mobil, kapal, pesawat terbang, dan pembakaran kayu. Meningkatnya kadar CO₂ di udara tidak segera diubah menjadi O₂ oleh tumbuhan karena banyak hutan di seluruh dunia yang ditebang. Sebagaimana diuraikan di atas, hal demikian dapat mengakibatkan efek rumah kaca.

2) CO

Di lingkungan rumah dapat pula terjadi pencemaran. Misalnya, menghidupkan mesin mobil di dalam garasi tertutup. Jika proses pembakaran di mesin tidak sempurna, maka proses pembakaran itu menghasilkan gas karbon monoksida (CO) yang keluar memenuhi ruangan. Hal ini dapat membahayakan orang yang ada di garasi tersebut. Selain itu, menghidupkan AC ketika tidur di dalam mobil dalam keadaan tertutup juga berbahaya. Bocoran gas CO dari knalpot akan masuk ke dalam mobil, sehingga dapat menyebabkan kematian.

3) CFC

Pencemaran udara yang berbahaya lainnya adalah gas CFC. Gas CFC digunakan sebagai gas pengembang, karena tidak beraksi, tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berbahaya. Gas ini dapat digunakan misalnya untuk mengembangkan busa (busa kursi), untuk AC (freon), pendingin pada almari es, dan penyemprot rambut (*hair spray*).

Gas CFC yang membumbung tinggi dapat mencapai stratosfer terdapat lapisan gas O₃. Lapisan O₃ ini merupakan pelindung bumi dari pengaruh cahaya UV. Kalau tidak ada lapisan O₃, radiasi cahaya UV mencapai permukaan bumi, menyebabkan kematian organisme, tumbuhan menjadi kerdil, menimbulkan mutasi genetik, menyebabkan kanker kulit atau kanker retina mata. Jika gas CFC mencapai O₃, akan terjadi reaksi antara CFC dan O₃, sehingga lapisan O₃ tersebut “berlu-

bang” yang disebut sebagai “lubang ozon.” Menurut pengamatan melalui pesawat luar angkasa, lubang ozon di kutub selatan semakin lebar. Saat ini luasnya telah melebihi tiga kali luas Benua Eropa. Karena itu penggunaan AC harus dibatasi.

4) SO dan SO₂

Gas belerang oksida (SO, SO₂) di udara juga dihasilkan oleh pembakaran fosil (minyak, batubara). Gas tersebut dapat beraksi dengan gas nitrogen oksida dan air hujan, yang menyebabkan air hujan menjadi asam. Maka terjadilah hujan asam. Hujan asam mengakibatkan tumbuhan dan hewan-hewan tanah mati. Produksi pertanian merosot. Besi dan logam mudah berkarat. Bangunan-bangunan kuno, seperti candi, menjadi cepat aus dan rusak. Demikian pula bangunan gedung dan jembatan.

5) Asap rokok

Polutan udara yang lain yang berbahaya bagi kesehatan, adalah asap rokok. Asap rokok mengandung berbagai bahan pencemar yang dapat menyebabkan batuk kronis, kanker paru-paru, mempengaruhi janin dalam kandungan, dan berbagai gangguan kesehatan lainnya. Perokok dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perokok aktif dan perokok pasif. Perokok aktif adalah mereka yang merokok. Perokok pasif adalah orang yang tidak merokok tetapi menghirup asap rokok di suatu ruangan. Menurut penelitian, perokok pasif memiliki risiko yang lebih besar dibandingkan perokok aktif. Jadi, merokok di dalam ruangan bersama orang lain yang tidak merokok dapat mengganggu kesehatan orang lain.

Akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran udara, antara lain: (1) terganggunya kesehatan manusia, seperti batuk dan penyakit pernapasan (bronkhitis, emfisema, dan kemungkinan kanker paru-paru); (2) rusaknya bangunan karena pelapukan, korosi pada logam, dan memudarnya warna cat; (3) terganggunya pertumbuhan tanaman, seperti menguningnya daun atau kerdilnya tanaman akibat konsentrasi SO₂ yang tinggi atau gas yang bersifat asam; (4) adanya peristiwa efek rumah kaca (*green house effect*) yang dapat menaikkan suhu udara secara global serta dapat mengubah pola iklim bumi dan mencairkan es di ku-

tub. Bila es meleleh, maka permukaan laut akan naik, sehingga mempengaruhi keseimbangan ekologi; dan (5) terjadinya hujan asam yang disebabkan oleh pencemaran oksida nitrogen.

b. Pencemaran air

Pencemaran air adalah peristiwa masuknya zat, energi, unsur, atau komponen lainnya ke dalam air, sehingga menyebabkan kualitas air terganggu. Kualitas air yang terganggu ditandai dengan perubahan bau, rasa, dan warna. Ditinjau dari asal polutan dan sumber pencemarannya, pencemaran air dapat dibedakan seperti berikut.

1) Limbah pertanian

Limbah pertanian dapat mengandung polutan insektisida atau pupuk organik. Insektisida dapat mematikan biota sungai. Jika biota sungai tidak mati kemudian dimakan hewan atau manusia orang yang memakannya akan keracunan. Untuk mencegahnya, upayakan agar memilih insektisida yang berspektrum sempit⁷ serta bersifat biodegradabel⁸ dan melakukan penyemprotan sesuai dengan aturan. Jangan membuang sisa obat ke sungai. Sedangkan pupuk organik yang larut dalam air dapat menyuburkan lingkungan air (eutrofikasi). Karena air kaya nutrisi, ganggang, dan tumbuhan air tumbuh subur (*blooming*). Hal yang demikian akan mengancam kelestarian bendungan. Bendungan akan cepat dangkal dan biota air akan mati karenanya.

2) Limbah rumah tangga

Limbah rumah tangga yang cair merupakan sumber pencemaran air. Dari limbah rumah tangga cair dapat dijumpai berbagai bahan organik (misalnya sisa sayur, ikan, nasi, minyak, lemak, air buangan manusia) yang terbawa air got/parit, kemudian ikut aliran sungai.

Ada pula bahan-bahan anorganik seperti plastik, aluminium, dan botol yang hanyut terbawa arus air. Sampah bertimbun, menyumbat saluran air, dan mengakibatkan banjir. Bahan pencemar lain dari limbah rumah tangga adalah pencemar biologis berupa bibit penyakit, bakteri, dan jamur.

⁷ khusus membunuh hewan sasaran

⁸ dapat terurai oleh mikroba

Bahan organik yang larut dalam air akan mengalami penguraian dan pembusukan. Akibatnya kadar O_2 dalam air turun drastis, sehingga biota air akan mati. Jika pencemaran bahan organik meningkat, kita dapat menemui cacing Tubifex berwarna kemerahan bergerombol. Cacing ini merupakan petunjuk biologis (*bioindikator*) parahnya pencemaran oleh bahan organik dari limbah pemukiman.

Di kota-kota, air got berwarna kehitaman dan mengeluarkan bau yang menyengat. Di dalam air got yang demikian tidak ada organisme hidup kecuali bakteri dan jamur. Dibandingkan dengan limbah industri, limbah rumah tangga di daerah perkotaan di Indonesia mencapai 60% dari seluruh limbah yang ada.

3) Limbah industri

Adanya sebagian industri yang membuang limbahnya ke air. Macam polutan yang dihasilkan tergantung pada jenis industri. Mungkin berupa polutan organik (berbau busuk), polutan anorganik (berbuih, berwarna), atau mungkin berupa polutan yang mengandung asam belerang (berbau busuk), atau berupa suhu (air menjadi panas). Pemerintah menetapkan tata aturan untuk mengendalikan pencemara air oleh limbah industri. Misalnya, limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai agar tidak terjadi pencemaran.

Di laut, sering terjadi kebocoran tanker minyak karena bertabrakan dengan kapal lain. Minyak yang ada di dalam kapal tumpah menggenangi lautan dalam jarak ratusan kilometer. Ikan, terumbu karang, burung laut, dan hewan-hewan laut banyak yang mati karenanya. Untuk mengatasinya, polutan dibatasi dengan pipa mengapung agar tidak tersebar, kemudian permukaan polutan ditaburi dengan zat yang dapat menguraikan minyak.

4) Penangkapan ikan menggunakan racun

Sebagian penduduk dan nelayan ada yang menggunakan tuba untuk menangkap ikan tangkapan, melainkan juga semua biota air. Racun tersebut tidak hanya hewan-hewan dewasa, tetapi juga hewan-hewan yang masih kecil. Dengan demikian, racun yang disebarkan akan memusnahkan jenis makhluk hidup yang ada di dalamnya. Kegiatan pe-

nangkapan ikan dengan cara tersebut mengakibatkan pencemaran di lingkungan perairan dan menurunkan sumberdaya perairan.

Akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran air, yakni: (1) terganggunya kehidupan organisme air karena berkurangnya kandungan O₂; (2) terjadinya ledakan populasi ganggang dan tumbuhan air; (3) pendangkalan dasar perairan; (4) punahnya biota air, misalnya ikan, yuyu, udang, dan serangga air; (5) munculnya banjir akibat got tersumbat sampah; dan (6) menjalarnya wabah muntaber.

c. Pencemaran tanah

Pencemaran tanah banyak diakibatkan oleh sampah-sampah rumah tangga, pasar, industri, kegiatan pertanian, dan peternakan.

Sampah dapat dihancurkan oleh jasad-jasad renik menjadi mineral, gas, dan air, sehingga terbentuklah humus. Sampah organik itu misalnya dedaunan, jaringan hewan, kertas, dan kulit. Sampah-sampah tersebut tergolong sampah yang mudah terurai. Sedangkan sampah anorganik, seperti besi, aluminium, dan kaca; bahan sintetik, seperti plastik, sulit atau tidak dapat diuraikan. Bahan pencemar itu akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang. Bungkus plastik yang kita buang ke lingkungan akan tetap ada dan mungkin akan ditemukan oleh anak cucu kita setelah ratusan tahun kemudian.

Sebaiknya, sampah yang akan dibuang dipisahkan menjadi dua wadah. **Pertama**, sampah yang terurai, dan dapat dibuang ke tempat pembuangan sampah atau dapat dijadikan kompos. Jika pembuatan kompos dipadukan dengan pemeliharaan cacing tanah, maka akan dapat diperoleh hasil yang baik. Cacing tanah dapat dijual untuk pakan ternak, sedangkan tanah kompos dapat dijual untuk pupuk. Proses ini merupakan proses daurulangan (*recycle*). **Kedua**, sampah yang tak terurai, dapat dimanfaatkan ulang (penggunaan ulang = *reuse*). Misalnya, kaleng bekas kue digunakan lagi untuk wadah makanan, botol selai bekas digunakan untuk tempat bumbu, dan botol bekas sirup digunakan untuk menyimpan air minum.

Baik daurulangan maupun penggunaan ulang dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Keuntungannya, beban lingkungan menjadi berkurang. Kita tahu bahwa pencemaran tidak mungkin dihi-

langkan. Yang dapat kita lakukan adalah mencegah dampak negatifnya atau mengendalikannya.

Selain penggunaulangan dan pendaurulangan, masih ada lagi upaya untuk mencegah pencemaran, yaitu melakukan pengurangan bahan/penghematan (*reduce*), dan melakukan pemeliharaan (*repair*). Di negara maju, slogan-slogan *reuse*, *reduce*, dan *repair*, banyak diedarkan ke masyarakat.

Akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran tanah, yakni: (1) terganggunya kehidupan organisme (terutama mikroorganisme dalam tanah); (2) berubahnya sifat kimia atau sifat fisika tanah, sehingga tidak baik untuk pertumbuhan tanaman; dan (3) mengubah dan mempengaruhi keseimbangan ekologi.

1) Berdasarkan macam bahan pencemaran

Menurut macam bahan pencemarnya, pencemaran dibedakan menjadi: (a) pencemaran kimiawi: CO₂ logam berat [merkurim (Hg), Pb, As, Cd, kromium (Cr), nikel (Ni)] bahan radioaktif, pestisida, detergen, minyak, dan pupuk anorganik; (b) pencemaran biologi: mikroorganisme seperti *Escherichia coli*, *Entamoeba coli*, dan *Salmonella thyposa*; (c) pencemaran fisik: logam, kaleng, botol, kaca, plastik, dan karet; (d) pencemaran suara, kebisingan. Di kota-kota atau di daerah dekat industri/pabrik sering terjadi kebisingan. Pencemaran suara disebabkan oleh masuknya bunyi gaduh di atas 50 desibel⁹. Bunyi tersebut mengganggu kesehatan dan ketenangan manusia. Kebisingan menyebabkan penduduk menjadi sulit tidur, bahkan dapat mengakibatkan tuli, gangguan kejiwaan, dan dapat pula menimbulkan penyakit jantung, gangguan janin dalam kandungan, dan stress. Saat ini telah diusahakan agar mesin-mesin yang digunakan manusia tidak terlalu bising. Jika bising harus diusahakan adanya isolator. Menanam tanaman berdaun rimbun di halaman rumah meredam kebisingan. Bagi mereka yang suka mendengarkan musik yang hingar-bingar, hendaknya mendengarkan di tempat khusus (misalnya di dalam kamar) agar tidak mengganggu orang lain.

⁹ disingkat dB, merupakan ukuran tingkat kebisingan

2) Berdasarkan tingkat pencemaran

Menurut tingkat pencemarannya, pencemaran dibedakan menjadi: (a) pencemaran ringan, yaitu pencemaran yang dimulai menimbulkan gangguan ekosistem lain. Contohnya pencemaran gas kendaraan bermotor; (b) pencemaran kronis, yaitu pencemaran yang mengakibatkan penyakit kronis. Contohnya pencemaran Minamata, Jepang; dan (c) pencemaran akut, yaitu pencemaran yang dapat mematikan seketika. Contohnya pencemaran gas CO dari knalpot yang mematikan orang di dalam mobil tertutup, dan pencemaran radioaktif.

2. Parameter pencemaran lingkungan

Untuk mengukur tingkat pencemaran di suatu tempat digunakan parameter pencemaran. Parameter pencemaran digunakan sebagai indikator (petunjuk) terjadinya pencemaran dan tingkat pencemaran yang telah terjadi. Parameter pencemaran, meliputi parameter fisik, parameter kimia, dan parameter biologi.

a. Parameter fisik

Parameter fisik meliputi pengukuran tentang warna, rasa, bau, suhu, kekeruhan, dan radioaktivitas.

b. Parameter kimia

Parameter kimia dilakukan untuk mengetahui kadar CO₂, pH, keasaman, kadar logam, dan logam berat. Sebagai contoh, berikut disajikan pengukuran pH air, kadar CO₂, dan oksigen terlarut.

1) Pengukuran pH air

Air sungai dalam kondisi alami yang belum tercemar memiliki rentangan pH 6,5–8,5. Karena pencemaran, pH air dapat menjadi lebih rendah dari 6,5 atau lebih tinggi dari 8,5. Bahan-bahan organik biasanya menyebabkan kondisi air menjadi lebih asam.

Kapur menyebabkan kondisi air menjadi alkali (basa). Jadi, perubahan pH air tergantung macam bahan pencemarnya. Perubahan nilai pH mempunyai arti penting bagi kehidupan air. Nilai pH yang rendah (sangat asam) atau tinggi (sangat basa) tidak cocok untuk kehidupan kebanyakan organisme. Untuk setiap perubahan satu unit skala pH (dari 7 ke 6 atau dari 5 ke 4) dikatakan keasaman naik 10 kali. Jika terjadi

sebaliknya, keasaman turun 10 kali. Keasaman air dapat diukur dengan sederhana, yaitu dengan mencelupkan kertas lakmus ke dalam air untuk melihat perubahan warnanya.

2) Pengukuran kadar oksigen terlarut

Kadar oksigen terlarut dalam air yang alami $\pm 5-7$ bpj (1 ml O_2 yang larut dalam 1 liter air dikatakan memiliki kadar O_2 1 bpj). Penurunan kadar oksigen terlarut dapat disebabkan oleh tiga hal, yakni: (1) proses oksidasi (pembongkaran) bahan-bahan organik; (2) proses reduksi oleh zat-zat yang dihasilkan baktri anaerob dari dasar perairan; dan (3) proses pernapasan organisme yang hidup di dalam air, terutama pada malam hari.

Pencemaran air (terutama yang disebabkan oleh bahan pencemar organik) dapat mengurangi persediaan oksigen terlarut. hal ini akan mengancam kehidupan organisme yang hidup di dalam air. Semakin tercemar, kadar oksigen terlarut semakin mengecil. Untuk dapat mengukur kadar oksigen terlarut, dilakukan dengan Metode Winkler.

Parameter kimia yang dilakukan melalui kegiatan pernapasan jasad renik dikenal sebagai parameter biokimia. Contohnya, pengukuran BOD dan COD.

Bahan pencemar organik (daun, bangkai, karbohidrat, protein) dapat diuraikan oleh bakteri air. Bakteri memerlukan O_2 untuk mengoksidasikan zat-zat organik tersebut. Akibatnya, kadar oksigen terlarut di air semakin berkurang. Semakin banyak bahan pencemar organik yang ada di perairan, semakin banyak O_2 yang digunakan, sehingga mengakibatkan semakin kecil kadar oksigen terlarut.

Banyaknya oksigen terlarut yang diperlukan bakteri untuk mengoksidasikan bahan organik disebut sebagai KOB atau BOD. Angka BOD ditetapkan dengan menghitung selisih antara oksigen terlarut awal dan oksigen terlarut setelah air cuplikan (sampel) disimpan selama 5 hari pada suhu $20^\circ C$. Karenanya BOD ditulis secara lengkap BOD₂₀₅ atau BOD₅ saja. Oksigen terlarut awal diibaratkan kadar O_2 maksimal yang dapat larut di dalam air. Biasanya, kadar O_2 dalam air diperkaya terlebih dahulu dengan O_2 . Setelah disimpan selama 5 hari, diperkirakan bakteri telah berbiak dan menggunakan oksigen terlarut

untuk oksidasi. Sisa oksigen terlarut yang ada diukur kembali. Akhirnya, konsumsi O₂ dapat diketahui dengan mengurangi kadar O₂ awal.

c. Parameter biologi

Di alam terdapat hewan-hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme yang peka dan ada pula yang tahan terhadap kondisi lingkungan tertentu. Organisme yang peka akan mati, karena pencemaran dan organisme yang tahan akan tetap hidup. Siput air dan planaria merupakan contoh hewan yang peka pencemaran. Sungai yang mengandung siput air dan planaria menunjukkan sungai tersebut belum mengalami pencemaran. Sebaliknya, cacing *Tubifex* (cacing merah) merupakan cacing yang tahan hidup dan bahkan berkembang baik di lingkungan yang kaya bahan organik, meskipun spesies hewan yang lain telah mati. Ini berarti keberadaan cacing tersebut dapat dijadikan indikator adanya pencemaran zat organik. Organisme yang dapat dijadikan petunjuk pencemaran dikenal sebagai indikator biologis. dengan O₂ akhir (setelah 5 hari).

Indikator biologis terkadang lebih dapat dipercaya daripada indikator kimia. Pabrik yang membuang limbah ke sungai dapat mengatur pembuangan limbahnya ketika akan dikontrol oleh pihak yang berwenang.

Pengukuran secara kimia pada limbah pabrik tersebut selalu menunjukkan tidak adanya pencemaran. Tetapi tidak demikian dengan makhluk hidup yang menghuni ekosistem air secara terus-menerus. Di sungai itu terdapat hewan-hewan, mikroorganisme, bentos, mikro-invertebrata, ganggang, yang dapat dijadikan indikator biologis.

3. Dampak pencemaran lingkungan

Pokok-pokok utama daripada dampak pencemaran lingkungan, terbagi atas tujuh, seperti berikut.

a. Punahnya spesies

Sebagaimana telah diuraikan, polutan berbahaya bagi biota air dan darat. Berbagai jenis hewan mengalami keracunan, kemudian mati. Berbagai spesies hewan memiliki kekebalan yang tidak sama. Ada yang peka, ada pula yang tahan. Hewan muda, larva merupakan hewan

yang peka terhadap bahan pencemar. Ada hewan yang dapat beradaptasi, sehingga kebal terhadap bahan pencemar, ada pula yang tidak. Meskipun hewan beradaptasi, harus diketahui bahwa tingkat adaptasi hewan ada batasnya. Bila batas tersebut terlampaui, hewan tersebut akan mati.

b. Peledakan hama

Penggunaan insektisida dapat pula mematikan predator. Karena predator punah, maka serangga hama akan berkembang tanpa kendali.

c. Gangguan keseimbangan lingkungan

Punahnya spesies tertentu dapat mengubah pola interaksi di dalam suatu ekosistem. Rantai makanan, jaring-jaring makanan dan lairan energi menjadi berubah. Akibatnya, keseimbangan lingkungan terganggu. Daur materi dan daur biogeokimia menjadi terganggu.

d. Kesuburan tanah berkurang

Penggunaan insektisida mematikan fauna tanah. Hal ini dapat menurunkan kesuburan tanah. Penggunaan pupuk terus-menerus dapat menyebabkan tanah menjadi asam. Hal ini juga dapat menurunkan kesuburan tanah. Demikian juga dengan terjadinya hujan asam.

e. Keracunan dan penyakit

Orang yang mengkonsumsi sayur, ikan, dan bahan makanan tercemar dapat mengalami keracunan, misalnya ada yang meninggal dunia, ada yang mengalami kerusakan hati, ginjal, menderita kanker, kerusakan susunan saraf, dan bahkan ada yang menyebabkan cacat pada keturunan-keturunannya.

f. Pemekatan hayati

Proses peningkatan kadar bahan pencemar melewati tubuh makhluk dikenal sebagai pemekatan hayati (dalam bahasa Inggrisnya dikenal sebagai *biomagnification*).

g. Terbentuknya lubang ozon dan efek rumah kaca

Terbentuknya lubang ozon (O₃) dan terjadinya efek rumah kaca merupakan permasalahan global yang dirasakan oleh semua umat ma-

nusia. Hal ini disebabkan bahan pencemar dapat tersebar dan menimbulkan dampak di tempat lain.

4. Usaha-usaha mencegah pencemaran lingkungan

Usaha-usaha pencegahannya, yakni dengan: (1) menempatkan daerah industri atau pabrik jauh dari daerah perumahan atau pemukiman penduduk; (2) pembuangan limbah industri diatur, sehingga tidak mencemari lingkungan atau ekosistem; (3) pengawasan terhadap penggunaan jenis-jenis pestisida dan zat kimia lain yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan; (4) memperluas gerakan penghijauan; (5) tindakan tegas terhadap pelaku pencemaran lingkungan; dan (6) memberikan kesadaran terhadap masyarakat tentang arti lingkungan hidup, sehingga mereka lebih mencintai lingkungan hidupnya.

Lingkungan yang merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya, karena itu fakta yang menunjukkan bahwa tingkat kerusakan lingkungan sudah sangat tinggi dan cenderung makin meninggi, relatif mudah untuk ditemukan. Berita tentang terjadinya pencemaran lingkungan, baik pencemaran udara, air, maupun tanah dengan segala aspek dapat dikatakan, bahwa kerusakan lingkungan sudah merupakan bagian yang tidak dapat dihindarkan dari kegiatan pembangunan.

Lingkungan yang tercemar akibat kegiatan manusia maupun proses alam akan berdampak negatif pada kesehatan, kenikmatan hidup, kemudahan, efisiensi, keindahan, serta keseimbangan ekosistem dan SDA. Dengan kata lain, dapat dikatakan pengelolaan lingkungan hidup merupakan penanggulangan dampak negatif kegiatan manusia yang bertujuan untuk meningkatkan mutu lingkungan. Lingkungan amat penting bagi kehidupan manusia. Segala yang ada pada lingkungan dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk mencukupi kebutuhan hidup manusia, karena lingkungan memiliki daya dukung, yaitu kemampuan lingkungan untuk mendukung perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Arti penting lingkungan bagi manusia, karena lingkungan merupakan tempat hidup manusia. Lingkungan memberi sumber-sumber penghidupan manusia. Lingkungan mempengaruhi sifat, karakter, dan perilaku manusia yang mendiaminya. Lingkungan yang tercemar akibat kegiatan manusia maupun proses alam akan berdampak negatif pada kesehatan, kenikmatan hidup, kemudahan, efisiensi, keindahan, serta keseimbangan ekosistem dan SDA. Oleh karena itu, perlindungan lingkungan merupakan suatu keharusan apabila menginginkan lingkungan yang lestari, sehingga kegiatan ekonomi dan kegiatan lain dapat berkesinambungan. Apabila demikian halnya, maka pengelolaan lingkungan hidup merupakan suatu keharusan. Pengelolaan lingkungan hidup adalah upaya terpadu dalam pemanfaatan, penataan, pemeliharaan, pengawasan, pengendalian, pemulihan, dan pengembangan lingkungan hidup.

Sejak awal, manusia merupakan subjek sekaligus objek dalam perjalanan hidupnya guna mendapatkan kesejahteraan. Manusia membuat, menciptakan, mengerjakan, dan memperbaiki berbagai hal yang ditujukan untuk kepentingan hidupnya. Dalam negara, penduduk merupakan salah satu modal dasar pembangunan. Sebagai modal dasar atau aset pembangunan, penduduk tidak hanya sebagai sasaran pembangunan, tetapi juga merupakan pelaku pembangunan. Lingkungan alam seperti tanah, dirombak untuk menampung berbagai fasilitas kebutuhan manusia. Misalnya, perumahan dan fasilitas lain seperti pelayanan kesehatan, pendidikan, hiburan, pasar, jalan, saluran, dan lain-lain. Air tidak hanya dimanfaatkan untuk kebutuhan makan dan minum, tetapi juga sebagai sarana rekreasi, seperti taman, kolam, dan air mancur, serta air jaga untuk pembangkit listrik.

Tidak jarang perombakan lingkungan berakibatkan pada kerusakan lingkungan itu sendiri. Lingkungan telah kehilangan daya dukungnya sebagai akibat tindakan manusia yang berlebihan. Contohnya, pembangunan perumahan dan vila-vila di lereng pegunungan telah mengakibatkan banjir besar pada daerah di bawahnya. Jadi, jumlah penduduk semakin besar menyebabkan pemukiman yang terus berkembang dan akhirnya berpengaruh besar pula terhadap lingkungan. Perubahan lingkungan sebagai akibat tindakan manusia tidak jarang memberikan

dampak negatif, yaitu kerusakan lingkungan hidup. Kerusakan lingkungan hidup merupakan problem besar yang dialami umat manusia sekarang ini. Bahkan, isu tentang HAM, demokrasi, dan lingkungan.

D. Potensi Berbagai Sumber Air

Air memberikan berbagai manfaat kepada manusia, baik untuk minum, kehidupan sehari-hari, industri, manfaat lainnya. Dalam proses siklus alami air menguap menjadi hujan lalu turun ke bumi, tersimpan di hutan, dalam tanah, turun ke sungai dan terus mengalir ke laut, mengalami penguapan lalu menjadi hujan lagi. Dalam proses tersebut materi polutan dibersihkan. Selain itu, air di antara waktu dari udara ke sungai lalu ke laut berkali-kali dimanfaatkan dalam berbagai bentuk sebagai sumberdaya air, setelah itu dikembalikan lagi ke siklus air. Proses ini memberikan pengaruh yang besar ke air, dan karenanya memberikan pengaruh ke tanah dan makhluk hidup.

APABILA siklus yang sempurna tidak terjadi, maka muncul berbagai kerusakan, seperti ketidakstabilan debit air sungai (munculnya kerusakan kota akibat air, berkurangnya debit air dari biasanya, dan lain-lain), berhentinya sumber air, memburuknya kualitas air, dan lain-lain.

Polusi air akan memberikan pengaruh yang luas pada aliran sungai dan laut, ada juga yang terdeposit di dasar air dalam bentuk materi berbahaya dan memiliki pengaruh jangka panjang karena setelah beberapa tahun materi ini dapat menimbulkan gangguan pada kesehatan manusia. Melalui lautan, polusi bisa menyebar ke seluruh dunia dan memiliki kemungkinan pengaruh pada ekologi, khususnya binatang air.

Kepulauan Indonesia terdiri atas ± 17.508 pulau dan ± 6.000 merupakan pulau yang berpenghuni. Kepulauan tropis menyebar di sepanjang seperdelapan dari ekuator ± 8 juta km², dengan total luas lahan 1,92 juta km², dan wilayah laut seluas 3 juta km² dengan total panjang garis pantai ± 84.000 km.

Penduduk Indonesia sebanyak 226 juta (data 2008) tersebar di beberapa pulau. Dengan tingkat pertumbuhan 1,66% dari penduduk dipe-

rkirakan tumbuh menjadi 280 juta pada tahun 2020. Jawa, sebagai pulau yang paling padat penduduknya hanya seluas 6,58% dari total wilayah Indonesia, berpenduduk 58% (120,4 juta) dari total penduduk di Indonesia. Dalam dasawarsa yang lalu, imigran perkotaan mengakibatkan pertumbuhan perkotaan $\pm 5\%$ per tahun. Diperkirakan pada tahun 2020 $\pm 52\%$ penduduk akan tinggal di lingkungan perkotaan, meningkat 38% dibandingkan tahun 1995.

Terlepas dari tingginya potensi sumberdaya air, sumberdaya air permukaan di Indonesia mengalami kekurangan selama musim kemarau, namun terjadi banjir selama musim hujan terutama di beberapa daerah. Meskipun Indonesia memiliki curah hujan berlimpah, dengan rata-rata nasional > 2.500 mm/tahun, namun terjadi perbedaan yang sangat besar di daerah tertentu di Indonesia. Hal ini terjadi berkisar dari daerah-daerah yang sangat kering di Nusa Tenggara, Maluku, dan Sulawesi bagian dari Kepulauan (< 1.000 mm) dan yang sangat basah di beberapa bagian daerah Papua, Jawa, dan Sumatra (> 5.000 mm).

Seperti di banyak negara lain, kondisi sumberdaya air di Indonesia telah sampai pada tahap di mana tindakan terpadu diperlukan untuk membalikkan tren yang terjadi saat ini, yaitu penggunaan air yang berlebihan, polusi, dan meningkatnya ancaman kekeringan dan banjir.

Mengingat tantangan yang dihadapi oleh sektor sumberdaya air dan sektor irigasi di abad ke-21 dan reformasi sektor publik yang lebih memperhatikan aspirasi rakyat, pemerintah Indonesia telah memulai program reformasi bidang sumberdaya air yang meliputi aspek kebijakan, aspek kelembagaan, aspek legislatif dan peraturan, dan kebijakan konservasi sumberdaya air telah mendapat bagian yang substansial dalam agenda reformasi.

Indonesia dengan luas daratan $\pm 2.027.870$ km² mempunyai angka curah hujan relatif tinggi, bervariasi 700–7.000 mm setahun: angka penguapan 1.200–1.400 mm setahun. Menurut perhitungan tahun 1976, potensi sumberdaya air Indonesia dapat dibagi menjadi tiga wilayah besar, yakni wilayah berpotensi rendah, sedang, dan tinggi.

Dari potensi sumberdaya air yang tersedia ini diperkirakan hanya 25–35% berupa aliran mantap, yakni jumlah air yang selalu tersedia setiap saat sebagai aliran dasar. Sisanya 65–75% berupa aliran tidak

mantap, dalam bentuk banjir yang mengalir dan menghilang dengan cepat menuju ke laut tanpa dimanfaatkan. Pada tahun 2000, potensi air di Pulau Jawa tinggal $1.745 \text{ m}^3/\text{kapita}/\text{tahun}$, sedangkan kebutuhan air pada waktu itu sudah mencapai $702 \text{ m}^3/\text{kapita}/\text{tahun}$. Total sumberdaya air per kapita di Pulau Jawa sangat rendah dibandingkan dengan negara lain. Sebagai contoh, Cina dengan penduduk 10 kali penduduk Pulau Jawa, dan dengan rata-rata curah hujan lebih kecil, memiliki tingkat sumberdaya air $2.800 \text{ m}^3/\text{kapita}/\text{tahun}$. Ini disebabkan beberapa sungai di Cina memiliki panjang 3.000–4.000 km serta mempunyai daerah tangkapan yang luas.

Potensi sumberdaya air juga bervariasi antarprovinsi, yang paling besar adalah $1.340 \text{ m}^3/\text{kapita}/\text{tahun}$ di Jabar, sedangkan di Jateng 1.000 m^3 dan di Jatim 1.120 m^3 .

Terdapat ± 32 waduk yang menahan $\pm 6,87$ miliar m^3 air di Pulau Jawa, yaitu $\pm 3,9\%$ dari aliran tahunan rata-rata. Di mana ± 105 miliar m^3 (59%) mengalir ke laut karena sifat temporal dari aliran yang tidak bertepatan dengan waktu air tersebut diperlukan. Sebesar ± 49 miliar m^3 air melimpah keluar tepian sungai berupa banjir yang menyebabkan $\pm 6\%$ dari Pulau Jawa tergenang air setiap tahun. Sumberdaya air tanah relatif kecil dibandingkan air permukaan, tetapi merupakan sumber yang sangat penting bagi sumber air domestik.

Indonesia memiliki 6% dari persediaan air dunia atau $\pm 21\%$ dari persediaan air Asia Pasifik, namun pada kenyataannya dari tahun ke tahun di berbagai daerah selalu terjadi kelangkaan dan kesulitan air. Kecenderungan konsumsi air naik secara eksponensial, sedangkan ketersediaan air bersih cenderung berkurang akibat kerusakan dan pencemaran lingkungan yang diperkirakan 15–35% per kapita per tahun.

Penurunan kuantitas air lebih banyak disebabkan rusaknya daerah tangkapan air, di mana pada musim hujan air tidak sempat meresap ke dalam tanah, sehingga terjadi banjir, dan pada musim kemarau persediaan air berkurang karena suplai air dari mata air juga berkurang. Sementara itu, penurunan kualitas lebih banyak disebabkan oleh pencemaran limbah industri, rumah tangga, dan kegiatan pertanian.

Seringkali terjadi anggapan bahwa persediaan air dalam keadaan tak terhingga karena air dapat terus-menerus terbentuk melalui tahap

daur hidrologi, walaupun sebenarnya hanya sebagian kecil saja air yang dapat digunakan setiap saat. Anggapan ini menimbulkan pola konsumsi air yang mengarah pada pemanfaatan yang tidak berkelanjutan, sehingga mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan.

Macam-macam sumber air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber air minum, seperti berikut.

1. Air laut

Mempunyai sifat asin, karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut 3%, di mana dengan keadaan ini, air laut tidak memenuhi syarat untuk diminum.

2. Air atmosfer

Untuk menjadikan air hujan sebagai air minum hendaknya pada waktu menampung air hujan mulai turun, karena masih mengandung banyak kotoran. Selain itu, air hujan mempunyai sifat agresif terutama terhadap pipa-pipa penyalur maupun bak-bak reservoir, sehingga hal ini akan mempercepat terjadinya korosi atau karatan. Juga air ini mempunyai sifat lunak, sehingga akan boros terhadap pemakaian sabun.

3. Air permukaan

Pada umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri, dan lainnya.

Air permukaan ada dua macam, yaitu air sungai dan air rawa. Air sungai digunakan sebagai air minum. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi. Air rawa kebanyakan berwarna disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, yang mengakibatkan warna kuning cokelat, sehingga untuk pengambilan air sebaiknya dilakukan pada kedalaman tertentu di tengah-tengah.

4. Air tanah

Air tanah adalah air yang berada di bawah permukaan tanah di dalam zona jenuh di mana tekanan hidrostatiknya sama atau lebih besar dari tekanan atmosfer.

5. Mata air

Mata air, yaitu air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah dalam hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kualitas atau kuantitasnya sama dengan air dalam.

Sistem penyediaan air bersih meliputi besarnya komponen pokok, antara lain: unit sumber baku, unit pengolahan, unit produksi, unit transmisi, unit distribusi dan unit konsumsi. Sistem ini, meliputi: (1) unit sumber air baku merupakan awal dari sistem penyediaan air bersih yang mana pada unit ini sebagai penyediaan air baku yang bisa diambil dari air tanah, air permukaan, air hujan yang jumlahnya sesuai dengan yang diperlukan; (2) unit pengolahan air memegang peranan penting dalam upaya memenuhi kualitas air bersih atau minum, dengan pengolahan fisika, kimia, dan bakteriologi, kualitas air baku yang semula belum memenuhi syarat kesehatan akan berubah menjadi air bersih atau minum yang aman bagi manusia; (3) unit produksi adalah salah satu dari sistem penyediaan air bersih yang menentukan jumlah produksi air bersih atau minum yang layak didistribusikan ke beberapa tandon atau reservoir dengan sistem pengaliran gravitasi atau pompanisasi; dan (4) unit produksi merupakan unit bangunan yang mengolah jenis-jenis sumber air menjadi air bersih.

E. Pemanfaatan Sumberdaya Air

Di Indonesia, sumberdaya air telah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk keperluan air rumah tangga, pertanian, perindustrian, perikanan, dan sarana angkutan air. Sesuai dengan kebutuhan akan air dan kemajuan teknologi, air permukaan dimanfaatkan lebih luas, antara lain untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, sumber baku air minum dan air industri, rekreasi, dan berbagai keperluan pemanfaatan lain.

Di samping untuk keperluan air rumah tangga, dewasa ini air tanah juga telah dimanfaatkan sebagai air irigasi dan air industri.

BERDASARKAN peruntukannya, air (tidak termasuk air laut) dibagi empat golongan, yakni: (1) Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa ada pengolahan terlebih dahulu; (2) Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk air minum; (3) Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan; dan (4) Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha perkotaan, industri, dan pembangkit tenaga listrik.

1. Air irigasi

Air dalam pengairan sangat penting sebab air merupakan sumber kehidupan makhluk hidup. Air sumber pengairan juga bisa memanfaatkan air tanah. Keberadaan air di dalam tanah tergantung pada curah hujan dan lapisan perembesan pada tanah.

Perlu mengetahui: (a) lapisan ditembus air (*permeable layer*). Umumnya lapisan pasir dan kerikil dalam tanah, biasanya jenuh dengan air tanah. Lapisan ini disebut akuifer/lapisan pengandung air tanah; dan (b) dan lapisan tidak tembus air (*impermeable layer*). Umumnya lapisan liat/lempung, *aquiclude* (kedap air). Ada pula lapisan kebal air (*aquifuge*) umumnya lapisan batuan/padas. Air yang terdapat pada retakan batuan disebut *fissure water* (air celah).

Manfaat air tanah yang kurang menguntungkan karakternya: (1) hanya terdapat pada celah sekunder/zona retakan; (2) khusus pembentukan akuifer tidak berlangsung dan distribusikanya tidak teratur, pengisian utama dari zona retakan; (3) jenis akuifernya zona retakan dalam batuan dasar/lapisan sebelum tertier/batuan fragmen gunung api; (4) daerah tempat terjadinya *fissure water* (air celah), yaitu daerah kaki gunung berapi dan pegunungan; dan (5) cara pengambilan pemboran horizontal dan terowongan yang perlu banyak uang dan kehati-hatian.

Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan, dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian, meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak.

Tujuan irigasi, yakni: (1) secara langsung: a) menambah air pada areal pertanian, untuk mencukupi kebutuhan air terutama pada saat ti-

dan b) memupuk areal pertanian, karena air yang dialirkan dari sumber air sampai ke areal pertanian banyak mengandung unsur-unsur hara yang banyak dibutuhkan untuk kehidupan tanaman; dan (2) secara tidak langsung. Pemberian air dapat menunjang usaha pertanian melalui berbagai cara, antara lain: a) sebagai transportasi; b) mengatur suhu tanah; c) pencucian tanah; d) pemberantasan hama; e) meningkatkan kualitas air; f) memperbaiki permukaan air tanah; g) menetralkan air yang kotor; dan h) kolmatasi.

Selain itu, irigasi berfungsi mendukung produktivitas usaha tani guna meningkatkan produksi pertanian dalam rangka ketahanan pangan nasional dan kesejahteraan masyarakat, khususnya petani yang diwujudkan melalui keberlanjutan sistem irigasi yang dilakukan dengan pengembangan dan pengelolaan sistem irigasi serta ditentukan oleh keandalan air irigasi, keandalan prasarana irigasi, dan peningkatan pendapatan masyarakat petani dari usaha tani.

Air merupakan salah satu *input* pertanian yang sangat penting. Sumber air permukaan sampai saat ini menjadi andalan untuk penyediaan air irigasi. Namun tidak semua daerah yang memiliki lahan pertanian dapat dilayani dengan irigasi teknis yang bersumber dari air permukaan tersebut. Beberapa wilayah di Indonesia masih mengandalkan air hujan untuk usaha pertanian, seperti pada sawah tadah hujan. Produktivitas sektor tersebut bergantung pada keberadaan air hujan sebagai *input* pertanian. Sawah tadah hujan mampu memiliki potensi untuk menggantikan sawah beririgasi teknis yang berubah fungsi tata guna lahannya seiring dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi. Potensi tersebut harus dikembangkan dalam mendukung ketahanan pangan nasional.

Perkembangan wilayah pada suatu daerah akan menyebabkan kebutuhan air terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk. Pemenuhan kebutuhan pangan dan aktivitas penduduk selalu erat kaitannya dengan kebutuhan akan air. Tuntutan tersebut tidak dapat dihindari, tetapi haruslah diprediksi dan direncanakan pemanfaatan sebaik mungkin. Kecenderungan yang sering terjadi adalah adanya ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan air dan ketersediaan air di masa

mendatang, diperlukan upaya pengkajian komponen-komponen kebutuhan air, serta efisiensi penggunaan air.

Kebutuhan air domestik dan non-domestik sebesar 50,93 l/dt untuk saat ini, 68,34 l/dt untuk 2 tahun mendatang, 87,09 l/dt untuk 5 tahun mendatang, 111,96 l/dt untuk 10 tahun mendatang dan sebesar 160,06 l/dt untuk 20 tahun mendatang. Kebutuhan air irigasi total sebesar 37.305,7 l/dt mengairi sawah seluas 36.180 ha. Kebutuhan air industri sebesar 4,68 l/dt untuk saat ini, 4,74 l/dt untuk 2 tahun mendatang, 4,84 l/dt untuk 5 tahun mendatang, 5,04 l/dt untuk 10 tahun mendatang dan sebesar 5,54 l/dt untuk 20 tahun mendatang. Kebutuhan air perikanan sebesar 281,72 l/dt untuk saat ini, 296,13 l/dt untuk 2 tahun mendatang, 319,92 l/dt untuk 5 tahun mendatang, 366,52 l/dt untuk 10 tahun mendatang dan sebesar 495,48 l/dt untuk 20 tahun mendatang.

Dalam mencapai ketahanan dan kemandirian pangan melalui peningkatan produksi pangan khususnya beras, pemanfaatan air tanah dapat digunakan sebagai air irigasi di daerah-daerah yang kekurangan air, di mana air permukaan tidak memadai atau tidak ada sama sekali serta daerah tersebut memiliki potensi pertanian. Pemanfaatan air tanah dalam haruslah sesuai daya dukung akuifer setempat.

Pola tata tanam memberikan gambaran tentang jenis dan luas tanaman yang akan diusahakan dalam satu tahun. Pola tata tanam yang direncanakan untuk suatu daerah irigasi merupakan jadwal tanam yang disesuaikan dengan ketersediaan airnya. Berbagai jenis tanaman mempunyai kebutuhan air yang bervariasi, bergantung pada jenis dan tahap pertumbuhan tanaman. Berbagai jenis tanaman untuk pertumbuhannya memerlukan kebutuhan air yang berbeda. Bila kebutuhan air tersebut dibandingkan dengan kebutuhan air untuk tanaman palawija, maka nilai/angka-angka tersebut dinamakan koefisien tanaman atau LPR.

Terdapat $\pm 50\%$ dari air yang digunakan untuk padi di Pulau Jawa berasal dari air hujan. Pulau Jawa memiliki $\pm 2,781$ juta hektar jaringan irigasi teknik, semi-teknik, dan non-teknik. Penggunaan air diperkirakan naik sebanyak 15 miliar m^3 antara tahun 1970 dan 1985 (kenaikan 2,1% per tahun dan 19% dari aliran mantap). Sebagian besar kenaikan terjadi pada tahun 1976, ketika padi varietas unggul diintroduksi secara massal.

Petani di beberapa daerah di Jawa, seperti Ngawi dan Ponorogo, Kediri dan Nganjuk (Jatim), Wates (Yogyakarta), Sragen, Prembun, dan Brebes (Jateng) telah lama memanfaatkan air tanah untuk keperluan pertanian. Pengairan ini biasanya dilakukan dengan pembuatan sumur gali dan sumur bor. Di daerah Nganjuk dan Ngawi, petani telah lama memanfaatkan air tanah tertekan dengan cara membuat sumur pasak. Hal ini memungkinkan karena di daerah ini terdapat akumulasi air tanah tertekan dangkal (< 30 m), yang airnya dapat mengalir keluar sendiri tanpa bantuan pompa. Caranya dilakukan dengan pemboran sederhana yang dilakukan oleh penduduk setempat dengan memasang pipa bambu atau pipa besi berdiameter 1,5–2 inci. Di daerah Ngawi (Madiun bagian utara) tercatat > 700 buah sumur pasak yang dibangun oleh penduduk setempat untuk tujuan tersebut. Cara demikian sesungguhnya kurang efisien, karena selama musim hujan air yang mengalir keluar terbuang sia-sia.

Pemakaian air tanah secara intensif dengan menggunakan teknologi baru sedang dilaksanakan dewasa ini di berbagai daerah yang memiliki cadangan air tanah yang cukup potensial oleh pihak P2AT, Departemen Pekerjaan Umum. Kegiatan penyelidikan untuk pengembangannya telah dilakukan di Jawa, Bali, Lombok, Sumbawa, dan Timor Barat. Sebagai proyek pandu bagi pemanfaatan sumber air tanah tersebut untuk air suplai irigasi telah dilakukan di cekungan artesis Madiun, Kediri, Sragen-Klaten, dataran pantai utara Jateng, dataran pantai Probolinggo, dan dataran Lumajang-Jember (Jatim). Daerah-daerah tersebut umumnya ditutupi oleh endapan aluvium dan daerah kaki gunung api kuarter. Selain itu, telah diupayakan untuk memanfaatkan sumber air tanah yang terdapat di daerah Gunung Kidul (Yogyakarta), Tuban, dan Madura (Jatim).

Indonesia telah memulai untuk melaksanakan reformasi terhadap kebijakan pengelolaan irigasi sejak diterapkannya Kebijakan Operasi dan Pemeliharaan Irigasi (IOMP) pada tahun 1987. Upaya reformasi tersebut merupakan respons terhadap kurangnya pembiayaan, kapasitas kelembagaan dan institusi, permasalahan kinerja yang dihadapi pemerintah dalam rangka menjaga irigasi yang keberlanjutan. Pada tahun 1999, pemerintah menerapkan kebijakan baru yang disebut *Reformasi*

Kebijakan Pengelolaan Irigasi karena pelaksanaan IOMP tahun 1987 tidak sesuai dengan yang diharapkan dan krisis moneter yang terjadi pada tahun 1997 telah mendorong pemerintah untuk meninjau ulang kebijakan pelayanan publik termasuk untuk pengelolaan irigasi. Kedua kebijakan tersebut telah membuka ruangan yang lebih besar dan menuntut peran utama petani untuk pengelolaan irigasi melalui P3A. Penerapan kedua kebijakan tersebut memberlakukan kembali komitmen pemerintah untuk perubahan pengelolaan irigasi dari dominasi institusi pemerintah menjadi bentuk baru dalam pengaturan kelembagaan yang mengedepankan kerja sama antara pemerintah dengan petani. Sebagai bentuk baru pengaturan kelembagaan, diperlukan penguatan P3A dan kerja sama yang berkesinambungan menjadi agenda penting dalam perubahan pengelolaan irigasi.

Pengelolaan sistem irigasi partisipatif melibatkan semua pihak yang berkepentingan dengan mengedepankan kepentingan dan peran serta petani. Pelaksaaannya difasilitasi oleh pemerintah tingkat pusat, provinsi, maupun kabupaten/kota sesuai dengan kewenangannya dan memberikan bantuan sesuai dengan yang dibutuhkan oleh P3A dengan tetap memperhatikan prinsip kemandirian.

Pemberdayaan dan pendayagunaan kelembagaan pengelolaan irigasi perlu dilakukan untuk menjamin pengelolaan irigasi. Kelembagaan pengelolaan irigasi tersebut meliputi instansi pemerintah, P3A, dan komisi irigasi. Perkumpulan petani pemakai air dibentuk secara demokratis pada setiap daerah layanan/petak tersier atau desa dan dapat membentuk GP3A pada daerah layanan/blok sekunder, gabungan beberapa blok sekunder, atau satu daerah irigasi. Selain itu, perlu dibentuk juga IP3A pada daerah layanan/blok primer, gabungan beberapa blok primer, atau satu daerah irigasi. Sementara itu, komisi irigasi dibentuk untuk mewujudkan keterpaduan pengelolaan sistem irigasi pada setiap provinsi dan kabupaten/kota.

2. Air untuk industri

Ada beberapa sumber air yang biasanya dipertimbangkan untuk menjadi sumber air utama, seperti air permukaan, sungai, waduk, atau dari sumber air dalam, *deep well* sementara desalinasi air laut. Apapun

sumber yang akan digunakan sebagai sumber air industri, maka air baku perlu dikondisikan dengan mengolah terlebih dahulu melalui *water treatment* yang memadai, termasuk penggunaan kolom penukar ion untuk mendapatkan air nyaris tanpa mineral (*demin water*).

Air proses atau biasa kita kenal sebagai *process water* memiliki fungsi yang berbeda satu sama lainnya. Oleh karena itu, karakter serta spesifikasi air yang diperlukan juga berbeda satu dengan yang lain, misalnya standar air untuk *boiler* pada industri tentu berbeda dengan standar air untuk produksi hidrogen.

Ada beberapa peralatan proses yang membutuhkan air secara terus-menerus dan dengan sifat tertentu, seperti berikut.

- 1) Air proses (*process water*) untuk hidrolisis, *boiler*, dan destilasi. Kebutuhan *processwater* untuk *boiler*, hidrolisis serta produksi H_2 , di mana diperlukan air yang terlebih dahulu diolah melalui *ion exchange* untuk meminimalisir timbulnya karat serta sumbatan pada pipa api dan jalur distribusi uap dan kondensatnya. Produk air yang dihasilkan melalui *ion exchange* kemudian disebut sebagai *soft water* bahkan untuk produksi hidrogen diperlukan *demineralized water* (*demin water*) agar H_2 yang diproduksi betul-betul 99,9% murni.
- 2) Air untuk ketel uap. Susunan air untuk umpan ketel harus sedemikian, sehingga kotoran-kotoran di dalamnya apabila terkonsentrasi beberapa kali lipat di dalam ketel tidak boleh melebihi untuk suatu rencana ketel tertentu. Apabila kotoran-kotoran yang terdapat di dalam air melebihi batas yang ditentukan, maka perlu dilakukan pembersihan terlebih dahulu sebelum dipakai. Air untuk umpan ketel harus bersih, tidak boleh mengandung zat-zat yang menyebabkan terjadinya kerak. Kesadahanannya harus rendah, tidak boleh menyebabkan terjadi korosi (misalnya O dan CO terlarut tidak boleh ada).
- 3) Air untuk pendingin (*cooling water*) pada *cooling tower*, mesin, *heat exchanger*, *condenser*, dan lain-lain. Kebutuhan akan air pendingin (*cooling water*) bisa dikategorikan kebutuhan umum dalam setiap mesin penggerak, pengolahan air pendingin biasanya kurang diperhatikan oleh operator pabrik, karena persepsi yang salah di mana setiap air bersuhu rendah bisa digunakan. Tetapi mereka lupa bahwa air pen-

dingin disalurkan melalui pipa-pipa yang diameternya terkadang cukup kecil, panjang dan melingkar-lingkar sehingga rawan terhadap karat dan sumbatan tentunya.

- 4) Air untuk kebutuhan domestik dan umum. Air yang akan digunakan sebagai air untuk keperluan domestik, seperti memasak, toilet, dan cuci-cuci lain biasanya digunakan air dari sumber terdekat seperti PDAM lokal maupun dari sumber sumur dalam. Pengolahan biasanya dilakukan secara terbatas seperti penjernihan dan aerasi terutama untuk mengurangi kadar besi yang biasanya berasosiasi dengan air dari sumber sumur dalam (*deep well*).

Air industri sebagian besar berasal dari air tanah. Sejak dimulainya Repelita I pada tahun 1969 nampak ada kegiatan pemanfaatan air tanah yang meningkat untuk keperluan air industri. Lebih-lebih setelah Indonesia membuka pintunya lebar-lebar bagi penanaman modal asing. Sebelumnya hanya beberapa industri yang menggunakan air tanah untuk keperluan pengolahan atau pendingin saja, seperti industri kecil, industri kertas, pabrik gula, pabrik es, dan lain-lain.

Di Jabar, suatu survei detail menunjukkan bahwa hampir 65% dari air industri berasal dari sumur bor dan 25% lainnya mengambil langsung dari sungai atau danau. Hanya 10% dari jumlah air industri yang memanfaatkan PDAM.

Pemakaian air tanah untuk industri tersebut terus meningkat, karena lokasi industri pada umumnya terletak di pinggiran kota atau sama sekali di luar kota, yang belum terjangkau oleh saluran air PDAM. Apalagi bila diingat bahwa kebutuhan air untuk industri tidaklah sedikit, sehingga apabila saluran air PDAM pun telah ada, PDAM belum mampu menyediakan kebutuhan airnya. Oleh karena itu, penyediaan air harus diupayakan dengan memanfaatkan sumber air tanah yang ada di lokasi industri dengan cara pemboran.

Gejala tersebut nampak dengan banyaknya sumur bor dibangun di sekitar kota Medan (Medan-Belawan), Jakarta (Bogor-Tangerang-Bekasi), Bandung (Ujungberung-Dayeuhkolot-Leuwigajah-Cimahi), Surabaya (Sidoarjo-Mojokerto-Gresik), dan lain-lain. Sebuah kota industri seperti daerah industri Cilegon, semula mengandalkan air tanah untuk industrinya. Berbeda dengan pemakaian untuk rumah tangga, pe-

makaian air untuk industri membutuhkan jumlah lebih besar, sehingga daerah-daerah industri tersebut pada waktu mendatang akan merupakan daerah yang secara potensial kekayaan sumber air tanahnya mengalami penyusutan lebih awal.

Menyusutnya potensi air tanah, baik kualitas maupun kuantitasnya, serta bertambah buruknya kualitas perairan sungai, akan menyebabkan suplai air industri di masa mendatang bergantung pada PDAM.

3. Air untuk permukiman

Air untuk permukiman sekarang ini masih terbatas, dan penggunaan air untuk permukiman relatif kecil dibandingkan penggunaan air untuk pertanian. Jumlah air yang digunakan untuk permukiman perkotaan dan pedesaan adalah 1,26 miliar m³, yaitu $\pm 1\%$ dari potensi sumberdaya air atau $\pm 2\%$ dari air yang digunakan untuk pertanian. Walaupun kebutuhan air untuk permukiman relatif rendah, upaya untuk memperoleh bahan baku air menjadi berat pada musim kemarau, ketika debit air menurun dan pencemaran menyebabkan tidak mungkin dilakukannya pengolahan air. Ini terutama terjadi pada suplai air bagi Surabaya, Semarang, Bandung, Bogor, dan Tangerang.

Sekitar 2/3 air untuk permukiman berasal dari sungai dan 1/3-nya dari mata air. Pada saat ini jumlah kapasitas penyediaan air bersih pada kota-kota di Indonesia adalah 43 m³/detik dengan sumber air terbesar (60,6%) berasal dari air sungai, bahkan kota Jakarta, Surabaya, Palembang, Pontianak, dan Samarinda tergantung hampir kepada air sungai. Sebagian besar mata air debitnya kecil dan telah dimanfaatkan sepenuhnya. Suplai air yang berasal dari air tanah $\pm 9,7\%$ dari total.

Dibandingkan dengan di daerah pedesaan, pemakaian air tanah untuk perkotaan bagi setiap satuan luas relatif besar. Hal ini disebabkan kerapatan di daerah perkotaan lebih besar dan jenis pemakaian airnya pun lebih beragam, seperti untuk keperluan perkantoran, pertamanan, dan lain-lainnya.

Beberapa kota besar, seperti Jakarta, Bandung, Surabaya; kota sedang seperti Yogyakarta, Semarang, Malang; dan kota lebih kecil seperti Wonosobo, Banyuwangi di Pulau Jawa dan sejumlah kota lainnya di luar Jawa, sudah sejak sebelum perang dunia ke-2 memiliki saluran

air minum yang menyadap airnya dari mata air yang terletak umumnya di kaki gunung api. Untuk sejumlah kota lainnya, terutama di luar Jawa yang letaknya jauh dari pegunungan, sejak sebelum perang dunia ke-2 telah ada usaha untuk menyediakan air dengan jalan pemboran, sumur gali, atau pengolahan air sungai. Tidak sedikit pula beberapa kota, seperti Pontianak, Banjarmasin, dan Palembang, karena potensi lapisan air tanahnya kecil atau asin/payau, selama bertahun-tahun terpaksa mengandalkan penyediaan air bagi kotanya dengan memanfaatkan air permukaan.

Selain beberapa sumur bor yang dibangun dan dikelola oleh pihak PDAM sendiri, di beberapa kota besar, seperti Jakarta, Bandung, Semarang, dan Medan, terdapat banyak sumur bor yang dibangun dan dikelola oleh berbagai instansi pemerintah dan swasta. Besarnya air tanah tersebut untuk masing-masing kota adalah 150.000 m³/hari (Jakarta), 40.000 m³/hari (Bandung), 35.000 m³/hari (Semarang), dan 20.000 m³/hari (Medan).

Namun informasi lain terungkap, suplai air tanah di Jakarta hampir 60% dari seluruh kebutuhan air permukiman kota, di mana \pm 2 juta m³/hari disadap, atau hampir 4 kali lipat suplai air oleh PDAM.

Pengambilan air tanah yang berlebihan di beberapa kota di atas berakibat menurunnya permukaan air tanah setempat secara menyolok. Di Jakarta misalnya, air tanah turun sampai lebih 25 m di bawah laut, sedangkan di Bandung sampai 20 m di bawah permukaan tanah setempat. Di samping itu, untuk beberapa kota yang terletak di dekat pantai, seperti kota Medan, Jakarta, dan Semarang, terjadi penyusupan air laut ke darat ke dalam lapisan yang mengandung air tawar sebagai akibat penurunan muka air tersebut. Di Jakarta, pengambilan air tanah telah sedemikian menurunkan akuifer di Jakarta, sehingga air laut telah menyusup sejauh 15 km ke daratan dan hampir seluruh air tanah dangkal di pesisir telah menjadi payau.

Penggunaan air untuk pedesaan diperkirakan 575 m³/tahun. Di berbagai tempat yang air tanah mudah didapat, penduduk pedesaan sudah biasa memanfaatkan air tanah dangkal dengan cara membuat sumur gali. Di daerah pantai umumnya air tanah dangkal payau atau asin airnya. Untuk keperluan air minum sehari-hari, orang mencoba meman-

faatkan lapisan air tawar yang mungkin terdapat lebih dalam lagi dengan cara pembuatan sumur pasak atau pemboran air. Cukup banyak sumur pasak atau sumur bor terdapat di sepanjang pantai utara Jabar dan Jateng atau di sepanjang pantai timur Sumut.

Tidak diperoleh data tentang berapa besar air tanah yang terpakai untuk keperluan rumah tangga pedesaan di Indonesia. Diperkirakan 60% kebutuhan air di pedesaan berasal dari sumur dangkal. Pemakaian air untuk setiap kapita di daerah pedesaan relatif kecil bila dibandingkan dengan jumlah air yang terkandung dalam tanah di tempat pengambilan air. Oleh karena itu, pemakaian air tanah bagi keperluan rumah tangga pada saat ini belum dikhawatirkan akan mengganggu keseimbangan tata air di daerah yang bersangkutan. Walaupun demikian, kebutuhan akan air rumah tangga ini akan terus meningkat sejalan dengan keragaman kebutuhan yang harus dipenuhi dalam 'Dasa Warsa Air Bersih' di mana pemerintah telah menargetkan bahwa pada tahun 1990 lalu \pm 60% jumlah penduduk pedesaan akan memperoleh air bersih 60 liter setiap orang per hari.

Upaya pengadaan air bersih di daerah pedesaan dapat dilakukan dengan cara pembuatan sumur gali, perlindungan mata air, sumur pasak untuk air tanah dangkal/dalam, penampungan curah hujan atau dengan pengolahan air permukaan secara sederhana. Akhir-akhir ini dengan bantuan teknik luar negeri (WHO/UNICEF), di beberapa daerah telah dimulai pembuatan sumur dalam (sumur bor). Air dinaikkan dengan pompa yang digerakkan tenaga manusia, mesin, atau angin (kincir angin).

Bab III



Kegiatan yang Mempengaruhi Kualitas Air serta Dampaknya

JUMLAH air di bumi tidak bertambah dan tidak berkurang, namun wujud dan tempatnya sering mengalami perubahan. Perubahan wujud air (padat, cair, dan gas) membentuk suatu siklus atau daur yang disebut siklus hidrologi. Air adalah esensial untuk kehidupan. Kebutuhan air tidak saja menyangkut kuantitas, melainkan juga kualitas. Jumlah air yang tersedia sangat berkaitan dengan iklim, terutama curah hujan. Air juga berkaitan dengan hutan, baik kuantitasnya maupun kualitasnya. Faktor penting lain yang mempunyai pengaruh besar pada kuantitas dan kualitas air yang tersedia ialah kegiatan manusia.

Air secara ilmiah tidak pernah dijumpai dalam keadaan betul-betul murni. Ketika uap air mengembun di udara dan jatuh di permukaan bumi, air tersebut telah menyerap debu atau melarutkan O_2 , CO_2 , dan berbagai jenis gas lain. Kemudian air tersebut, baik yang di atas maupun di bawah permukaan tanah, bergerak mengalir menuju ke berbagai tempat yang lebih rendah letaknya, melarutkan berbagai jenis batuan yang dilaluinya atau zat organik lainnya. Selain itu, sejumlah kecil hasil uraian zat organik, seperti nitrit, nitrat, amoniak, dan CO_2 akan larut ke dalamnya. Dengan demikian, kualitas air secara alamiah akan berbeda pada setiap ruang dan waktu yang berlainan.

A. Kegiatan yang Mempengaruhi Kualitas Air

Kualitas air bagi suatu peruntukan ditentukan oleh sifat fisik, kimia, dan kandungan bakteri di dalamnya. Kualitas air ini dapat berubah-ubah karena terpengaruh oleh kegiatan alam atau oleh kegiatan manusia.

PADA hakikatnya antara aktivitas manusia dan timbulnya pencemaran terdapat hubungan melingkar berbentuk siklus. Agar dapat hidup dengan baik manusia beradaptasi dengan lingkungannya dan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya manusia mengembangkan teknologi. Akibat sampingan dari pengembangan teknologi adalah bahan pencemar yang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan ini merupakan stimulus agar manusia menyesuaikan diri terhadap lingkungan.

Air yang kita gunakan harus memenuhi kualitas sesuai dengan peruntukannya. Masing-masing peruntukan mempunyai baku mutunya. Baku mutu untuk air minum lebih ketat daripada baku mutu untuk peruntukan yang lain, misalnya untuk industri.

Pencemaran terjadi bila dalam lingkungan terdapat bahan yang menyebabkan timbulnya yang tidak diharapkan, baik yang bersifat fisik, kimiawi, maupun biologis, sehingga mengganggu kesehatan eksistensi manusia, dan aktivitas manusia serta organisme lainnya. Bahan penyebab pencemaran tersebut disebut bahan pencemar atau polutan. Polusi disebabkan terjadinya faktor-faktor tertentu yang sangat menentukan, yakni: (1) jumlah penduduk; (2) jumlah SDA yang digunakan oleh setiap individu; (3) jumlah polutan yang dikeluarkan oleh setiap jenis SDA; dan (4) teknologi yang digunakan.

Pencemaran air yang sangat umum ialah oleh partikel tanah yang berasal dari erosi. Pencemaran air oleh partikel tanah nampak secara visual dari air yang berwarna coklat. Pencemaran ini mengganggu peruntukan air untuk rumah tangga. Karena kadarnya yang tinggi, biaya pengolahan air oleh PDAM meningkat dan tidak jarang air PDAM pun berwarna coklat.

Pencemaran air oleh lumpur menurunkan laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primernya menurun. Karena fitoplankton merupakan permulaan rantai makanan, mata rantai dalam seluruh rantai makanan perairan terpengaruh oleh penurunan produktivitas primer tersebut. Akibatnya, produktivitas ikan pun menurun. Penurunan ini juga disebabkan oleh gangguan fisiologis ikan oleh lumpur. Di Cina misalnya, Tian dkk. (2006: 420) telah meneliti zat polimer ekstraseluler (EPS) sebagai konstituen utama dari lumpur aktif dan mewakili sampai 80% dari massa lumpur aktif. EPS memainkan peran penting dalam flokulasi ini, menetap dan dewatering lumpur aktif. Selanjutnya, EPS juga menunjukkan efisiensi besar dalam mengikat logam berat. Jadi EPS adalah faktor kunci yang mempengaruhi pengurangan volume lumpur dan massa, serta kegiatan dan pemanfaatan lumpur.

Pencemaran air lain yang sangat umum ialah dari limbah domestik. Walaupun menurut data statistik 72% jumlah rumah tangga menggunakan jamban, namun karena konstruksinya yang tidak memenuhi syarat jamban itu masih mencemari perairan dengan tinja. Sisanya, yaitu 28% jumlah rumah tangga, tidak menggunakan jamban. Di Jabar sangat umum orang menggunakan kolam ikan sebagai jamban. Akibatnya kadar koliform fekal di kolam tinggi dan kolam merupakan sumber penyakit muntah berak yang penting, terutama bagi balita. Karena penduduknya yang padat, di Jawa banyak sungai yang tercemar sangat berat oleh koliform fekal, antara lain, Ciliwung, Citarum, Cimanuk, dan sungai-sungai di Surabaya. Di luar Jawa sungai yang mengalir melalui kota besar juga tercemar berat, misalnya di Medan. Efek lain limbah domestik, ialah terjadinya penyuburan air atau *eutrophication* seperti yang telah diuraikan di atas.

Dengan berkembangnya industri, maka kontribusinya pada pencemaran meningkat pula. Di Jawa sumbangan industri pada pencemaran air sungai \pm 25–30% beban total pencemaran. Di Citarum 39–42% jumlah data amoniak bebas (NH_3), 2–8% jumlah data Cr, 13–19% jumlah data Cd, 42–46% jumlah data tembaga (Cu), dan 7–10% jumlah data Pb melampaui baku mutu air untuk peruntukan B, C, dan D.

Di luar Jawa industrialisasi juga telah menyebabkan pencemaran, misalnya di Medan dan Makassar.

Kualitas air juga dipengaruhi oleh derajat keasamannya yang dinyatakan dalam satuan pH. Makin rendah nilai pH, makin tinggi derajat keasamannya. pH 7 menunjukkan nilai netral dan di atas 7 air bersifat basa. Air hujan mempunyai pH sedikit di bawah 7 karena adanya CO₂ yang terlarut di dalamnya. CO₂ yang terlarut itu membentuk asam lemah. Dengan makin banyaknya pembakaran bahan bakar untuk industri dan transportasi, emisi oksida belerang dan nitrogen ke udara makin meningkat. Kedua oksida itu di dalam udara mengalami oksidasi menjadi berturut-turut asam sulfat dan asam nitrat yang merupakan asam kuat. Asam di dalam udara itu terbawa oleh air hujan yang jatuh ke bumi, sehingga pH air hujan turun. Terjadilah apa yang disebut hujan asam (*acid rain*) yang menurut definisi ialah air hujan dengan pH < 5,6. Pemantauan air hujan di kota-kota besar, yaitu Jakarta, Bandung, Surabaya, Denpasar, Medan, Bengkulu, Makassar, Banjarbaru, Pontianak, dan Jayapura menunjukkan telah terjadinya hujan asam. Di kota-kota itu rata-rata pH menunjukkan kecenderungan untuk menurun. Dalam tahun 1998 rata-rata pH di bawah 5 tercatat di Jakarta (pH = 4,42), Bandung (pH = 4,55), Surabaya (pH = 4,44), Medan (pH = 4,42), Pontianak (pH = 4,86), dan Jayapura (pH = 4,54). Nampaklah, nilai rata-rata terendah terdapat di Jakarta, tempat terjadinya BBM terbesar.

Menurunnya pH hujan dapat juga terjadi di luar kota karena tersebarinya pencemaran udara oleh angin. Di Indonesia belum ada data tentang pH air hujan di luar kota. Jika hujan asam makin luas, pH sungai, danau, dan tanah dapat turun, khususnya di daerah yang mempunyai kapasitas *buffer* yang rendah. Asidifikasi perairan, yaitu turunnya pH, mengakibatkan kerusakan biologis. Perairan tak dapat lagi mendukung kehidupan organisme yang peka pH rendah. Di Amerika Utara dan Skandinavia ribuan danau “mati” karena asidifikasi. Untuk merehabilitasinya dilakukan pengapuran pengairan itu dengan biaya yang tinggi.

Di Eropa dan Amerika Utara hutan yang sangat luas telah mengalami kerusakan karena asam dalam udara dan hujan asam. Pada tahun

1988 kerusakan di Eropa mencapai 35% dari luas hutan. Hutan yang rusak ini sebagian mati. Kematian hutan oleh hujan asam disebut *waldsterben* (kematian hutan).

Deposisi asam dengan tak langsung dapat mempengaruhi kesehatan manusia, yaitu meningkatnya laju pencucian logam berat dari sedimen dan melarutkan Pb dari pipa air yang kemudian masuk ke dalam air minum. Dalam air dengan pH rendah Hg dalam bentuk dimetilmerkuri diubah oleh jasad renik menjadi monometilmerkuri yang bersifat sangat beracun. Monometilmerkuri larut dalam air dan mudah diserap oleh plankton. Plankton dimakan oleh ikan dan kadar Hg dalam ikan naik. Proses ini disebut bioakumulasi. Orang yang sering makan ikan yang terkontaminasi dengan Hg yang beracun ini menghadapi risiko mengalami keracunan pula.

Dalam angka-angka pencemaran yang tinggi itu nampaklah adanya risiko yang tinggi terjadinya dampak pada kesehatan melalui proses bioakumulasi. Dua kasus yang sangat menghebohkan dunia yang berkaitan dengan bioakumulasi ialah keracunan Hg dan Cd di Jepang pada tahun 1940-1950-an. Keracunan Hg terjadi di Teluk Minamata. Hg ini berasal dari limbah pabrik. Walaupun kadar Hg dalam limbah rendah, namun Hg ini mengalami bioakumulasi dan para nelayan yang sehari-harinya makan ikan mengalami keracunan yang parah yang merusak sistem sarafnya. Penyakit ini dikenal dengan nama penyakit minamata.

Keracunan Cd di Jepang terjadi melalui beras yang berasal dari sawah yang diairi oleh air dari sebuah sungai yang menerima limbah dari sebuah tambang seng. Limbah itu mengandung Cd yang diakumulasi oleh tanaman padi dalam beras. Penduduk yang setiap hari memakan beras dari sawah itu mengakumulasi Cd sampai tingkat yang beracun. Keracunan oleh Cd itu kemudian dikenal dengan nama *itai-itai*.

Di Indonesia Hg itu juga banyak digunakan dalam pertambangan emas tanpa izin oleh penduduk, misalnya di Jabar, Kalimantan, dan Papua. Hg digunakan untuk mengikat emas dalam bentuk amalgam. Untuk mendapatkan emasnya, Hg dalam amalgam diuapkan dengan dipanaskan. Penggunaan itu tidak terawasi. Menurut laporan, sungai di Jakarta telah tercemar oleh Hg.

Dalam keadaan tidak ada pencemaran pun orang mendapatkan Hg ke dalam tubuhnya dari makanan. Jumlah rata-rata yang didapatkan orang dari makanan ialah 0,07 mg/minggu. Menurut WHO batas yang aman adalah 0,3 mg/minggu yang tidak boleh mengandung > 0,2 mg metilmerkuri/minggu. Jadi berdasarkan ketentuan WHO konsumsi “normal” adalah aman. Tetapi orang yang banyak mengkonsumsi dari daerah yang mendapatkan air dari daerah pertambangan emas liar menghadapi risiko tinggi keracunan Hg. Bapedalda Kaltim mengkhawatirkan ± 50.000 jiwa di pedalaman Kaltim terancam keracunan Hg dan menurut Dinas Pertambangan Umum Sulut, Sungai Dimembe di Minahasa mengandung Hg 0,007 bpj, tujuh kali di atas NAB.

Pb merupakan racun yang bersifat kumulatif, ± 90% dari Pb yang terkumpul dalam tubuh masuk ke dalam tulang. Dari tulang Pb dapat diremobilisasi lagi dan masuk ke dalam peredaran darah. Ini terjadi, misalnya pada wanita hamil. Antar-jemput anak ke sekolah mempertinggi risiko itu karena tingkat pencemaran dalam mobil lebih tinggi daripada di udara ambien. Untuk mendukung kenyataan ini, Basri K. (2005: 768) memberi contoh dari hasil penelitiannya, di mana konsentrasi Pb di lokasi tempat berjualan, lama pemaparan, lama berjualan, dan umur pedagang secara bersama-sama berpengaruh sangat signifikan terhadap konsentrasi Pb di dalam darah pedagang dan kaki lima.

Hg mempunyai dampak yang berat terhadap kesehatan. Para penambang emas liar menghadapi keracunan oleh uap Hg dan Hg anorganik. Uap Hg merusak sistem saraf dan ginjal. Hg anorganik sangat beracun dan sebuah dosis akut dapat menyebabkan kematian. Efek metilmerkuri ialah pada sistem saraf, pada orang dewasa efek itu terjadi pada daerah tertentu dalam otak, terutama neuron dan sel granula dalam *cerebellum*. Efek yang sangat serius ialah pada fase pertumbuhan prenatal dan efek itu tidak reversibel. Salah satu efeknya berupa *cerebral palsy* pada bayi yang dilahirkan oleh seorang ibu yang keracunan Hg, meskipun gejala keracunan itu tidak tampak pada ibu tersebut. Hg menurunkan kecerdasan (IQ). Efek ini terutama serius pada anak yang sedang berkembang. Hg juga mempengaruhi sintesis darah merah.

Apabila kita melihat masalah tersebut kita merasa ngeri mendengarnya, oleh karena itu kita harus menjaga dan melestarikan sumber-

daya air ini. Lima hal yang bisa kita lakukan sebagai cara penanggulangan kualitas air, seperti: (1) sadar akan kelangsungan ketersediaan air dengan tidak merusak atau mengeksploitasi sumber mata air agar tidak tercemar; (2) tidak membuang sampah ke sungai; (3) mengurangi intensitas limbah rumah tangga; (4) melakukan penyaringan limbah pabrik, sehingga limbah yang nantinya bersatu dengan air sungai bukanlah limbah jahat perusak ekosistem; dan (5) pembuatan sanitasi yang benar dan bersih agar sumber-sumber air bersih lainnya tidak tercemar.

Dilansir dari *Webhealth Centre*, bahwa pemurnian air yang banyak dilakukan ada tiga tahap, yaitu penyimpanan, filtrasi, dan klorinasi. Tapi sepertinya tiga tahap ini belum cukup untuk benar-benar memurnikan air yang tercemar.

Berikut lima cara lain untuk mengurangi bahaya pencemaran air, baik secara biologis maupun kimiawi, yakni: (1) *penyaringan dan perebusan*, meski tampak bersih, air yang akan diminum harus disaring dan direbus hingga mendidih setidaknya selama 5–10 menit. Hal ini dapat membunuh bakteri, spora, ova, kista, dan mensterilkan air. Proses ini juga menghilangkan CO₂ dan pengendapan Ca karbonat; (2) *disinfeksi kimia*, hal ini berguna untuk memurnikan air yang disimpan pada tempat seperti di genangan air, tangki, atau air sumur; (3) *bubuk pemutih*, proses ini merupakan diklorinasi kapur, di mana 2,3 gr bubuk pemutih diperlukan untuk mendisinfeksi 1 m³ (1.000 liter) air. Tapi air yang sangat tercemar dan keruh tidak bisa dimurnikan dengan metode ini. Bubuk pemutih merupakan senyawa tidak stabil dengan bau yang menyengat. Ketika senyawa ini terkena udara, cahaya atau kelembapan, maka senyawa ini akan cepat kehilangan kadar klorin (Cl), sehingga menjadi tidak efektif; (4) *tablet Cl*, di pasaran, tablet ini dijual dengan nama tablet *Halazone*. Senyawa ini mungkin cukup mahal, tetapi efektif untuk memurnikan air dengan skala kecil. Tablet Cl ‘smarter’ telah diperkenalkan baru-baru ini. Tablet Cl ini 15–20 kali lebih kuat dari tablet halogen. Satu pil 0,5 gms, cukup untuk mendisinfeksi 20 liter air; dan (5) *filter*. Ada beberapa jenis filter, antara lain filter keramik ‘lilin’ dan UV filter. Bagian utama dari sebuah filter keramik ‘lilin’ ini adalah lilin yang terbuat dari porselin atau tanah infusorial. Permukaannya di-

lapisi dengan katalis perak, sehingga bakteri yang masuk ke dalam akan dibunuh. Metode ini menghilangkan bakteri yang biasanya ditemukan dalam minum air, tetapi tidak efektif dengan virus yang bisa lolos saringan. Alat UV filter umumnya terdiri atas prefilter, yaitu filter kotoran fisik. Kartrid karbon menghilangkan air dari kotoran organik yang berwarna, bau, bebas Cl, dan lainnya. Sedangkan berkas sinar UV berfungsi untuk menghilangkan bakteri dan virus.

1. Kegiatan alam

Kerusakan lingkungan biogeofisik, bukanlah suatu hal yang asing lagi di telinga setiap orang. Dengan mudah kita dapat menunjuk dan mengetahui apa saja jenis kerusakan lingkungan tersebut, dan apa saja akibat yang ditimbulkannya. Misalnya, dengan cepat mereka dapat mengerti bahwa eksploitasi alam dan penebangan hutan yang terlalu berlebihan dapat menyebabkan bencana banjir, tanah longsor, dan kelangkaan air bersih; membuang limbah industri ke sungai dapat menyebabkan kematian ikan dan merusak habitatnya; penggunaan dinamit untuk menangkap ikan dapat merusak terumbu karang dan biota laut, dan masih banyak lagi daftar sebab-akibat yang bisa terjadi dalam lingkungan kita.

Inti dari permasalahan lingkungan adalah ketidakseimbangan yang terjadi dalam hubungan antarkomponen lingkungan akibat perubahan. Lingkungan adalah sistem yang merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk di dalamnya manusia dengan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan kehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya.

Sumberdaya air, baik yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah, oleh berbagai proses geologi seperti kegiatan gunung api atau proses kegiatan alam lainnya seperti pembentukan tanah humus atau perbedaan litologi batuan, dan dapat berubah kualitasnya.

Di daerah gunung api banyak ditemukan pemunculan mata air panas atau mata air yang mengandung mineral. Airnya mengandung kadar silika dan sulfida relatif agak tinggi, demikian pula suhunya. Mata air panas atau mata air mineral juga sering ditemukan di daerah batuan sedimen terlipat yang muncul melalui sistem sesar atau patahan di da-

lamnya. Mata air ini umumnya berderajat keasaman (pH) sangat rendah, sedangkan kandungan flourida, natrium (Na), dan klorida cukup tinggi.

Beberapa danau kawah yang terdapat pada puncak gunung api yang masih aktif, airnya mengandung kadar belerang cukup tinggi. Demikian pula air sungai yang berhulu pada danau kawah tersebut, seperti Sungai Banyu Putih (berhulu pada danau kawah Gunung Ijen) dan Sungai Putih (berhulu pada danau kawah Gunung Rinjani).

Perbedaan ketebalan pembentukan tanah humus dapat mengubah kualitas air yang bergerak mengalir di dalamnya. Air yang mengalir di dalam lajur tak jenuh ini dapat mengurangi kadar unsur yang terlarut di dalamnya, karena lapisan tanah tersebut dapat bertindak sebagai penyaring yang efektif.

Litologi batuan yang menyusun suatu daerah berpengaruh terhadap susunan kimia dan sifat fisik air permukaan yang mengalir melewatinya. Besarnya pengaruh ini tergantung pada jenis litologi serta lama dan banyaknya sentuhan antara air permukaan dengan batuan tersebut. Batu gamping mudah terlarutkan, sehingga pengaruhnya terhadap susunan kimia air sangat besar (kesadahan air tinggi). Menyusul kemudian batuan sedimen napalan, lempungan, batu, pasir, batuan gunung api, dan batuan beku, serta ubahan.

Karena gerak aliran air tanah jauh lebih lambat, pengaruh litologi batuan penyusun suatu lapisan pembawa air (akuifer) terhadap susunan kimia air tanah, umumnya lebih besar dibandingkan pengaruh yang serupa terhadap air permukaan. Di daerah yang ditutupi oleh bahan asal gunung api, karena mudah melapuk, kandungan kadar besi dan mangan (Mn) umumnya relatif agak tinggi. Demikian pula air tanah yang terdapat di daerah yang tertutup endapan gambut.

Kegiatan alam memang terjadi secara alami dan tidak dikendalikan oleh manusia. Bencana yang ditimbulkannya bias langsung disebut bencana alam. Kegiatan alam yang umum dikenal adalah pergeseran lempeng (yang selanjutnya dapat menimbulkan gempa bumi vulkanik, tektonik, atau tsunami), letusan gunung api, tanah longsor, banjir, dan angin puyuh (angin puting beliung, badai tropis). Sebaliknya, kegiatan

manusia tentunya melibatkan dan dikendalikan oleh manusia, baik dalam bentuk perorangan maupun kelompok.

Bencana yang ditimbulkannya memang tidak diistilahkan secara khusus. Beberapa kegiatan manusia yang pada akhirnya sangat berpotensi menimbulkan bencana adalah penambangan, penebangan hutan, pembangunan permukiman, pengubahan fungsi lahan (dari daerah resapan ke pertanian), serta pembakaran lahan dan hutan. Walaupun terdapat dua faktor penyebab, masyarakat dan bahkan pemerintah sekalipun seringkali mengesampingkan kenyataan bahwa kegiatan manusia dapat memicu terjadinya bencana.

Masalahnya, bencana akibat kegiatan manusia memiliki ciri berikut: (1) lebih mirip dengan bencana yang disebabkan oleh kejadian alam daripada disebabkan oleh kegiatan manusia, misalnya banjir bandang; (2) tidak terlihat langsung secara fisik atau dampaknya tidak terjadi langsung setelah kegiatan dilaksanakan, karena masih merupakan potensi, misalnya hilangnya sumber air, turunnya muka air tanah/sumur (akibat penambangan), meluapnya air pada dataran rendah (akibat pengurugan); dan (3) menimbulkan dampak ikutan yang tidak disadari secara langsung oleh manusia, misalnya hilangnya plasma nutfah dan turunnya biodiversitas.

Bencana alam dilihat dari penyebabnya, dapat dibedakan atas sedikitnya tiga jenis, yakni: (1) bencana alam geologis, bencana alam ini disebabkan oleh gaya-gaya yang berasal dari dalam bumi (gaya endogen). Termasuk dalam bencana alam geologis adalah gempa bumi, letusan gunung berapi, dan tsunami; (2) bencana alam klimatologis, adalah bencana alam yang disebabkan oleh faktor angin dan hujan. Contoh bencana alam klimatologis, adalah banjir, badai, banjir bandang, angin puting beliung, kekeringan, dan kebakaran alami hutan (bukan oleh manusia). Gerakan tanah (longsor) termasuk juga bencana alam, walaupun pemicu utamanya adalah faktor klimatologis (hujan), tetapi gejala awalnya dimulai dari kondisi geologis (jenis dan karakteristik tanah serta batuan, dan sebagainya); dan (3) bencana alam ekstra-terestrial, adalah bencana alam yang terjadi di luar angkasa, contoh: hantaman meteor. Bila hantaman benda-benda langit mengenai permukaan

bumi, maka akan menimbulkan bencana alam yang dahsyat bagi penduduk bumi.

Dari tiga jenis bencana tersebut yang dapat diprediksi kedatangannya hanyalah tipe klimatologis, yaitu yang ditimbulkan oleh cuaca. Bencana ini akan diketahui ke arah dan di lokasi mana daerah yang akan dilanda bencana alam. Sementara tipe ekstra-terestrial adalah bencana yang disebabkan oleh hantaman meteor atau benda dari luar angkasa yang juga sulit diprediksi. Tipe geologis, terutama gempa bumi, sampai sekarang juga masih sulit untuk diprediksi, sehingga fenomena alam itu selalu datang mendadak dan tidak teratur. Dengan masih sulitnya menentukan di mana dan kapan tepatnya bencana alam geologis akan terjadi, maka pada umumnya bencana alam cenderung untuk tidak teratur. Namun para ahli masih percaya, bahwa sebenarnya kejadian alam itu memang “tidak teratur, tetapi dalam keteraturan” yang polanya belum dapat dikenali dan dipelajari dengan baik.

2. Kegiatan manusia

Kerusakan lingkungan umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia dalam memanfaatkan sumber-sumber alam. Kerusakan lingkungan biogeofisik yang diakibatkan oleh manusia dikategorikan sebagai bentuk pencemaran, seperti pencemaran tanah, air, dan udara.

Pencemaran, menurut SK MenKLH Nomor 02/MENKLH/1988, adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air/udara, dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air/udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran lingkungan dipahami sebagai sesuatu kejadian lingkungan yang tidak diinginkan, menimbulkan, gangguan, atau kerusakan lingkungan bahkan dapat menimbulkan gangguan kesehatan sampai kematian. Hal-hal yang tidak diinginkan, misalnya udara berbau tidak sedap, air berwarna keruh, dan tanah ditimbuni sampah. Hal tersebut dapat berkembang dari sekadar tidak diinginkan menjadi gangguan. Udara yang tercemar, baik oleh debu, gas, maupun unsur kimia lainnya dapat menyakitkan saluran pernapasan, mata menjadi pedas atau merah dan

berair. Bila zat pencemar tersebut mengandung B3, kemungkinan dapat berakibat fatal.

Kerusakan lingkungan secara bertahap menjadi ciri dampak dari kegiatan manusia. Gejala inilah yang sering tidak disadari atau bahkan diabaikan. Terdapat empat gejala tersebut, yakni: (1) tidak adanya vegetasi atau berkurangnya tutupan lahan yang selanjutnya akan berdampak pada meningkatnya erosi dan sedimentasi di daerah rendah atau timbulnya banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau; (2) berubahnya bentang lahan atau kondisi tanah yang dapat menimbulkan penurunan muka air tanah atau pemerosotan nilai konservasi; (3) hancurnya lahan gambut yang dapat mengganggu sistem hidrologi atau mengurangi peresapan air; dan (4) meluasnya sebaran atau pekatnya kabut asap yang pada akhirnya meningkatkan korban penderita ISPA.

Kegiatan manusia yang mempengaruhi kualitas air disebabkan oleh adanya limbah. Beberapa jenis kegiatan yang dapat mempengaruhi kualitas air, antara lain permukiman, perindustrian, pertambangan, pertanian, rekreasi, dan transportasi. Pengaruh kegiatan manusia tersebut terhadap kualitas air di Indonesia secara umum dapat diuraikan seperti berikut.

a. Permukiman

Untuk kepentingan masyarakat sehari-hari, persediaan air harus memenuhi standar air minum dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Menurut WHO, standar-standar air minum yang harus dipenuhi agar suatu persediaan air dapat dinyatakan layak sebagai air minum harus memenuhi persyaratan fisik, biologis, dan kimia. Standar fisik kualitas air meliputi suhu, warna, bau, rasa, kekeruhan. Standar biologis: kuman parasit, patogen, bakteri koliform; sedangkan standar kimia: pH, jumlah zat padat, dan bahan kimia lain (Permenkes 416/Menkes/Per/IX,1990).

Pada kawasan padat penduduk, pemilihan parameter pencemaran air tanah berkaitan dengan karakteristik bahan pencemar yang berhubungan dengan aktivitas penduduk pada kawasan tersebut. Pemilihan parameter kualitas air didasarkan pada jenis parameter yang akan diambil, yakni parameter primer, parameter sekunder, dan parameter kun-

ci. Parameter primer merupakan senyawa kimia yang masuk ke dalam lingkungan tanpa bereaksi dengan senyawa lain. Parameter sekunder merupakan transformasi yang terbentuk akibat adanya interaksi, transformasi, atau reaksi kimia antara parameter primer menjadi senyawa lain. Sementara itu parameter kunci adalah parameter yang dianggap dapat mewakili kualitas lingkungan yang disesuaikan dengan tujuan pengambilan sampel.

Limbah domestik dari daerah permukiman pada saat ini merupakan sumber pencemaran air yang terbesar di Indonesia, karena usaha-usaha pengolahan limbah penduduk masih sangat terbatas. Limbah domestik mengandung bahan-bahan pencemaran organik, anorganik, dan bakteri yang sangat potensial mencemari sumber-sumber air.

Jenis bahan pencemaran air yang terdapat dalam limbah penduduk mengandung bahan pencemaran zat organik yang dinyatakan sebagai BOD, COD, nitrogen, dan fosfor, dan bahan kimia detergen dan fenol serta parameter coli tinja yang merupakan indikator kualitas air yang berkaitan dengan kesehatan. Di dalam perhitungan dan perencanaan teknik penyehatan, beban parameter indikator pencemaran zat organik, yaitu BOD.

Beban pencemaran tersebut jumlahnya tergantung pada pola konsumsi penduduk dan pada akhirnya tergantung pada tingkat penghasilan dan standar hidup. Menarik untuk diketahui adalah makin tinggi tingkat penghasilan makin tinggi pula jumlah beban pencemaran yang dikandung dalam limbah. Hal tersebut terbukti pada hasil pengukuran beban pencemaran penduduk Jakarta pada tahun 1975, yang menunjukkan makin tingginya indikator pencemaran BOD pada lapisan penduduk yang berpenghasilan tinggi. Oleh karena itu, dapat diperkirakan kecenderungan peningkatan beban pencemaran limbah penduduk kota selain disebabkan oleh kenaikan jumlah penduduk, juga dipengaruhi kenaikan penghasilannya.

Pencemaran air akibat limbah penduduk telah terjadi pada sungai-sungai yang mengalir melalui kota besar. Hal ini disebabkan kepadatan penduduk yang menghasilkan limbah melebihi daya tampung sumber-sumber air.

Persentase penduduk yang memakai jamban memang telah bertambah dari 33,6% (SRKT, 1980) menjadi 37,9% (SRKT, 1986). Namun dari segi pemilikan jamban dari tahun ke tahun tidak banyak berubah. Hanya $\pm 14,9\%$ rumah tangga di Indonesia memiliki sarana sanitasi berupa *septic-tank*.

Di Jabodetabek, $\pm 38,5\%$ penduduk atau $\pm 3,75$ juta orang membuang limbah ke sungai. Ini berarti jumlah beban pencemaran yang masuk ke sungai ± 20 ton BOD/hari. Walaupun beberapa kota besar (misalnya Jakarta) mewajibkan penghasil limbah dalam jumlah besar, seperti hotel dan perkantoran untuk membangun sarana pengolahan limbah sendiri, namun pengelolaannya sering tidak memadai. Akibatnya, sejumlah besar limbah masuk ke dalam perairan sungai tanpa mendapat pengolahan sebagaimana mestinya.

Pembuangan sampah ke dalam badan sungai juga merupakan masalah yang mencerminkan lemahnya pengembangan pelayanan, pengumpulan, dan pengelolaan sampah rumah tangga terutama di wilayah yang penduduknya berpenghasilan rendah. Pada tahun 1988/1989 untuk DKI Jaya, volume sampah yang terangkut per hari mencapai 16.769 m^3 atau $\pm 78,9\%$ dari perkiraan produksi sampah per hari. Sedangkan untuk Bandung, volume sampah yang terangkut per hari $\pm 3.958 \text{ m}^3$ atau $60,9\%$ dari perkiraan produksi sampah per hari.

b. Perindustrian

Untuk memproses bahan baku menjadi produk jadi, industri membutuhkan air, yang pada umumnya digunakan untuk keperluan berikut: (1) ketel uap; (2) pendingin; (3) proses; dan (4) keperluan umum, seperti minum, mencuci, kamar kecil, dan lain-lain.

Air yang sudah terpakai tidak dibuang melalui saluran-saluran yang terpisah, akan tetapi kesemuanya keluar melalui satu buangan. Jumlah air limbah adalah sebanyak air yang dipergunakan (*water intake*), dikurangi dengan air yang hilang karena penguapan. Jumlah air tersebut tergantung pada beberapa faktor, antara lain jenis industri, kapasitas dan besarnya industri, teknologi proses yang dipakai, jumlah buruh, peralatan, dan lain-lainnya.

Masalah pencemaran air sepanjang pantai utara Pulau Jawa diperberat oleh adanya pemusatan industri di wilayah tersebut dengan 60%

penduduk Indonesia bermukim di Pulau Jawa. Selain itu, 76% pabrik dan 80% industri besar dan sedang terletak di Pulau Jawa. Sebagian besar industri besar dan sedang ini terdapat di koridor Jakarta-Bandung. Industri-industri ini merupakan kontributor utama terhadap degradasi sumberdaya air di Pulau Jawa ini. Bila proyeksi pertumbuhan industri di Indonesia dalam beberapa dekade diperkirakan tetap 8,5%/tahun dan cenderung untuk tetap berpusat di Jawa, maka pencemaran ini akan bertambah buruk kecuali dilakukan tindakan pengendalian.

Studi di Jatim (1987) menunjukkan limbah industri yang memasuki kali Surabaya berjumlah 1.000 m³/hari dan mengandung logam berat. Berbagai industri yang berlokasi di sini, antara lain industri kertas dan *pulp*, monosodium glutamat, pencelupan, minyak goreng, industri logam. Dari 28 industri yang diteliti lebih rinci hanya empat (14%) yang BOD-nya di bawah baku mutu limbah dan 11 (30%) yang COD-nya memenuhi baku mutu limbah. Empat di antara 28 industri tersebut merupakan penyumbang terbesar (94%) dari total beban BOD industri.

Penelitian buangan industri proyek-proyek PMA/PMDN (1988/1989) di Jateng menunjukkan bahwa dari enam industri yang diteliti, 69% tidak memenuhi persyaratan untuk BOD maupun COD-nya. Selain itu, logam berat yang konsentrasinya umumnya melampaui baku mutu limbah adalah Cd, Pb, khrom, dan nikel (Ni). Industri yang diteliti, antara lain penyamakan kulit, bumbu masak, tekstil, logam, plastik, kimia, kertas, dan farmasi.

Berdasarkan laporan tim koordinasi penanggulangan pencemaran industri Jabar 1988/1989, 34% dari 33 industri tidak memenuhi baku mutu limbah untuk BOD. Sedangkan untuk COD, ± 61% tidak memenuhi persyaratan. Industri yang diteliti meliputi industri tekstil, cat, kertas, dan logam.

Pada tahun 1989/1990, jumlah industri yang memeriksakan air limbah di DKI Jaya ada 159 perusahaan, ± 73% nilai BOD-nya tidak memenuhi persyaratan, sedangkan untuk COD ± 82% tidak memenuhi persyaratan, di mana ± 23 perusahaan (14%) nilai logam berat krom tidak memenuhi syarat dan sembilan perusahaan (6%) nilai timah hitamnya di atas baku mutu.

Di Sumut, dalam periode 1986-1988 telah diteliti 32 industri. Untuk BOD, 54% berada di atas baku mutu limbah. Sedangkan untuk COD, 66% tidak memenuhi persyaratan baku mutu limbah. Industri tersebut antara lain adalah industri cat, besi dan baja, minyak goreng, pengolahan logam, karet, dan pengalengan makanan.

Berbagai macam kegiatan industri dan teknologi yang ada saat ini apabila tidak disertai dengan program pengelolaan air yang baik akan mengakibatkan kerusakan ekosistem yang ada, dalam hal ini adalah air, baik secara langsung maupun tidak langsung. Bahan buangan dan air limbah yang berasal dari kegiatan industri adalah penyebab terjadinya pencemaran air.

Saat ini hampir 10 juta zat kimia telah dikenal manusia, dan hampir 100.000 zat kimia telah digunakan secara komersial. Kebanyakan sisa zat kimia tersebut dibuang ke badan air atau air tanah. Sebagai contoh, pestisida yang biasa digunakan di pertanian, industri atau rumah tangga, detergen yang biasa digunakan di rumah tangga atau PCBs yang biasa digunakan pada alat-alat elektronik.

Erat kaitannya dengan masalah indikator pencemaran air, ternyata komponen pencemaran air turut menentukan bagaimana indikator tersebut terjadi. Komponen pencemaran air yang berasal dari industri, rumah tangga (pemukiman), dan pertanian dikelompokkan Wardhana (2000) sebagai bahan buangan: (1) padat; (2) organik; (3) anorganik; (4) olahan bahan makanan; (5) cairan berminyak; (6) zat kimia; dan (7) berupa panas (suhu).

Untuk kegiatan industri, bahan buangan cairan berminyak dan bahan buangan berupa panas (suhu) menjadi bahan pencemar yang utama.

1) Bahan buangan padat

Yang dimaksud bahan buangan padat adalah adalah bahan buangan yang berbentuk padat, baik yang kasar atau yang halus, misalnya sampah. Buangan tersebut bila dibuang ke air menjadi pencemaran dan akan menimbulkan pelarutan, pengendapan, ataupun pembentukan koloidal.

Apabila bahan buangan padat tersebut menimbulkan pelarutan, maka kepekatan atau berat jenis air akan naik. Kadang-kadang pelarut-

an ini disertai pula dengan perubahan warna air. Air yang mengandung larutan pekat dan berwarna gelap akan mengurasi penetrasi sinar matahari ke dalam air. Sehingga proses fotosintesis tanaman dalam air akan terganggu. Jumlah oksigen terlarut dalam air menjadi berkurang, kehidupan organisme dalam air juga terganggu.

Terjadinya endapan di dasar perairan akan sangat mengganggu kehidupan organisme dalam air, karena endapan akan menutup permukaan dasar air yang mungkin mengandung telur ikan, sehingga tidak dapat menetas. Selain itu, endapan juga dapat menghalangi sumber makanan ikan dalam air serta menghalangi datangnya sinar matahari. Pembentukan koloidal terjadi bila buangan tersebut berbentuk halus, sehingga sebagian ada yang larut dan sebagian lagi ada yang melayang-layang, mengakibatkan air menjadi keruh. Kekeruhan ini juga menghalangi penetrasi sinar matahari, sehingga menghambat fotosintesis dan berkurangnya kadar O₂ dalam air.

2) Bahan buangan organik

Bahan buangan organik umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga bila dibuang ke perairan akan menaikkan populasi mikroorganisme. Kadar BOD dalam hal ini akan naik. Tidak tertutup kemungkinan dengan bertambahnya mikroorganisme dapat berkembang pula bakteri patogen yang berbahaya bagi manusia.

Sandrin dan Maier (2003: 1093) menyajikan data mengenai dampak logam pada biodegradasi polutan organik, di mana 40% limbah berbahaya di Amerika Serikat ikut terkontaminasi dengan polutan organik dan logam. Data dari kedua sistem aerobik dan anaerobik menunjukkan, bahwa biodegradasi komponen organik dapat dikurangi dengan toksisitas logam. Logam bioavailabilitas, ditentukan terutama oleh media komposisi/jenis tanah dan pH, mengatur sejauhmana logam mempengaruhi biodegradasi. Kegagalan untuk mempertimbangkan ketersediaan hayati daripada total logam mungkin untuk variabilitas yang sangat besar antara konsentrasi penghambatan logam. Logam tampaknya mempengaruhi biodegradasi organik yang berdampak, baik fisiologi dan ekologi mikroorganisme organik. Pendekatan terbaru untuk meningkatkan biodegradasi organik dalam kehadiran logam melibat-

kan pengurangan bioavailabilitas logam dan termasuk penggunaan logam-bakteri resisten, aditif, dan mineral lempung.

3) Bahan buangan anorganik

Bahan buangan anorganik sukar didegradasi oleh mikroorganisme, umumnya adalah logam. Apabila masuk ke perairan, maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam dalam air. Bahan buangan anorganik ini biasanya berasal dari limbah industri yang melibatkan penggunaan unsur-unsur logam, seperti Pb, As, Cd, air raksa atau Hg, Ni, Ca, magnesium (Mg), dan lain-lain. Kandungan ion Mg dan Ca dalam air akan menyebabkan air bersifat sadah.

Kesadahan air yang tinggi dapat merugikan, karena dapat merusak peralatan yang terbuat dari besi melalui proses pengkaratan (korosi). Juga dapat menimbulkan endapan atau kerak pada peralatan. Apabila ion-ion logam berasal dari logam berat maupun yang bersifat racun, seperti Pb, Cd, ataupun Hg, maka air yang mengandung ion-ion logam tersebut sangat berbahaya bagi tubuh manusia, air tersebut tidak layak minum.

4) Bahan buangan olahan bahan makanan

Buangan olahan bahan makanan yang sebenarnya adalah juga bahan buangan organik yang baunya lebih menyengat. Umumnya buangan olahan makanan mengandung protein dan gugus amin, maka bila didegradasi akan terurai menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk (misalnya NH_3).

5) Bahan buangan cairan berminyak

Minyak tidak dapat larut di dalam air, melainkan akan mengapung di atas permukaan air. Bahan buangan cairan berminyak yang dibuang ke air lingkungan akan mengapung menutupi permukaan air. Kalau bahan buangan cairan berminyak mengandung senyawa yang volatile, maka akan terjadi penguapan dan luar permukaan minyak yang menutupi permukaan air akan menyusut. Penyusutan luas permukaan ini tergantung pada jenis minyaknya dan waktu lapisan minyak yang menutupi permukaan air dapat juga terdegradasi oleh mikroorganisme tertentu, namun memerlukan waktu yang cukup lama.

Lapisan minyak di permukaan air lingkungan akan mengganggu kehidupan organisme dalam air. Hal ini disebabkan oleh: (1) lapisan minyak pada permukaan air akan menghalangi difusi O₂ dari udara ke dalam air sehingga jumlah O₂ yang terlarut di dalam air menjadi berkurang. Kandungan O₂ yang menurun akan mengganggu kehidupan hewan air; dan (2) adanya lapisan minyak pada permukaan air juga akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air, sehingga fotosintesis oleh tanaman air tidak dapat berlangsung. Akibatnya, O₂ yang seharusnya dihasilkan pada proses fotosintesis tersebut tidak terjadi. Kandungan O₂ dalam air jadi semakin menurun.

Tidak hanya hewan air saja yang terganggu akibat adanya lapisan minyak pada permukaan air tersebut, tetapi burung pun ikut terganggu karena bulunya jadi lengket, tidak bisa mengembang lagi.

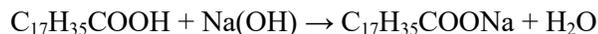
Selain daripada itu, air yang telah tercemar oleh minyak juga tidak dapat dikonsumsi oleh manusia karena seringkali dalam cairan yang berminyak terdapat juga zat-zat yang beracun, seperti senyawa benzena, senyawa toluena, dan sebagainya.

6) Bahan buangan zat kimia

Bahan buangan zat kimia banyak ragamnya, tetapi dalam bahan pencemar air ini akan dikelompokkan menjadi: (a) sabun (detergen, sampo dan bahan pembersih lainnya); (b) bahan pemberantas hama (insektisida); (c) zat warna kimia; dan (d) zat radioaktif.

- **Sabun**

Adanya bahan buangan zat kimia yang berupa sabun (detergen, sampo, dan bahan pembersih lainnya) yang berlebihan di dalam air ditandai dengan timbulnya buih-buih sabun pada permukaan air. Sebenarnya ada perbedaan antara sabun dan detergen serta bahan pembersih lainnya. Sabun berasal dari asam lemak (stearat, palmitat, atau oleat) yang direaksikan dengan basa Na(OH) atau K(OH), berdasarkan reaksi kimia berikut ini:



Asam stearat basa sabun

Sabun natron (sabun keras) adalah garam natrium asam lemak seperti pada contoh reaksi di atas. Sedangkan sabun lunak adalah garam

kalium asam lemak yang diperoleh dari reaksi asam lemak dengan basa K(OH). Sabun lemak diberi pewarna yang menarik dan pewangi (parfum) yang enak serta bahan antiseptik seperti pada sabun mandi.

Terdapat tiga sifat sabun, yakni: (1) larutan sabun mempunyai sifat membersihkan karena dapat mengemulsikan kotoran yang melekat pada badan atau pakaian; (2) sabun dengan air sadah tidak dapat membentuk busa, tapi akan membentuk endapan $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ dengan reaksi: $2(C_{17}H_{35}COONa) + CaSO_4 \rightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca + Na_2SO_4$; dan (3) larutan sabun bereaksi basa karena terjadi hidrolisis sebagian.

Sedangkan detergen adalah juga bahan pembersih seperti halnya sabun, akan tetapi dibuat dari senyawa petrokimia. Detergen mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sabun, karena dapat bekerja pada air sadah. Bahan detergen yang umum digunakan adalah dedocylbensensulfonat. Detergen dalam air akan mengalami ionisasi membentuk komponen bipolar aktif yang akan mengikat ion Ca dan/atau ion Mg pada air sadah. Komponen bipolar aktif terbentuk pada ujung dodecylbenzen-sulfonat. Untuk dapat membersihkan kotoran dengan baik, detergen diberi bahan pembentuk yang bersifat alkalis. Contoh bahan pembentuk yang bersifat alkalis adalah natrium tripoliposfat.

Bahan buangan berupa sabun dan detergen di dalam air lingkungan akan mengganggu karena alasan berikut: (1) larutan sabun akan menaikkan pH air, sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air. Detergen yang menggunakan bahan non-fosfat akan menaikkan pH air sampai $\pm 10,5-11$; (2) bahan antiseptik yang ditambahkan ke dalam sabun/detergen juga mengganggu kehidupan mikroorganisme di dalam air, bahkan dapat mematikan; dan (3) ada sebagian bahan sabun atau detergen yang tidak dapat dipecah (didegradasi) oleh mikroorganisme yang ada di dalam air. Keadaan ini sudah barang tentu akan merugikan lingkungan. Namun akhir-akhir ini mulai banyak digunakan bahan sabun/detergen yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme.

- Bahan pemberantas hama

Pemakaian bahan pemberantas hama (insektisida) pada lahan pertanian seringkali meliputi daerah yang sangat luas, sehingga sisa insektisida pada daerah pertanian tersebut cukup banyak. Sisa bahan insektisida tersebut dapat sampai ke air lingkungan melalui pengairan sa-

wah, melalui hujan yang jatuh pada daerah pertanian kemudian mengalir ke sungai atau danau di sekitarnya. Seperti halnya pada pencemaran udara, semua jenis bahan insektisida bersifat racun apabila sampai ke dalam air lingkungan.

Bahan insektisida dalam air sulit untuk dipecah oleh mikroorganisme, walaupun biasanya hal itu akan berlangsung dalam waktu yang lama. Waktu degradasi oleh mikroorganisme berselang antara beberapa minggu sampai dengan beberapa tahun. Bahan insektisida seringkali dicampur dengan senyawa minyak bumi, sehingga air yang terkena bahan buangan pemberantas hama ini permukaannya akan tertutup lapisan minyak.

- Zat warna kimia

Zat warna dipakai hampir pada semua industri. Tanpa memakai zat warna, hasil atau produk industri tidak menarik. Oleh karena itu, hampir semua produk memanfaatkannya agar produk itu dapat dipasarkan dengan mudah.

Pada dasarnya semua zat warna adalah racun bagi tubuh manusia. Oleh karena itu, pencemaran zat warna ke air lingkungan perlu mendapat perhatian sungguh-sungguh agar tidak sampai masuk ke dalam tubuh manusia melalui air minum. Ada zat warna tertentu yang relatif aman bagi manusia, yaitu zat warna yang digunakan pada industri bahan makanan dan minuman, industri farmasi/obat-obatan.

Zat warna tersusun dari *chromogen dan auxochrome*. Chromogen merupakan senyawa aromatik yang berisi chromopore, yaitu zat pemberi warna yang berasal dari radikal kimia, misalnya kelompok nitroso (-NO), kelompok azo(-N=N-), kelompok etilen (>C=C<), dan lain lain. Macam-macam warna dapat diperoleh dari penggabungan radikal kimia tersebut di atas dengan senyawa lain. Sedangkan auxochrome adalah radikal yang memudahkan terjadinya pelarutan, sehingga zat warna dapat mudah meresap dengan baik ke dalam bahan yang akan diberi warna. Contoh auxochrome adalah -COOH atau -SO₃H atau kelompok pembentuk garam -NH₂ atau -OH. Zat warna dapat pula diperoleh dari senyawa anorganik dan mineral alam yang disebut dengan pigmen. Ada pula bahan tambahan yang digunakan sesuai dengan fungsinya, misalnya bahan pembentuk lapisan film (misalnya bahan vernis,

emulsi lateks), bahan pengencer [misalnya terpentin, naftalena ($C_{10}H_8$)], bahan pengering [misalnya kobalt (Co), Mn, $C_{10}H_8$], bahan anti mengelupas (misalnya polihidroksi fenol), dan bahan pembentuk elastis (misalnya minyak). Berdasarkan bahan susunan zat warna dan bahan-bahan yang ditambahkan, dapat dimengerti bahwa hampir semua zat warna kimia adalah racun. Apabila masuk ke dalam tubuh manusia dapat bersifat *cocarcinogenik*, yaitu merangsang tumbuhnya kanker. Oleh sebab itu, pembuangan zat kimia ke air lingkungan sangatlah berbahaya. Selain sifatnya racun, zat warna kimia juga akan mempengaruhi kandungan O_2 dalam air mempengaruhi pH air lingkungan, yang menjadikan gangguan bagi mikroorganisme dan hewan air.

- Zat radioaktif

Tidak tertutup kemungkinan adanya pembuangan sisa zat radioaktif ke air lingkungan secara langsung. Ini dimungkinkan karena aplikasi teknologi nuklir yang menggunakan zat radioaktif pada berbagai bidang sudah banyak dikembangkan, sebagai contoh aplikasi teknologi nuklir pada bidang pertanian, kedokteran, farmasi, dan lain lain. Adanya zat radioaktif dalam air lingkungan jelas sangat membahayakan bagi lingkungan dan manusia. Zat radioaktif dapat menimbulkan kerusakan biologis, baik melalui efek langsung atau efek tertunda.

7) Bahan buangan berupa panas

Suhu mempunyai pengaruh yang besar terhadap kelarutan O_2 . Populasi termal pada organisme air terjadi pada suhu tinggi. Setiap spesies mempunyai suhu optimumnya. Ada ikan yang mempunyai suhu optimum $15^\circ C$, ada yang $24^\circ C$, dan ada yang $32^\circ C$. Ikan ini dapat menengang perbedaan suhu sedikit, bahkan dapat mengaklimatisasi diri tetapi jika suhu berbeda jauh dari optimumnya, hewan itu akan mati atau bermigrasi ke daerah baru. Kenaikan sedikit demi sedikit karena perubahan musim dingin ke musim panas masih dapat ditahan oleh ikan.

Kenaikan suhu air menyebabkan suhu badan hewan berdarah dingin dalam air itu naik. Hal ini akan menyebabkan metabolisme naik dalam ikan, dan kemudian menaikkan kebutuhan O_2 -nya. Tetapi jika suhu naik, kandungan dalam air akan menurun. Jika kebutuhan O_2 me-

lampau kebutuhan O_2 yang tersedia, maka ikan itu akan mati. Suhu tersebut disebut sebagai suhu yang mematikan (*lethal temperature*).

Suhu ini mungkin untuk tiap anggota dalam suatu spesies tertentu, sehingga pengaruh populasi termal menimbulkan pengertian media batas toleransi. Jika spesies ikan tertentu mempunyai median batas toleransi 24 jam $30^\circ C$, maka 50% ikan akan mati dalam 24 jam jika suhu $30^\circ C$. Kenaikan suhu biasanya meningkat akibat keracunan pencemar kimia dalam air. Misalnya ikan kecil yang ditempatkan dalam larutan sianida 0,55 bpj akan keracunan dalam jangka waktu 72 menit pada suhu $10^\circ C$, tetapi jika suhu naik menjadi $20^\circ C$ maka waktu reaksinya turun menjadi 12 menit.

Jadi, pengaruh pencemar pada organisme hidup jangan dianggap terisolasi dari pengaruh faktor-faktor lingkungan lainnya. Bahan pencemar berupa kondisi (misalnya panas), berasal dari limbah pembangkit tenaga listrik atau limbah industri yang menggunakan air sebagai pendingin. Bahan pencemar panas ini menyebabkan suhu air meningkat tidak sesuai untuk kehidupan akuatik (organisme, ikan, dan tanaman dalam air). Tanaman, ikan, dan organisme yang mati ini akan terurai menjadi senyawa-senyawa organik. Untuk proses penguraian senyawa organik ini memerlukan O_2 , sehingga terjadi penurunan kadar O_2 dalam air.

c. Pertambangan

Kegiatan penambangan sangat banyak menggunakan air, meskipun sebagian adalah hasil sirkulasi kembali. Mineral-mineral yang mengandung sulfida, karena kontaknya dengan udara melalui penambangan membentuk asam sulfida yang berkombinasi dengan elemen jejak (*trace element*). Kondisi ini secara keseluruhan berdampak negatif baik pada air permukaan maupun pada air tanah. Pencemaran air juga dapat berasal dari dari timbunan tailing maupun limbah batuan, belum lagi proses ledakan yang dapat menaikkan salinitas air.

Dalam kegiatan ekstraksi emas, sejumlah racun seperti sianida¹⁰ dan Hg¹¹ dapat secara permanen mencemari air. Keduanya umum

¹⁰ dapat menimbulkan banyak gejala pada tubuh, termasuk pada tekanan darah, penglihatan, paru, saraf pusat, jantung, sistem endokrin, sistem otonom, dan sistem meta-

digunakan pada tambang rakyat yang menambang emas primer, yaitu emas yang pembentukannya terkait dengan proses-proses mineralisasi/magmatik (Hilson, 2002). Pada tipe penambangan ini lebih mudah dijumpai dampak kedua racun itu pada sejumlah makhluk hidup.

Di Cambodia, akibat ampas yang mengandung sianida dibuang ke sungai oleh penambang di bagian hulunya, ikan-ikan yang ada di sungai tersebut mati, bahkan sempat memakan korban penduduk setempat (Sotham, 2004: 37). Sementara itu, tambang emas primer di Kabupaten Kulon Progo diperkirakan telah berdampak pada kesehatan masyarakat.

Beragam-macam sumber bahan galian yang meliputi bahan mineral, minyak bumi, bimu, dan gas bumi, tersebar di Indonesia. Sebagian dari bahan tambang tersebut telah digali dan diolah secara besar-besaran oleh negara, sebagian kecil oleh rakyat, dan sisanya belum dimanfaatkan. Beberapa jenis bahan tambang yang terdapat di Indonesia yang kemungkinannya dapat menimbulkan pencemaran sebagai akibat dari penggalian dan pengolahannya, antara lain: minyak bumi, batu bara, besi, Mn, timah hitam, timah putih, tembaga, air raksa (cinabar), dan belerang.

Kegiatan dari penggalian dan pengolahan bahan tambang tertentu yang tidak sempurna caranya, dapat menghasilkan atau menyisakan bahan-bahan yang berbahaya atau beracun, yang mungkin terbawa dan masuk ke dalam air. Berbagai kegiatan penambangan yang dapat mencemari sumber air, seperti: (1) pelumpuran karena erosi permukaan pada bukaan tambang dan timbunan tanah penutup, tailing, dan bijih;

bolisme. Biasanya penderita akan mengeluh timbul rasa pedih di mata karena iritasi dan kesulitan bernafas karena mengiritasi saluran pernafasan. Bila keracunan ini terjadi dalam dosis tinggi, dalam waktu 30 detik penderita akan kehilangan kesadarannya, dalam jangka waktu 10–15 menit aktivitas otot jantung melambat dan berakhir dengan kematian

¹¹ merupakan racun sistematis dan dapat diakumulasi di hati, ginjal, limpa, dan tulang. Keracunan merkuri ini akan menimbulkan gangguan susunan saraf (kelainan kepribadian dan tremor, pikun, insomnia, kehilangan kepercayaan diri, iritasi, depresi, dan rasa ketakutan) serta gejala gastero-intestinal seperti stomatis, hipersalivasi, colitis, sakit pada mengunyah, ginggitivitis, garis hitam pada gusi dan gigi yang mudah lepas

(2) buangan air dari tambang yang kadang-kadang bersifat asam; (3) pembuangan tailing dari pabrik pengolahan/pemurnian; dan (4) buangan minyak bekas yang berasal dari bengkel.

Suatu perkiraan jumlah tailing (lumpur) yang dibuang ke sungai dari kegiatan pertambangan tembaga di Irian Jaya selama operasi 1973-1988 \pm 56 juta ton.

d. Pertanian

Kegiatan pertanian yang dapat secara langsung menyebabkan pencemaran adalah penggunaan bermacam-macam pestisida. Sisa pestisida dapat terbawa air hujan dan drainase sawah menuju saluran pengaliran, sungai, dan lain-lain.

Penggunaan zat kimia lainnya dapat mengganggu sanitasi perairan secara tidak langsung adalah pupuk yang mengandung unsur nitrogen dan fosfor. Unsur-unsur tersebut akan menyebabkan penyuburan air yang memungkinkan tumbuhnya gulma air, sehingga terjadinya proses pembusukan dan pengendapan.

1) Penggunaan pestisida

Pestisida yang dipergunakan untuk pertanian pada umumnya dapat dibagi atas dua golongan berdasarkan penggunaannya, yaitu herbisida dan insektisida; sedangkan berdasarkan komposisi kimiawinya pada umumnya terbagi atas tiga golongan, yaitu organoklorin, organofosfat, dan karbamat.

Insektisida dari golongan organoklorin merupakan bahaya yang terbesar terhadap sumber air, mengingat golongan ini mempunyai *residualactivity* yang lama. Insektisida dari golongan organofosfat mempunyai bahaya yang lebih rendah dibandingkan dengan organoklorin karena persenyawaannya tersebut kurang stabil dan cepat terurai dalam air. Dari semua persenyawaan golongan organoklorin, endrin adalah racun yang paling kuat, sedangkan TDE dan BHC yang paling lemah.

Penggunaan pestisida telah meningkat sebesar 237% dari tahun 1978 sampai tahun 1982. Penggunaan insektisida untuk tanaman pangan juga meningkat dari 0,93 kg/ha pada tahun 1981 menjadi 1,67 kg/ha pada tahun 1986. Pada tahun 1986, hampir \pm 37 ribu metrik ton

pestisida digunakan pada padi-padian, di mana \pm 4.700 metrik ton digunakan bagi tanaman pangan lainnya.

Di Indonesia, pestisida yang paling dominan banyak digunakan sejak tahun 1950-an sampai akhir tahun 1960-an adalah pestisida dari golongan hidrokarbon berklor, seperti DDT, endrin, aldrin, dieldrin, heptaklor, dan gamma BHC. Penggunaan pestisida-pestisida fosfat organik, seperti paration, OMPA, TEPP pada masa lampau tidak perlu dikhawatirkan, karena walaupun bahan-bahan ini sangat beracun (racun akut), akan tetapi pestisida-pestisida tersebut sangat mudah terurai dan tidak mempunyai efek residu yang menahun. Hal penting yang masih perlu diperhatikan masa kini ialah dampak penggunaan hidrokarbon berklor pada masa lampau khususnya terhadap aplikasi derivat-derivat DDT, endrin, dan dieldrin.

Pada tanah-tanah pertanian yang menggunakan bahan organik yang tinggi, residu pestisida akan sangat tinggi karena jenis tanah tersebut di atas menyerap senyawa golongan hidrokarbon berklor, sehingga persistensinya lebih mantap. Kandungan bahan organik yang tinggi dalam tanah akan menghambat proses penguapan pestisida. Kelembapan tanah, kelembapan udara, suhu tanah, dan porositas tanah merupakan salah satu faktor yang juga menentukan proses penguapan pestisida. Penguapan pestisida terjadi bersama-sama dengan proses penguapan air. Residu pestisida yang larut terangkut bersama-sama butiran air keluar dari tanah dengan jalan penguapan, akan tetapi masih mungkin jatuh kembali ke tanah bersama debu atau air hujan. Air merupakan medium utama bagi transportasi pestisida. Pestisida dapat menguap karena suhu yang tinggi dan kembali lagi ke tanah melalui air hujan atau pengendapan debu.

Bagchi dkk. (2009: 27) telah menganalisis residu pestisida di beberapa sampel air tambak di Bangladesh. Ditemukan hasil, bahwa konsentrasi tertinggi residu ini adalah 2,208 bpj dalam ada air sampel, sedangkan konsentrasi terendah adalah 0,398 bpj dalam ada air sampel. Konsentrasi juga ditemukan dalam kisaran yang dapat diterima sesuai dengan nilai kualitas air pedoman WHO.

Dinamika pestisida dalam ekosistem lingkungan dikenal dengan istilah residu. Istilah residu tidak sinonim dengan arti deposit. Deposit

ialah bahan kimia pestisida yang terdapat pada suatu permukaan pada saat segera setelah penyemprotan atau aplikasi pestisida, sedangkan residu ialah bahan kimia pestisida yang terdapat di atas atau di dalam suatu benda dengan implikasi penuaan (*aging*), perubahan (*alteration*), atau kedua-duanya. Residu dapat hilang atau terurai dan proses ini kadang-kadang berlangsung dengan derajat yang konstan. Faktor-faktor yang mempengaruhi ialah penguapan, pencucian, pelapukan (*weathering*), degradasi enzimatik, dan translokasi. Dalam jumlah yang sedikit (skala bpj), pestisida dalam tanaman hilang sama sekali karena proses pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Seperti halnya reaksi-reaksi kimia lain, penghilangan residu pestisida mengikuti hukum kinetika pertama, yakni derajat/kecepatan penghilangannya pestisida berhubungan dengan banyaknya pestisida yang diaplikasi (deposit). Dinamika pestisida di alam akan mengalami dua tahapan reaksi, yakni proses penghilangannya residu berlangsung cepat (proses desipasi), atau sebaliknya proses penghilangannya residu berlangsung lambat (proses persistensi). Terjadinya dua proses ini disebabkan deposit dapat diserap dan dipindahkan ke tempat lain, sehingga terhindar dari pengrusakan di tempat semula. Terhindarnya insektisida yang ditranslokasikan dari proses pengrusakan dimungkinkan oleh faktor-faktor lingkungan yang kurang merusak, sehingga terjadi proses penyimpanan (residu persisten). Kemungkinan lain adalah pestisida akan bereaksi dan mengalami degradasi, sehingga hilangnya residu berlangsung cepat.

Limbah pestisida memiliki aktivitas jangka waktu yang lama dan ketika terbawa aliran air keluar dari areal pertanian, dapat mematikan hewan yang bukan sasaran, seperti ikan, udang, dan hewan air lainnya. Pestisida mempunyai sifat relatif tidak larut dalam air. Tetapi relatif mudah larut dan konsentrasinya cenderung meningkat dalam lemak dan sel-sel tubuh makhluk hidup yang disebut *biological amplification*, sehingga apabila masuk ke dalam mata rantai makanan konsentrasinya makin tinggi dan tertinggi adalah konsumen puncak. Contohnya ketika dalam tubuh ikan kadarnya 6 bpj, di dalam tubuh burung pemakan ikan kadarnya meningkat menjadi 100 bpj dan akan meningkat terus sampai konsumen puncak.

- Penggunaan pestisida terhadap hewan vertebrata

Burung pemangsa tikus *Falcon tininuculus* dan *Tyto alba* banyak yang terkontaminasi oleh pestisida akibat memangsa tikus yang telah memakan umpan biji-bijian yang dicampur dieldrin, sedangkan kelelawar dari jenis *Pipistrellus*, *Plocetius*, dan *Myotis* ditemukan banyak mengandung residu organoklorin jenis DDE ($\pm 10,68$ bpj), DDT ($\pm 4,62$ bpj), dan dieldrin ($\pm 0,29$ bpj) dalam organ hatinya. Di Indonesia, dampak pengaruh samping dari aplikasi DDT dan metabolit DDE menunjukkan adanya korelasi negatif antara residu DDT pada telur bebek dan tebalnya kulit telur. Ini menunjukkan, bahwa pada saat dilakukan pengukuran, efek residu pestisida tersebut belum signifikan mencemari bebek yang ada di Indonesia. Pada hewan amfibi, seperti kodok, pencemaran dapat mengubah perilaku dan kelainan morfologi, khususnya terhadap ekor dan moncong.

- Penggunaan pestisida terhadap hewan invertebrata

Pengaruh samping daripada penggunaan pestisida terhadap hewan inveterbrata dapat berupa timbulnya pembentukan kekebalan (resistensi) ataupun resurgensi. Pembentukan kekebalan terjadi melalui beberapa mekanisme, seperti perubahan asetilkolines-trase, menurunnya penyerapan, kekebalan terhadap pengatur pertumbuhan (*growth regulator*), kekebalan terhadap piretroid, kekebalan metabolisme terhadap organofosfat dan karbamat, serta kekebalan terhadap senyawa pestisida berklor. Penyerapan insektisida oleh kulit serangga bertambah sesuai dengan polaritasnya. Hal ini diamati pada percobaan terhadap *Heliothis virescens*, akan tetapi penurunan penyerapan dapat terjadi dan merupakan mekanisme kekebalan. Walaupun mekanisme tersebut belum dapat dijelaskan secara rinci, akan tetapi pengamatan pada larva *Heliothis zea* yang lebih tua nampak lebih kebal dari yang muda.

Kasus lain ditemukan bahwa fungisida dengan sodium metan dan formaldehida yang digunakan terhadap permukaan atau yang diinjeksikan mempunyai pengaruh tajam dan akan membunuh binatang-binatang tanah yang terkena sampai pada kedalaman 15 cm. Jenis pestisida yang paling besar pengaruhnya terhadap musnahnya fauna tanah adalah insektisida dibanding pestisida lain, seperti herbisida dan fungisida.

Insektisida-insektisida tersebut yang paling banyak digunakan adalah hidrokarbon berklor dan organofosfat. Senyawa hidrokarbon berklor dapat menjadi penyebab berkurangnya populasi tungau pemangsa colembola, sehingga populasi colembola berkembang, sebaliknya senyawa dari jenis aldrin dan derivatnya pengaruhnya tidak terlalu signifikan menurunkan populasi tungau.

- Penggunaan pestisida terhadap kehidupan perairan

Sumber pencemaran perairan oleh pestisida ialah adanya aliran air dari daerah pertanian terutama selama musim hujan. Pada kadar yang tinggi pestisida dapat membunuh jasad yang hidup di dalam air. Pestisida-pestisida yang persistensinya tinggi, seperti golongan organoklorin meskipun dengan konsentrasi rendah dapat masuk dalam rantai makanan dan mengalami proses peningkatan kadar (*biological magnification*) sampai pada derajat yang mematikan. Terhadap kehidupan fitoplankton, perlakuan paraquat pada dosis 1,0 bpj selama 4 jam dapat menurunkan produktivitas 53%, perlakuan diquat dengan dosis yang sama selang waktu 48 jam menurunkan produktivitas 45%, sedangkan diuran dengan dosis 1,0 bpj dalam 4 jam menurunkan produktivitas sampai 87%.

Daya meracuni berbagai pestisida, khususnya herbisida terhadap kehidupan ikan telah banyak diteliti. Misalnya kemampuan meracuni kehidupan ikan, jenis insektisida nampak lebih kuat dibanding herbisida. Akan tetapi karena pemakaian herbisida sebagai pengendali gulma intensitas pemakaiannya lebih tinggi, maka dampak kerusakannya lebih nampak. Nilai toksisitas akut herbisida terhadap ikan umumnya jauh lebih tinggi daripada konsentrasi yang dibutuhkan untuk mengendalikan gulma. Sebagai contoh, herbisida paraquat pada kadar aplikasi 1,14 bpj dapat mematikan ikan lele, dan ikan salmon tiga hari setelah aplikasi.

- Penggunaan pestisida terhadap tumbuhan

Aplikasi pestisida pada kadar rendah (*sublethal*) dapat memberi pengaruh resisten terhadap tumbuhan pengganggu, oleh karena itu penyemprotan yang tak sempurna dapat menimbulkan pengaruh jangka panjang yang tak terduga. Di samping itu, secara tidak langsung peng-

gunaan pestisida (herbisida) akan merangsang tumbuhan pengganggu lain yang bukan sasaran justru menjadi dominan. Sebagai contoh pertumbuhan alang-alang *Imperata cylindrica* dapat ditekan dengan penggunaan herbisida, akan tetapi di sisi lain rumput *Mikinia micranta* justru akan tumbuh subur dan merajalela di tempat itu karena persaingannya dengan alang-alang sudah tidak ada lagi. Demikian juga dengan jenis rumput *Pennisetum polystachion* yang mempunyai tingkat kepadatan biji yang sangat banyak (300.000–370.000 biji/tanaman) tidak dapat tumbuh pada kondisi gelap (di bawah naungan alang-alang), tetapi pada saat alang-alang dibasmi, maka rumput ini akan tumbuh dominan.

- Penggunaan pestisida terhadap kesehatan manusia

Secara umum telah banyak sekali bukti-bukti yang ditemukan pengaruh samping senyawa kimia pestisida terhadap kesehatan manusia. Beberapa jenis penyakit yang telah diteliti dapat diakibatkan oleh pengaruh samping penggunaan senyawa pestisida, antara lain leukemia, myeloma ganda, lymphomas, sarcomas jaringan lunak, kanker prosta, kanker kulit, kanker perut, melanoma, penyakit otak, penyakit hati, kanker paru, tumor saraf, dan neoplasma indung telur. Selain daripada itu, beberapa senyawa pestisida telah terbukti dapat menjadi faktor “carcinogenic agent” baik pada hewan dan manusia, yakni tercatat ada 47 jenis bahan aktif pestisida ditemukan terbukti sebagai *carcinogenic agent* pada hewan, dan 12 jenis lagi terbukti sebagai *carcinogenic agent* pada manusia.

Fakta lain ditemukan pula bahwa ternyata tercatat 80 jenis bahan aktif pestisida juga dapat menjadi penyebab atau sebagai faktor “mutagenic agent.” Lebih jauh ditemukan lagi fakta bahwa senyawa pestisida juga dapat menjadi penyebab penyakit peradangan kulit dan penyakit kulit lainnya sebagai akibat timbulnya alergi dan iritasi. Yang dapat menyebabkan alergi pada kulit tercatat ada 20 jenis bahan aktif, sedangkan yang menyebabkan iritasi tercatat ada 42 jenis bahan aktif.

Secara umum, proses peracunan senyawa pestisida dapat diamati berdasarkan golongan pestisida yang dipakai di lapangan. Fenomena ini sering ditemukan pada para pekerja yang terkait langsung dengan pestisida, seperti pekerja pada lokasi kepabrikaan maupun perkerja yang

langsung menggunakan senyawa pestisida tersebut terhadap organisme target. Pada golongan pestisida yang mempunyai bahan aktif dari klor organik, seperti endrin, aldrin, endosulfan, dieldrin, lindane (gamma BHC), dan DDT, gejala keracunan yang dapat ditimbulkan dapat berupa mual, sakit kepala, dan tak dapat berkonsentrasi. Pada dosis tinggi dapat terjadi kejang-kejang, muntah dan dapat terjadi hambatan pernapasan. Hal ini disebabkan senyawa klor organik mempengaruhi susunan saraf pusat terutama otak.

Pada senyawa fosfat organik, gejala yang timbul dapat berupa sakit kepala, pusing, lemah, pupil mengecil, gangguan penglihatan, sesak napas, mual, muntah, kejang pada perut, diare, sesak dada, dan detak jantung menurun. Senyawa ini menghambat aktivitas enzim kolonisasi dalam tubuh penderita. Pada karbamat, gejala keracunannya hampir tak terlihat jelas, proses kerjanya juga menghambat enzim kolinestrase dalam tubuh, tetapi reaksinya *reversible* dan lebih banyak bekerja pada jaringan bukan dalam plasma darah. Yang masuk kategori senyawa itu, adalah aldikarb, carbofuran, metomil, propoksur, dan karbaril (Anonim, 1984).

2) Penggunaan pupuk

Jenis pupuk yang digunakan dalam pertanian yang dapat menyebabkan proses eutrofikasi dan tumbuhnya gulma air adalah pupuk yang mengandung unsur nitrogen dan fosfor, seperti urea, ZA, dan TSP.

Masalah eutrofikasi air oleh pupuk pada umumnya lebih memerlukan pengawasan dan perhatian di dalam waduk daripada di dalam sungai. Air yang tenang di dalam waduk dengan waktu tinggal (*detention time*) yang cukup lama lebih memungkinkan tumbuhnya ganggang dan gulma air.

Tumbuh-tumbuhan tersebut mengganggu penggunaan air untuk sumber baku air minum, pembangkit listrik, irigasi, perikanan dan rekreasi. Selain daripada itu, tumbuh-tumbuhan tersebut bila mati akan mengendap dan mengurai, sehingga menyebabkan proses pembusukan di dalam air yang akan mengganggu sanitasi waduk.

B. Dampak Lingkungan

Kualitas air secara umum menunjukkan mutu atau kondisi air yang dikaitkan dengan suatu kegiatan atau keperluan tertentu. Sedangkan kuantitas menyangkut jumlah air yang dibutuhkan manusia dalam kegiatan tertentu.

AIR adalah materi esensial di dalam kehidupan, tidak ada satupun makhluk hidup di dunia ini yang tidak membutuhkan air. Sebagian besar tubuh manusia itu sendiri terdiri atas air. Tubuh manusia rata-rata mengandung air sebanyak 90% dari berat badannya. Tubuh orang dewasa, $\pm 55\text{--}60\%$, berat badan terdiri atas air, untuk anak-anak $\pm 65\%$ dan untuk bayi $\pm 80\%$. Air bersih dibutuhkan dalam pemenuhan kebutuhan manusia untuk melakukan segala kegiatan mereka. Sehingga perlu diketahui bagaimana air dikatakan bersih dari segi kualitas dan bisa digunakan dalam jumlah yang memadai dalam kegiatan sehari-hari manusia. Ditinjau dari segi kualitas, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, di antaranya kualitas fisik yang terdiri atas bau, warna, dan rasa; kualitas kimia yang terdiri atas pH, kesadahan, dan sebagainya; serta kualitas biologi di mana air terbebas dari mikroorganisme penyebab penyakit. Agar kelangsungan hidup manusia dapat berjalan lancar, air bersih juga harus tersedia dalam jumlah yang memadai sesuai dengan aktivitas manusia pada tempat tertentu dan kurun waktu tertentu.

Air sebagai materi esensial dalam kehidupan tampak dari kebutuhan terhadap air untuk keperluan sehari-hari di lingkungan rumah tangga ternyata berbeda-beda di setiap tempat, setiap tingkatan kehidupan, atau setiap bangsa dan negara. Semakin tinggi taraf kehidupan seseorang semakin meningkat pula kebutuhan manusia akan air. Jumlah penduduk dunia setiap hari bertambah, sehingga mengakibatkan jumlah kebutuhan air.

Berdasarkan Kepmenkes RI Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 tentang *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*, terdapat pengertian mengenai Air Bersih yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan

kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak.

Bagi manusia kebutuhan akan air sangat mutlak karena sebenarnya zat pembentuk tubuh manusia sebagian besar terdiri atas air yang jumlahnya $\pm 73\%$ dari bagian tubuh. Air di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pengangkut dan pelarut bahan-bahan makanan yang penting bagi tubuh. Sehingga untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya manusia berupaya mendapatkan air yang cukup bagi dirinya. Dalam menjalankan fungsi kehidupan sehari-hari manusia amat tergantung pada air, karena air dipergunakan pula untuk mencuci, membersihkan peralatan, mandi, dan lain sebagainya. Manfaat lain dari air berupa pembangkit tenaga, irigasi, alat transportasi, dan lain sebagainya yang sejenis dengan ini. Semakin maju tingkat kebudayaan masyarakat, maka penggunaan air makin meningkat.

Kebutuhan air yang paling utama bagi manusia adalah air minum. Menurut ilmu kesehatan setiap orang memerlukan air minum hidup 2–3 minggu tanpa makan tetapi hanya dapat bertahan 2–3 hari tanpa air minum. Air merupakan faktor penting dalam pemenuhan kebutuhan vital bagi makhluk hidup di antaranya sebagai air minum atau keperluan rumah tangga lainnya. Air yang digunakan harus bebas dari kuman penyakit dan tidak mengandung bahan beracun. Sumber air minum yang memenuhi syarat sebagai air baku air minum jumlahnya makin lama makin berkurang sebagai akibat ulah manusia sendiri, baik sengaja maupun tidak disengaja.

Upaya pemenuhan kebutuhan air oleh manusia dapat mengambil air dari dalam tanah, air permukaan, atau langsung dari air hujan. Dari ketiga sumber air tersebut, air tanah yang paling banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibanding sumber-sumber lainnya antara lain karena kualitas airnya yang lebih baik serta pengaruh akibat pencemaran yang relatif kecil.

Akan tetapi air yang dipergunakan tidak selalu sesuai dengan syarat kesehatan, karena sering ditemui air tersebut mengandung bibit ataupun zat-zat tertentu yang dapat menimbulkan penyakit yang justru membahayakan kelangsungan hidup manusia.

Berdasarkan masalah di atas, maka perlu diketahui kualitas air yang bisa digunakan untuk kebutuhan manusia tanpa menyebabkan akibat buruk dari penggunaan air tersebut. Kebutuhan air bagi manusia harus terpenuhi, baik secara kualitas maupun kuantitasnya agar manusia mampu hidup dan menjalankan segala kegiatan dalam kehidupannya.

Ditinjau dari segi kualitas (mutu) air secara langsung atau tidak langsung pencemaran akan berpengaruh terhadap kualitas air. Sesuai dengan dasar pertimbangan penetapan kualitas air minum, usaha pengelolaan terhadap air yang digunakan oleh manusia sebagai air minum berpedoman pada standar kualitas air, terutama dalam penilaian terhadap produk air minum yang dihasilkannya, maupun dalam merencanakan.

Sistem dan proses yang akan dilakukan terhadap sumberdaya air, seperti berikut.

1. Persyaratan kualitas air

Parameter kualitas air yang digunakan untuk kebutuhan manusia haruslah air yang tidak tercemar atau memenuhi persyaratan fisika, kimia, dan biologis.

a. Syarat fisik

Air yang berkualitas harus memenuhi persyaratan fisika sebagai berikut:

1) Jernih atau tidak keruh

Air yang keruh disebabkan oleh adanya butiran-butiran koloid dari tanah liat. Semakin banyak kandungan koloid, maka air semakin keruh.

2) Tidak berwarna

Air untuk keperluan rumah tangga harus jernih. Air yang berwarna berarti mengandung bahan-bahan lain yang berbahaya bagi kesehatan.

3) Rasanya tawar

Secara fisika, air bisa dirasakan oleh lidah. Air yang terasa asam, manis, pahit, atau asin menunjukkan air tersebut tidak baik. Rasa asin disebabkan adanya garam-garam tertentu yang larut dalam air,

sedangkan rasa asam diakibatkan adanya asam organik maupun asam anorganik.

4) Tidak berbau

Air yang baik memiliki ciri tidak berbau bila dicium dari jauh maupun dari dekat. Air yang berbau busuk mengandung bahan organik yang sedang mengalami dekomposisi (penguraian) oleh mikroorganisme air.

5) Temperaturnya normal

Suhu air sebaiknya sejuk atau tidak panas terutama agar tidak terjadi pelarutan zat kimia yang ada pada saluran/pipa, yang dapat membahayakan kesehatan dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

6) Tidak mengandung zat padatan

Air minum mengandung zat padatan yang terapung di dalam air.

b. Syarat kimiawi

Adapun syarat kimiawi, seperti berikut.

1) pH (derajat keasaman)

Penting dalam proses penjernihan air karena keasaman air pada umumnya disebabkan gas oksida yang larut dalam air, terutama CO₂. Pengaruh yang menyangkut aspek kesehatan daripada penyimpangan standar kualitas air minum dalam hal pH yang lebih kecil 6,5 dan lebih besar dari 9,2 akan tetapi dapat menyebabkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang sangat mengganggu kesehatan.

2) Kesadahan

Kesadahan ada dua macam, yaitu kesadahan sementara dan kesadahan nonkarbonat (permanen). Kesadahan sementara akibat keberadaan Ca dan Mg bikarbonat yang dihilangkan dengan memanaskan air hingga mendidih atau menambahkan kapur dalam air. Kesadahan nonkarbonat (permanen) disebabkan oleh sulfat dan karbonat, klorida dan nitrat dari Mg dan Ca di samping besi dan alumunium. Konsentrasi Ca dalam air minum yang lebih rendah dari 75 mg/l dapat menyebabkan penyakit tulang rapuh, sedangkan konsentrasi yang lebih tinggi dari 200 mg/l dapat menyebabkan korosivitas pada pipa-pipa air. Dalam jumlah yang lebih kecil Mg dibutuhkan oleh

tubuh untuk pertumbuhan tulang, akan tetapi dalam jumlah yang lebih besar 150 mg/l dapat menyebabkan rasa mual.

3) Besi

Air yang mengandung banyak besi akan berwarna kuning dan menyebabkan rasa logam besi dalam air, serta menimbulkan korosi pada bahan yang terbuat dari metal. Besi merupakan salah satu unsur yang merupakan hasil pelapukan batuan induk yang banyak ditemukan di perairan umum. Batas maksimal yang terkandung di dalam air adalah 1,0 mg/l.

4) Aluminium

Batas maksimal yang terkandung didalam air menurut Permenkes Nomor 82 Tahun 2001, yaitu 0,2 mg/l. Air yang mengandung banyak aluminium menyebabkan rasa yang tidak enak apabila dikonsumsi.

5) Zat organik

Larutan zat organik yang bersifat kompleks ini dapat berupa unsur hara makanan maupun sumber energi lainnya bagi flora dan fauna yang hidup di perairan.

6) Sulfat

Kandungan sulfat yang berlebihan dalam air dapat mengakibatkan kerak air yang keras pada alat merebus air (panci/ketel) selain mengakibatkan bau dan korosi pada pipa. Sering dihubungkan dengan penanganan dan pengolahan air bekas.

7) Nitrat dan nitrit

Pencemaran air dari nitrat dan nitrit bersumber dari tanah dan tanaman. Nitrat dapat terjadi, baik dari NO_2 atmosfer maupun dari pupuk-pupuk yang digunakan dan dari oksidasi NO_2 oleh bakteri dari kelompok nitrobacter. Jumlah nitrat yang lebih besar dalam usus cenderung untuk berubah menjadi nitrit yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobin dalam darah membentuk methaemoglobine yang dapat menghalangi perjalanan O_2 di dalam tubuh.

c. Syarat mikrobiologi

Tidak mengandung kuman-kuman penyakit, seperti disentri, tipus, kolera, dan bakteri patogen penyebab penyakit. Seperti kita ketahui jika standar mutu air sudah di atas standar atau sesuai dengan standar

tersebut, maka yang terjadi adalah akan menentukan besar kecilnya investasi dalam pengadaan air bersih tersebut, baik instalasi penjernihan air dan biaya operasi serta pemeliharannya. Sehingga semakin jelek kualitas air semakin berat beban masyarakat untuk membayar harga jual air bersih. Dalam penyediaan air bersih yang layak untuk dikonsumsi.

Penyediaan air harus memenuhi kuantitas dan kualitas, yakni: (a) aman dan higienis; (b) baik dan layak minum; (c) tersedia dalam jumlah yang cukup; dan (d) harganya relatif murah atau terjangkau oleh sebagian besar masyarakat.

2. Parameter air bersih

Parameter air bersih terbagi atas:

a. Parameter air bersih secara fisika

Parameter yang ada digunakan untuk metode dalam proses perlakuan, operasi, dan biaya. Parameter air yang penting ialah parameter fisik, kimia, biologis, dan radiologis, sebagai berikut: (1) kekeruhan; (2) warna; (3) rasa dan bau; (4) endapan; dan (5) temperatur.

b. Parameter air bersih secara kimia

Organik, antara lain: karbohidrat, minyak/lemak/gemuk, pestisida, fenol, protein, detergen.

3. Kualitas air sungai

Parameter yang dipergunakan untuk evaluasi tingkat pencemaran air dipilih hanya beberapa yang merupakan indikator pencemaran. Parameter tersebut, antara lain: KOB atau BOD, KOK atau COD, OT atau oksigen terlarut, kadar amonium, bakteri, dan kadar logam-logam berat.

a. Pencemaran bahan organik

Di dalam lingkungan bahan organik banyak terdapat dalam bentuk karbohidrat, protein, lemak yang membentuk organisme hidup dan senyawa-senyawa lainnya yang merupakan SDA yang sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia. Untuk menyatakan kandungan bahan organik dalam perairan dilakukan dengan mengukur jumlah O_2 yang

dibutuhkan untuk menguraikan bahan tersebut, sehingga menjadi senyawa yang stabil.

- 1) BOD atau kebutuhan O_2 yang dibutuhkan oleh mikroorganisme selama penghancuran bahan organik dalam waktu tertentu pada suhu $20^\circ C$. Oksidasi biokimiawi ini merupakan proses yang lambat dan secara teoretis memerlukan reaksi sempurna. Dalam waktu 20 hari, oksidasi mencapai 95–99% sempurna dan dalam waktu 5 hari seperti yang umum digunakan untuk mengukur BOD yang kesempurnaan oksidasinya mencapai 60–70%. Suhu $20^\circ C$ yang digunakan merupakan nilai rata-rata untuk daerah perairan arus lambat di daerah iklim sedang dan mudah ditiru dalam inkubator. Hasil yang berbeda akan diperoleh pada suhu yang berbeda karena kecepatan reaksi biokimia tergantung dari suhu.
- 2) COD atau kebutuhan O_2 , yaitu oksidasi secara kimiawi dengan menggunakan kalium bikarbonat yang dipanaskan dengan asam sulfat pekat. COD umumnya lebih besar dari BOD, karena jumlah senyawa kimia yang bisa dioksidasi secara kimiawi lebih besar dibandingkan oksidasi secara biologis (Achmad, 2004: 36).

Pada tahun 1989, Puslitbang Pengairan sebagai *National Water Quality Center* untuk proyek GEMS dan pembinaan program Prokasih telah memantau kualitas air di 35 lokasi pemantauan. Lokasi tersebut terdiri atas sembilan lokasi GEMS dan 26 lokasi Prokasih di delapan provinsi.

Pencemaran organik pada sungai yang dipantau selama tahun 1989 berkisar 0,22–53 mg/l BOD atau 2,4–120 mg/l COD.

Tingkat pencemaran yang paling tinggi terjadi pada Sungai Wei Pangubuan (Terbengi Besar), sedangkan sungai lainnya yang telah berada pada tingkat pencemaran yang kritis adalah Kali Surabaya, Kali Brantas, Bengawan Solo, Sungai Semayang, Langkat, Kali Bekasi, Sal. Mookervart, dan Sungai Deli-Medan.

Sebagai akibat tingginya pencemaran organik tersebut di atas, kadar oksigen terlarut pada beberapa sungai < 3 mg/l terutama pada lokasi yang telah melalui daerah pemukiman yang padat, antara lain Sungai Citarum di Nanjung, Banjir-Kanal di Pejompongan, Sungai Cili-

wung di Manggarai, Bengawan Solo di Kemiri, Sungai Deli di Medan, dan Sungai Semayang di Langkat.

b. Pencemaran amonium

Dari data monitoring terhadap amonium, pada umumnya perairan di Indonesia masih mengandung amonium dalam jumlah yang tidak begitu besar. Berdasarkan klasifikasi tingkat pencemaran, umumnya perairan di Indonesia masih berkisar antara pencemaran ringan sampai pencemaran berat kadar amonium yang cukup besar (lebih 0,5 mg/l) hanya terjadi di beberapa lokasi saja, sebagian besar terjadi di Jawa.

Kadar amonium berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Palembang sebesar 0,05–0,1 mg/l di mana kadar maksimum menurut Kepmenkes 907/2002, yaitu sebesar 1,5 mg/l, sehingga disimpulkan memenuhi persyaratan kualitas air minum. Kadar amonium yang tinggi dalam air disebabkan pencemaran sumber air minum oleh bahan-bahan organik. Amonium dalam air tersebut kemudian akan diuraikan oleh bakteri *Nitrisomonas* menjadi nitrit. Dalam penyediaan air minum, amonium dikenal sebagai penyebab iritasi dan korosi, meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme, dan mengganggu proses desinfeksi dengan klor (Desiandi, 2009).

c. Pencemaran bakteri coli

Sejumlah sungai di Pulau Jawa telah dicemari oleh bakteri total coli pada tingkat sedang sampai berat. Di Sumatra, jumlah bakteri total coli bervariasi, tetapi yang tingkatnya sedang sampai berat hanya terjadi di empat lokasi. Lokasi tersebut adalah Sungai Deli-Medan ($1,4 \times 10^6$ MPN/100 ml), Sungai Asahan, Tanjung Balai ($2,9 \times 10^5$ MPN/100 ml), Sungai Belawan-Kp. Lalang ($1,3 \times 10^5$ MPN/100 ml), dan Sungai Musi-Jembatan Ampera ($1,8 \times 10^5$ MPN/100 ml). Di Bali, pencemaran bakteri yang melebihi 10^6 MPN/100 ml terjadi di lokasi Teluk Mati dan Teluk Badung, masing-masing sebesar $9,9 \times 10^8$ MPN/100 ml dan 13×10^8 MPN/100 ml, sehingga sudah tergolong pencemaran berat.

Di Sulawesi, jumlah bakteri yang cukup tinggi di Sungai Tondano-Tondano ($1,2 \times 10^7$ MPN/100 ml). Di NTB, lokasi-lokasi yang mengandung bakteri tinggi (10^5 MPN/100 ml) terjadi di empat lokasi, yakni Sungai Maninting, Sungai Dodokan, Sungai Setangga, dan Su-

ngai Rea masing-masing sebesar $3,2 \times 10^5$ MPN/100 ml, $2,0 \times 10^5$ MPN/100 ml, $9,4 \times 10^5$ MPN/100 ml, dan $2,8 \times 10^6$ MPN/100 ml.

d. Pencemaran logam berat

Studi logam berat dalam air sungai yang mengalir ke Teluk Jakarta yang dilakukan tahun 1981, menunjukkan bahwa kadar maksimum tembaga 0,03 bpj terdapat di Sungai Sunter; kadar maksimum Cr 0,04 bpj di Sungai Ciliwung, Sungai Sunter, dan Cakung; kadar maksimum Pb 0,13 bpj di Sungai Sunter dan Sungai Ciliwung; kadar maksimum zink di Sungai Ciliwung (5,6 bpj) dan Sungai Sunter (4,3 bpj) sedangkan kadar maksimum Hg di Sungai Angke (0,015 bpj). Penelitian lain pada tahun 1983 di sepanjang sungai di zona industri Tangerang menunjukkan tingginya kadar logam berat, khususnya Cr, Cd, dan Hg.

Data terakhir yang dikumpulkan dari sungai di daerah Jakarta menunjukkan terjadinya peningkatan kadar logam berat tertentu. Kadar maksimum Cd yang tercatat adalah 0,05 bpj; kadar kromium 0,05 bpj dan kadar Pb 2 bpj.

Bahan berbahaya beracun seperti logam berat terutama sangat berbahaya karena bahan pencemar ini tidak dapat disaring oleh fasilitas PDAM yang standar.

e. Pencemaran pestisida

Residu pestisida dalam perairan umumnya rendah. Suatu evaluasi rinci dari pestisida dilakukan pada studi Proyek Irigasi Bali 1983. Hasilnya menunjukkan, bahwa residu pestisida memang telah menyebabkan kerusakan ekologis di Pulau Jawa, ketika digunakan pestisida yang tidak teruraikan. Tetapi sejak digunakan pestisida 'lunak' dan teruraikan pada awal tahun 70-an, kerusakan lingkungan tidak terlampaui parah. Studi AMDAL di Bali, Jatigede (1986) dan studi Segara Anakan Tahap 1 menunjukkan bahwa pestisida maupun pupuk kimia tidak banyak mempengaruhi kualitas air.

Penelitian lain menunjukkan, bahwa walaupun residu organofosfat berada di bawah baku mutu (0,10 mg/l), namun masih dijumpai residu HCB dan PCP dalam air kolam.

4. Kualitas air tanah

Air tanah adalah salah satu sumber air bersih yang potensial dan sangat penting artinya bagi kehidupan manusia. Di lain pihak, terdapat kecenderungan terus menurunnya kualitas air karena meningkatnya pencemaran air oleh buangan permukiman dan industri. Hampir semua kegiatan manusia mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Daerah industri, permukiman, maupun pertanian mempengaruhi sifat hidrolika dan hidrokimia air tanah.

Air tanah adalah semua air yang terdapat di bawah permukaan yang merupakan sumber air bagi aktivitas kehidupan manusia di daratan. Air tanah berasal dari air hujan dan air permukaan yang terkumpul pada zona jenuh air. Pembentukan air tanah diawali dari proses infiltrasi air menuju zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan kemudian meresap semakin dalam (per lokasi) hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah.

Air tanah terbagi atas air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal, terjadi karena adanya daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Air tanah dalam terdapat setelah lapis rapat air yang pertama dalam suatu kedalaman biasanya antara 100–300 m. Air tanah dangkal berada hingga kedalaman 15 m. Air tanah dangkal banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai sumber air baku dengan membuat sumur gali atau sumur pompa. Profil permukaan air tanah dangkal tergantung dari profil permukaan tanah dan lapisan tanah sendiri.

Air tanah memiliki kualitas yang pada umumnya baik, akan tetapi banyak tergantung pada sifat lapisan tanahnya, apabila kondisi sanitasi lingkungan sangat rendah, maka banyak tercemar oleh bakteri. Apabila berdekatan dengan industri dengan beban pencemaran tinggi dan tidak memiliki sistem PPA, maka akan terpengaruh rembesan pencemaran.

Tekanan terhadap sumberdaya air tanah tidak hanya disebabkan tingkat eksploitasi yang berlebihan, namun juga karena adanya degradasi kualitas lingkungan. Pembuangan air limbah secara langsung (tanpa pengolahan), buangan dari industri, limpasan dari pengairan sawah yang telah memperoleh perlakuan dengan bahan pestisida dan herbisida merupakan sumber pencemaran secara eskponensial menimbulkan dampak negatif pada sumberdaya air (Achmadi, 2001).

Kecuali perubahan sebagai akibat proses alami yang berlangsung terutama di daerah imbuhan, kualitas air tanah dapat berubah sebagai akibat kegiatan manusia. Pemanfaatan SDA secara intensif dan produksi limbah yang cenderung meningkat dalam kehidupan modern yang dialami dewasa ini, yang menyebabkan menurunnya mutu air tanah karena tercemar. Di samping itu, kegiatan pengambilan air tanah secara besar-besaran berakibat menurunnya permukaan air tanah secara drastis. Hal ini terutama berlangsung di daerah pantai yang cenderung menyebabkan terjadinya penyusutan air laut ke darat.

a. Pencemaran air tanah

Pencemaran air tanah adalah berubahnya tatanan air di bawah permukaan tanah oleh kegiatan manusia atau proses alam yang mengakibatkan mutu air tanah turun sampai ke tingkat tertentu, sehingga tidak lagi sesuai dengan pemanfaatan. Pencemaran air tanah pada saat ini merupakan suatu masalah yang tidak hanya terbatas pada negara industri saja, tetapi juga meluas pada negara berkembang, di mana industri tumbuh pesat bersamaan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan urbanisasi ke beberapa kota besar.

Secara umum jumlah zat yang terlarut di dalam air tanah akan bertambah, sesuai dengan bertambah dalamnya air tanah tersebut serta jarak dan waktu yang ditempuh dari tempat peresapan menuju ke tempat air tanah tersebut berkumpul.

Sumber pencemaran air tanah dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu sumber langsung dan sumber tidak langsung. Sumber langsung adalah buangan yang berasal dari sumber pencemarnya, yaitu limbah hasil pabrik atau suatu kegiatan dan limbah domestik berupa buangan tinja dan buangan air bekas cucian, serta sampah. Sedangkan sumber tidak langsung adalah kontaminan yang masuk melalui air tanah akibat adanya pencemaran pada air permukaan, baik dari limbah industri maupun dari limbah domestik. Masuknya bahan pencemar ke dalam akuifer air tanah terjadi dengan cara perkolasi dari permukaan tanah, melalui sumur, dan dari rembesan air permukaan.

Kepadatan dan penyebaran penduduk tinggi mengakibatkan terjadinya akumulasi bahan pencemar di wilayah yang padat yang akibatnya akan menurunkan kualitas air dan degradasi lingkungan. Hasil pe-

nelitian Purnamasari (2007) tentang kajian hubungan antara aktivitas manusia dengan penurunan kualitas air menunjukkan, bahwa aktivitas domestik, pertanian, dan industri merupakan tiga sumber utama pencemaran limbah domestik. Tingginya kadar zat pencemar *grey water* dan *black water* mempengaruhi proses dekomposisi menimbulkan bau tidak sedap ke lingkungan, dan berpotensi mencemari air tanah di sekitarnya. Bentuk aktivitas permukiman berupa industri, bengkel, pertokoan, transportasi, kegiatan rumah tangga (MCK) akan menghasilkan limbah yang sebagian besar bercampur dengan air tanah, sehingga air tanah akan terpengaruh sifat-sifat biologi, kimia fisika, dan dari jenis aktivitasnya.

Salah satu komponen pencemaran air yang berasal dari industri, rumah tangga (permukiman), dan pertanian dapat dikelompokkan sebagai bahan buangan organik. Selanjutnya bahan buangan organik umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga bila dibuang ke suatu badan perairan akan menaikkan populasi mikroorganisme. Kadar BOD dalam hal ini akan naik.

Di samping itu, pencemaran air tanah juga dapat terjadi karena peresapan air sungai yang telah tercemar airnya. Proses berlangsungnya pencemaran dapat berasal dari buangan limbah mudah larut yang terdapat di permukaan tanah (pupuk, pestisida, air permukaan yang tercemar), dalam tanah yang terletak di atas permukaan air tanah (*septic-tank*) galian tanah tempat buangan limbah, dan lain-lain) atau di dalam tanah yang terletak di bawah permukaan tanah (sumur/sumur bor yang ditinggalkan karena tidak sempurna penyelesaiannya).

Faktor-faktor yang menjadi parameter kunci dalam penelitian air tanah di kawasan padat permukiman adalah keberadaan bakteri indikator sanitasi. Semakin berkembangnya permukiman-permukiman yang kurang terencana dan sistem pembuangan limbah rumah tangga yang tidak terkoordinasi dengan baik berakibat pada timbulnya pencemaran air, sehingga air sumur tidak memenuhi standar untuk dikonsumsi menjadi air minum. Permasalahan utama pencemaran air tanah, adalah terkontaminasinya air oleh bakteri yang dapat menyebabkan kesakitan maupun kematian. Saat ini diperkirakan $\pm 70\%$ air tanah di perkotaan

sudah tercemar berat oleh bakteri yang berasal dari tinja, padahal separuh penduduk perkotaan masih menggunakan air tanah (Munif, 2009). Kondisi perumahan dan lingkungan yang padat (*slum area*) serta aktivitas dan berbagai kegiatan yang tanpa perencanaan lingkungan menjadi salah satu faktor penyebabnya.

Bakteri pencemar air tanah dapat berpindah secara horizontal dan vertikal bawah bersama dengan air, air seni, atau air hujan yang meresap. Jarak perpindahan bakteri akan sangat bervariasi, tergantung pada berbagai faktor, di antaranya yang terpenting adalah porositas tanah. Bakteri dapat dilacak sampai jarak 15 m dari sumur tempat dimasukkannya bakteri yang dicoba perpindahan horizontal melalui tanah dengan cara itu biasanya < 90 cm, dengan perpindahan ke arah bawah < 3 m pada lubang yang terbuka terhadap air hujan, dan biasanya < 60 cm pada tanah berpori, bakteri dapat berpindah sampai jarak 30 m dari titik pembuangannya dalam waktu 33 jam. Selain itu, terdapat penurunan cepat jumlah bakteri sepanjang itu karena terjadi filtrasi yang efektif dan kematian bakteri.

Pencemaran air tanah mempunyai hubungan dengan jenis dan jumlah mikroorganisme dalam perairan tersebut. Air yang memenuhi syarat untuk air minum adalah air yang tidak mengandung bakteri koliform di setiap 100 ml air uji.

Di daerah Jakarta, air tanah dangkal yang terdapat pada lapisan dengan kedalaman < 40 m berasal dari peresapan air hujan setempat. Dari segi kualitas air dangkal ini, pada beberapa tempat kurang baik karena mudah terkontaminasi oleh berbagai limbah industri maupun limbah rumah tangga. Hasil pemeriksaan bakteriologis menunjukkan, bahwa kandungan bakteri coli semua contoh air tanah yang diambil relatif tinggi akibat pencemaran limbah rumah tangga, sehingga air tanah baru dapat diminum setelah dimasak terlebih dahulu. Selain itu, sebagian besar sumur gali di Jakarta telah terkontaminasi oleh detergen. Bahkan kadar detergen pada beberapa sumur telah melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan sebagai sumber air minum. Beberapa kota besar, seperti Jakarta, Bandung, dan Surabaya, kualitas air tanah dangkal juga telah dicemari oleh bakteri Coli, detergen, nitrit, nitrat amonia, dan logam berat. Selain itu, di Bandung misalnya, dari 100 contoh sumur gali

pada tahun 1983 terdeteksi residu pestisida Diazinon rata-rata 9,14 ppb dan venitroton 1,52 ppb.

Sifat kimia air tanah merupakan salah satu sifat utama air yang mempengaruhi kualitas air tanah selain sifat fisik, biologi, dan radio-aktif. Sifat kimia air tanah sangat berguna untuk penentuan kualitas air tanah. Keberadaan bahan pencemar kimia mengubah keadaan keseimbangan daur materi dalam lingkungan, baik keadaan struktur maupun fungsinya. Air tanah dapat terkontaminasi oleh bahan pencemar kimia karena empat hal, yakni: (1) kecepatan hilangnya senyawa tertentu dari lingkungan lebih besar daripada kecepatan masuknya senyawa pengganti; (2) rusaknya atau putusnya alur siklus biokimia; (3) kecepatan masuknya senyawa ke dalam lingkungan lebih besar daripada kecepatan pengambilannya; dan (4) masuknya senyawa yang tidak terdegradasi ke dalam lingkungan.

Sifat kimia yang dapat dijadikan indikator yang menentukan kualitas air tanah adalah pH, konsentrasi dari zat-zat kalium, Mg, Mn, besi, sulfida, sulfat, amoniak, nitrit, nitrat, fosfat, oksigen terlarut, minyak, lemak, serta logam berat. Jika dilihat dari sumber pencemarnya, karakteristik parameter pencemaran primer pada kawasan padat penduduk berasal dari limbah rumah tangga non-kakus, yaitu buangan yang berasal dari buangan kamar mandi, dapur yang mengandung sisa makanan dan tempat cuci (*grey water*).

Grey water pada wilayah dengan sistem sanitasi yang belum terkoordinasi dengan baik, cenderung dibuang langsung ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu. Kandungan unsur pencemar pada *grey water*, antara lain unsur N (amonium, nitrat, nitrit, organik N), unsur P (fosfat), zat organik detergen. Kadar zat pencemar tersebut tinggi, sehingga mencemari air tanah di sekitarnya.

Nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas air minum maupun air sungai. Amoniak berupa gas yang berbau tidak enak, sehingga kadarnya harus rendah. Kadar amonia mengindikasikan konsentrasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam air sumur, pencemaran amonia pada air sumur penduduk merupakan dampak dari sanitasi yang buruk berupa peresapan limbah MCK, limbah dapur, industri rumah tangga, serta limbah bina-

tang peliharaan. Amonia yang terdapat di perairan adalah hasil pemecahan nitrogen organik (protein dan urea). Dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam air tanah yang berasal dari dekomposisi bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati oleh mikroba dan jamur.

Cd adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan dan mudah terbakar, membentuk asap Cd oksida. Keberadaan Cd di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam Pb dan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn, proses pemurniannya akan selalu memperoleh hasil samping Cd yang terbuang dalam lingkungan. Cd masuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi.

Krom atau Cr adalah suatu logam keras berwarna abu-abu dan sulit dioksidasi meski dalam suhu tinggi. Cr digunakan oleh industri: metalurgi, kimia, *refractory (heat resistant application)*. Sumber dari pencemaran krom ini adalah dari limbah yang dibuang ke badan air dan selanjutnya mencemari tanah. Cr terdapat stabil dalam tiga valensi. Berdasarkan urutan toksisitasnya adalah Cr-O, Cr-III, Cr-VI. Cr dalam air biasanya hadir sebagai trivalent atau hexavalention. Cr dapat menurunkan aktivitas biologi.

Kandungan sulfat (SO_4^{2-}) terlarut merupakan parameter utama yang digunakan untuk menentukan ada tidaknya proses oksidasi mineral sulfide terhadap komposisi kimia air tanah. Sumber lain adalah dari mineral gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan mineral anhidrit (CaSO_4) yang akan mudah terlarut oleh air menjadi Ca^{2+} dan SO_4^{2-} . Pencemaran air dari nitrat (NO_2) dan nitrit (NO_3) bersumber dari tanah dan tanaman. Nitrat dapat terjadi, baik dari NO_2 atmosfer maupun dari pupuk-pupuk yang digunakan dan dari oksidasi NO_2 oleh bakteri dari kelompok nitrobacter.

Jumlah nitrat yang lebih besar dalam usus cenderung untuk berubah menjadi nitrit yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobine dalam daerah membentuk *metha-hemoglobine* yang dapat menghalang perjalanan O_2 di dalam tubuh.

Gas hidrogen sulfida (H_2S) adalah rumus kimia dari gas H_2S yang terbentuk dari dua unsur hidrogen dan satu unsur sulfur. Gas H_2S ter-

bentuk akibat adanya penguraian zat-zat organik oleh bakteri. Gas H₂S mempunyai sifat dan karakteristik tidak berwarna, tetapi mempunyai bau khas seperti telur busuk pada konsentrasi rendah. Merupakan jenis gas beracun. Berat jenis gas H₂S lebih berat dari udara, sehingga gas H₂S akan cenderung terkumpul di tempat/daerah yang rendah. H₂S mempunyai daya larut dalam air dan bersifat korosif.

Kandungan bahan-bahan kimia organik dan anorganik air tanah mempengaruhi kejernihan/kekeruhan air, hal ini mengindikasikan air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi, sehingga memberikan warna/rupa yang berlumpur dan kotor. Selanjutnya material yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar dari partikel-partikel kecil yang tersuspensi, residu terlarut merupakan zat padat yang mempunyai ukuran lebih kecil daripada padatan tersuspensi yang terdiri atas senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral dan garam-garamnya. Menurut Pergub Provinsi Bali Nomor 8 (2007), baku mutu residu tersuspensi adalah 50 mg/l.

Kekeruhan pada air merupakan satu hal yang harus dipertimbangkan dalam penyediaan air bagi umum, mengingat bahwa kekeruhan tersebut akan mengurangi segi estetika, menyulitkan dalam usaha penyaringan, dan akan mengurangi efektivitas usaha desinfeksi.

b. Penyusupan air asin

Ciri khas penurunan kualitas air tanah di daerah pantai akibat pengambilan air tanah secara besar-besaran adalah terjadinya pencemaran atau penyusupan air asin. Air asin dapat berasal dari sumber air asin yang terjebak sewaktu lapisan mengandung air terbentuk atau bersumber dari penyusupan air asin ke daratan pada lapisan mengandung air tawar.

Penyusupan air asin ke dalam lapisan air tawar di Indonesia dewasa ini dapat diamati misalnya di daerah dataran pantai Medan, Cilegon, Jakarta, dataran pantai utara Jabar dan Jateng, kota Semarang dan Denpasar. Di antara beberapa daerah pantai ini, penyusupan air asin di daerah Jakarta dianggap paling kritis.

Di DKI Jaya, terbatasnya penyediaan air terpusat menyebabkan air tanah banyak dimanfaatkan, baik untuk keperluan industri, perkantor-

an, maupun untuk air rumah tangga. Air tanah tersebut berada pada kedalaman antara 40–250 m dan air tanah dangkal yang terdapat pada kedalaman < 40 m. Dewasa ini di DKI Jaya, terdapat > 2.500 buah sumur bor yang memompa sebanyak 3,1 m³ per detik air dari lapisan tanah tertekan. Selain itu, air tanah dangkal juga telah banyak dimanfaatkan untuk mencukupi kebutuhan air rumah tangga penduduk setempat, yang jumlahnya ditaksir mencapai 3,6 m³ per detik.

Dari hasil penelitian, potensi sumber air tanah di DKI Jaya, diketahui bahwa debit aman (*safe yield*) yakni banyaknya air yang diperkenankan untuk diambil tanpa menimbulkan dampak yang merugikan, adalah 3,6 m³ per detik. Ini berarti pengambilan air tanah di daerah ini telah melebihi dari potensi air yang tersedia.

Faktor lingkungan setempat, terutama sifat kemampuan meneruskan air dari jenis batuan yang menyusunnya, serta perbedaan jarak dengan lokasi sumber pencemaran memegang peranan penting dalam hal terjadinya proses pencemaran air pada banyak sumur gali yang terdapat di Kota Yogyakarta. Daerah Yogyakarta tersusun oleh batuan lepas, seperti pasir dan kerikil yang belum dimanfaatkan yang bersumber dari hasil perombakan bahan vulkanik Gunung Merapi. Jenis batuan semacam ini bertindak sebagai lapisan penerus air yang cukup baik.

Dewasa ini, bagian terbesar warga Kota Yogyakarta masih memanfaatkan air tanah dangkal dari sumur gali guna mencukupi kebutuhan sehari-hari. Hal ini disebabkan pihak PDAM Yogyakarta belum mampu memenuhi keseluruhan kebutuhan air yang diperlukan. Hasil penelitian banyak sumur gali yang terdapat di daerah ini menunjukkan bahwa airnya telah tercemar oleh bahan buangan rumah tangga dalam bentuk bakteri coli, detergen, nitrit, dan bahan organik.

Dibandingkan dengan pengaruh kedalaman serta volume air dalam sumur atau jarak sumber dengan sumber pencemaran, kondisi lapisan pembawa air (akuifer) secara keseluruhan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap proses pencemaran air tanah di daerah ini. Beberapa faktor yang berpengaruh tersebut, antara lain arah aliran air tanah dalam akuifer, macam dan jumlah, serta sifat bahan pencemaran dalam akuifer berikut interaksi antar bahan pencemaran itu sendiri di dalam akuifer itu sendiri.

Pengaruh resapan buangan rumah tangga dapat dikatakan tidak berbeda dengan aliran suatu sungai. Dua buah sungai yang membelah kota ini, yakni Sungai Code dan Winongo, yang bertindak sebagai pengontrol terhadap pola aliran air tanah di daerah ini. Dibandingkan dengan sumur gali yang terdapat di daerah aliran Sungai Code, mempunyai kualitas air lebih rendah dan dalam keadaan kritis. Hal ini disebabkan, di samping karena sistem pembuangan limbah yang kurang baik, juga disebabkan dasar lembah Sungai Code.

Akibat pengambilan air tanah yang berlebihan ini, permukaan air tanah, khususnya air tanah tertekan cenderung menurun terus. Di tahun 1900, permukaan air tanah di daerah pantai Jakarta berada 5–15 m di atas permukaan tanah. Permukaan air tanah ini menurun terus mencapai 0,1–0,2 m setahun hingga awal tahun 1970. Dewasa ini, di beberapa industri padat, seperti daerah Jakarta bagian utara dan tengah, kedudukan permukaan air tanah tertekan telah mencapai 10–20 m dpl.

Dampak negatif yang teramati akibat menurunnya permukaan air tanah jauh dpl ini, antara lain adalah menyusupnya air asin ke dalam lapisan air tawar di dataran pantai Teluk Jakarta dan menempatkan batuan lempung di sekitar daerah yang permukaan air tanahnya turun terus-menerus.

Di daerah Jakarta, penyusupan air asin terjadi pada kelompok akuifer yang terdapat pada kedalaman < 100 m dibandingkan dengan kelompok akuifer yang terdapat pada kedalaman 60–100 m, penyusupan air asin yang berlangsung pada kelompok akuifer 20–60 m telah mencapai jauh masuk ke daratan, mencapai \pm 5–7 km dari garis pantai.

Penyusupan air laut terjadi karena kecepatan aliran air tanah menjadi kurang, sebagai akibat menurunnya pengisian kembali air tanah di daerah peresapan. Penyusupan air laut ini dapat pula terjadi justru karena arah aliran air tanah menjadi terbalik dari arah laut ke darat, sebagai akibat penurunan muka air tanah hingga pada kedudukan di bawah muka air laut. Apabila muka air laut telah menyusup ke darat, lapisan air yang semula tawar, akan tercemar dan menjadi payau atau asin airnya. Proses ini akan merusak tata air tanah setempat yang sulit untuk dipulihkan kembali.

Walaupun kedudukan permukaan air tanah pada kelompok akuifer tertekan yang terdapat pada kedalaman 100–250 m sudah jauh dpl, namun karena tidak terdapat hubungan langsung antara lapisan akuifer dengan dasar laut, penyusupan air asin tidak terjadi. Sekalipun demikian, penurunan muka air yang menyolok pada kelompok akuifer tertekan ini akan menyebabkan berkurangnya tekanan pada akuifer tersebut, yang diikuti oleh proses pemampatan. Peristiwa amblasan akan menjadi suatu masalah yang pelik pada daerah di mana pemompaan air dilakukan secara besar-besaran. Ini akan terjadi apabila daerah akumulasi air tanah tersebut terbentuk oleh batuan lepas atau batuan yang tak termampatkan, seperti yang terdapat di daerah endapan aluvium pantai. Waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya proses pemampatan tersebut tergantung pada luas dan ketebalan lapisan batuan lepas atau tak termampatkan di atas. Dalam lapisan batuan lanau atau lempung, kecepatan pemampatan tergantung pada banyaknya air yang terperas keluar dari ruang atau rongga antarbutir batuan. Batuan lempung yang tebal mungkin membutuhkan waktu ratusan tahun, tetapi pada batuan lempung yang tipis mungkin hanya beberapa puluh tahun saja.

Kebanyakan proses pemampatan dalam batuan pasir lepas atau pasir lempung berlangsung lebih cepat, hanya beberapa tahun sesudah terjadi penurunan dari tekanan hidrostatik dari akuifer.

C. Dampak Pencemaran Air

Secara umum setiap tipe pencemaran air akan mempengaruhi kehidupan sejumlah organisme, populasi, komunitas biologi, dan ekosistem secara keseluruhan.

MILLER (1985) telah mengklasifikasikan dampak pencemaran air yang disusun berdasarkan tingkat bahayanya terhadap manusia. Kelas pertama, yang paling ringan adalah apabila mengganggu secara estetika seperti bau, rasa, dan pemandangan yang buruk. Selanjutnya, kelas kedua adalah apabila menimbulkan kerusakan barang milik. Kelas ketiga apabila membahayakan atau merusak kehidupan tumbuhan dan

hewan. Kelas keempat, apabila merugikan kesehatan manusia. Selanjutnya kelas kelima apabila merusak genetika manusia dan mempengaruhi reproduksi, dan yang terakhir, kelas keenam adalah apabila menimbulkan kerusakan ekosistem secara besar-besaran. Secara lengkap klasifikasi dampak tersebut tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi dampak pencemaran air

Pencemar	Lama waktu berlangsungnya	Wilayah yang terkena dampak	Saat kejadian
(1)	(2)	(3)	(4)
Kelas 1: Gangguan secara estetika			
Warna (sedimen, saluran buangan asam)	Bervariasi, biasanya pendek	Lokal, regional	Telah terjadi di berbagai tempat
Bau (phenol, eutrofikasi limbah)	Mingguan sampai puluhan tahun	Lokal, regional	Telah terjadi, terutama di sungai yang berarus lambat, dan danau di dekat daerah industri
Rasa (zat kimia organik, <i>algal bloom</i> , sedimen)	Beberapa hari	Lokal	Telah terjadi di beberapa tempat
Kelas 2: Merusak benda-benda			
Garam terlarut (zat korosif)	Bervariasi	Lokal	Telah terjadi di beberapa tempat
Kekeruhan air (sedimentasi)	Bervariasi	Lokal, regional	Telah terjadi di beberapa tempat
Hilangnya nilai tambah rekreasi dan permukiman (eutrofikasi bau)	Bervariasi	Lokal, regional	Telah terjadi di beberapa tempat
Kelas 3: Merusak kehidupan hewan dan tumbuhan			
Nutrien- nitrogen dan fosfor (eutrofikasi, pertumbuhan berlebihan)	Puluhan tahun	Lokal, regional	Telah terjadi di danau, sungai di dekat pusat wilayah urban, industri, dan pertanian
Suhu (kematian ikan)	Beberapa hari (bervariasi)	Lokal	Jarang, tapi meningkat dalam beberapa dekade
Deposisi asam	Tahunan	Lokal, regional, global	Telah terjadi dan terus meningkat
Pestisida dan zat kimia lainnya (kematian ikan)	Mingguan sampai tahunan	Lokal, regional	Kadang terjadi tetapi terus meningkat frekuensinya

(1)	(2)	(3)	(4)
Kelas 4: Mengganggu kesehatan manusia			
Bakteria	Harian	Lokal, regional, global	Umum terjadi di negara berkembang
Virus	Harian sampai bulanan	Lokal, regional, global	Kadang-kadang
Nitrat	Secara terus-menerus	Lokal, regional, global	Jarang, tetapi meningkat terutama di wilayah yang menggunakan pupuk berlebihan
Zat kimia limbah industri	Mingguan sampai tahunan, ratusan tahun bila air tanah dalam terkontaminasi	Lokal, regional	Telah terjadi di beberapa tempat dan terus meningkat selama beberapa dekade ini
Pestisida (dalam rantai makanan)	Harian sampai tahunan	Lokal, regional	Tak diketahui, tetapi dikhawatirkan bertambah
Logam berat (air raksa, Pb, Cd)	Bulanan sampai tahunan	Lokal, regional	Telah terjadi dan terus meningkat
Kelas 5: Kerusakan reproduksi dan genetika manusia			
Pestisida	Harian sampai tahunan	Lokal, regional, global	Belum diketahui pasti
Zat kimia limbah industri	Mingguan sampai tahunan	Lokal, regional, global	Telah terjadi dan terus meningkat
Limbah radioaktif	Harian sampai tahunan	Lokal, regional, global	Jarang, tetapi ditakutkan terjadi dengan meningkatnya penggunaan nuklir
Kelas 6: Kerusakan ekosistem			
Minyak bumi	Bulanan sampai tahunan	Lokal, regional, global	Jarang, tapi diduga akan terus meningkat
Beberapa zat kimia organik	Bulanan sampai tahunan	Lokal, regional, global	Jarang, tapi diduga akan terus meningkat
Beberapa jenis pestisida	Bulanan sampai tahunan	Lokal, regional, global	Jarang, tapi diduga akan terus meningkat
Erosi	Terus-menerus	Lokal, regional, global	Telah terjadi dan terus meningkat
Nutrien-nitrogen dan fosfor	Puluhan tahun	Lokal, regional, global	Kadang-kadang, tetapi terus meningkat
Deposisi asam	Tahunan	Lokal, regional, global	Telah terjadi dan terus meningkat
Suhu tinggi	bervariasi	Lokal	Jarang, tapi terus meningkat

Sumber: Muhammad Desiandi, 2009.

1. Dampak terhadap estetika lingkungan

Dengan semakin banyaknya zat organik yang dibuang ke lingkungan perairan, maka perairan tersebut akan semakin tercemar yang biasanya ditandai dengan bau yang menyengat di samping tumpukan yang dapat mengurangi estetika lingkungan. Masalah limbah minyak atau lemak juga dapat mengurangi estetika. Selain bau, limbah tersebut juga menyebabkan tempat sekitarnya menjadi licin. Sedangkan limbah detergen atau sabun akan menyebabkan penumpukan busa yang sangat banyak. Inipun dapat mengurangi estetika.

2. Dampak terhadap kehidupan biota air

Beberapa polutan yang berbahaya bagi biota air di antaranya nutrisi tumbuhan, limbah yang membutuhkan O_2 , minyak, sedimen, dan panas.

a. Nutrien tumbuhan

Perairan yang mengandung nutrisi seperti fosfat dan nitrogen dalam jumlah berlebih disebut mengalami eutrofikasi. Eutrofikasi akan menyebabkan ganggang (algae) berkembang biak dengan subur, sehingga populasinya meningkat pesat disebut algae *blooming*.

Algae blooming dapat menyebabkan empat gangguan di perairan, yakni: (1) menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam perairan, sehingga mengganggu kehidupan biota air; (2) jika ganggang yang mengalami *blooming* menghasilkan senyawa beracun akan menyebabkan kematian biota air; (3) ketika ganggang yang mengalami blooming mati, sel-selnya akan turun ke dasar perairan dan mengalami pembusukan, sehingga terjadi peningkatan populasi bakteri pembusuk yang membutuhkan banyak O_2 . Hal ini akan meningkatkan BOD perairan; dan (4) BOD yang meningkat akan menurunkan DO perairan, sehingga biota air yang tidak toleran terhadap kondisi DO rendah akan mengalami penurunan populasi.

b. Limbah yang membutuhkan O_2

Seperti eutrofikasi pencemaran air oleh limbah yang membutuhkan O_2 akan menyebabkan peningkatan BOD akibat tingginya populasi

bakteri aerob, sehingga akan menurunkan DO perairan. Akibatnya populasi biota air turun.

c. Minyak

Pencemaran minyak banyak terjadi di lautan atau pantai. Pencemaran minyak di perairan dapat menyebabkan kematian bagi banyak jenis biota air, seperti terumbu karang, karena bersifat racun bagi biota tersebut.

Tumpahan minyak di perairan dapat menempel dan menyelubungi bulu-bulu pada burung dan rambut mamalia air, sehingga mengganggu fungsi fisiologis bulu dan rambut tersebut. Contoh gangguan fisiologis yang dapat terjadi adalah hilangnya kemampuan mengapung atau kemampuan menjaga suhu tubuh, sehingga hewan dapat mati karena tenggelam atau karena kehilangan panas tubuh secara drastis.

d. Sedimen

Pencemaran sedimen di perairan dapat menyebabkan air menjadi keruh, sehingga mengurangi jarak penetrasi cahaya matahari ke dalam perairan. Hal ini akan menyebabkan kemampuan fotosintesis ganggang dan tumbuhan air menurun, sehingga populasinya berkurang, dan akan mengakibatkan penurunan populasi biota air lainnya. Sedimen juga dapat menyumbat aliran air, membawa endapan senyawa toksin, dan menutupi terumbu karang, serta makhluk hidup lain di dasar perairan.

Chandramohan dkk. (2009: 1) menyajikan data mengenai debit dan pergerakan sedimen di sungai tropis bagian Kerala, India. Diperoleh hasil, bahwa konsentrasi sedimen di sungai bervariasi antara 167 dan 2.944 mg/l. Di Sungai Chaliyar diangkut rata-rata beban tertinggi sedimen tahunan sekitar $0,40 \times 10^6$ t, sedangkan Sungai Meenachil memasok terendah $0,04 \times 10^6$ t. Variasi yang dihasilkan sedimen antara 40 dan 250 t/tahun/km², dengan sungai utara menunjukkan hasil yang lebih besar. Wilayah tengah Kerala, yang dialiri oleh sungai-sungai utama dan geologis stabil, menghasilkan nilai yang lebih rendah. Strip lahan sempit dari daerah utara dan selatan, yang ditandai dengan lereng terjal, adalah sangat rentan terhadap erosi. Karena variabilitas distribusi curah hujan, sungai utara diangkut dari bagian terbesar sedi-

men selama SW (*Southwest*) monsun (75–95%), sedangkan sejumlah besar angkutan sedimen (20–55%) selama NE (*Northeast*) hujan melalui sungai dari wilayah selatan.

e. Panas

Polusi panas atau termal dapat menyebabkan perubahan suhu perairan secara drastis, sehingga mengakibatkan kematian berbagai biota air yang tidak mampu beradaptasi terhadap perubahan suhu tersebut. Panas juga dapat menurunkan DO di perairan.

3. Dampak terhadap kesehatan manusia

Air yang telah tercemar akan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan karena mudah menjadi media berkembangnya berbagai macam penyakit. Dampak pencemaran air terhadap kesehatan manusia merupakan masalah global yang meningkat. Polusi ini sebagian besar disebabkan oleh limpasan pertanian, pembuangan limbah padat, terutama di daerah perkotaan dan pembuangan limbah industri yang tidak diatasi. Ini memiliki dampak negatif, baik langsung dan tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Ada sekitar 1.176 unit industri di negara dari berbagai jenis yang mencemari sungai dan lahan basah terutama di sekitar perkotaan. Hal itu ditunjukkan Rabbani dkk. (2010: 27) yang telah melakukan penelitian untuk mengeksplorasi bahaya kesehatan dari polusi industri di Kaliakoir, Bangladesh. Berdasarkan analisis dari data primer dan sekunder, penelitian ini mengungkapkan, bahwa polusi industri telah menyebabkan beberapa masalah kesehatan bagi masyarakat setempat di sekitar zona industri. Bukti empiris menunjukkan, bahwa kejadian penyakit kulit, ISPA, anemia, ulkus peptikum di daerah, telah ditemukan telah meningkat antara 1998 dan 2003. Ini berarti, ada hubungan yang jelas antara dampak negatif pencemaran air akibat kenaikan limbah industri dan limbah terhadap kesehatan manusia.

Berikut ini berbagai jenis penyakit yang dapat ditimbulkan oleh pencemaran air.

a. Penyakit menular

Penyakit menular akibat pencemaran air dapat terjadi karena berbagai macam sebab, antara lain: air yang tercemar dapat menjadi me-

dia bagi perkembangbiakan dan persebaran mikroorganisme, termasuk mikroba patogen dan air yang telah tercemar tidak dapat lagi digunakan sebagai pembersih.

Secara umum, gangguan yang terjadi akibat pencemaran air dapat dibagi menjadi empat kelompok, sebagai berikut: (1) *water diseases*, merupakan penyakit yang ditularkan langsung melalui air minum, seperti kolera, tifus, dan disentri; (2) *water washed diseases*, merupakan penyakit yang berkaitan dengan kekurangan air higiene perorangan, seperti scabies, infeksi kulit dan selaput lendir, trachoma, dan lepra; (3) *water based diseases*, merupakan penyakit yang disebabkan oleh bibit penyakit yang sebagian siklus kehidupannya berhubungan dengan schistosomiasis; dan (4) *water related vectors*, penyakit yang ditularkan oleh vektor penyakit yang sebagian atau seluruhnya perindukannya berada di air, seperti malaria, DBD, dan filariasis (lihat contohnya dalam Tabel 2).

Tabel 2. Contoh beberapa penyakit menular yang dapat tersebar melalui air yang tercemar

Jenis mikroba (1)	Penyakit (2)	Gejala (3)
Virus		
Virus Hepatitis A	Hepatitis A	Demam, sakit kepala, sakit perut, kehilangan selera makan, pembengkakan hati, sehingga tubuh menjadi kuning
Virus Polio	Poliomyelitis	Tenggorokan sakit, demam, diare, sakit pada tungkai dan punggung, kelumpuhan dan kemunduran fungsi otot
Bakteri		
<i>Vibrio Cholerae</i>	Kolera	Diare yang sangat parah, muntah-muntah, kehilangan cairan sangat banyak, sehingga menyebabkan kejang dan lemas
<i>Escherichia coli</i> (strain patogen)	Diare	Buang air besar berkali-kali dalam sehari, kotoran encer mengandung banyak air), terkadang diikuti rasa mulas atau sakit perut

(1)	(2)	(3)
<i>Salmonella typhi</i>	Tifus	Sakit kepala, demam, diare, muntah-muntah, peradangan, dan pendarahan usus
<i>Shigella dysenteriae</i>	Disentri	Infeksi usus besar, diare, kotoran mengandung lendir dan darah, sakit perut
Protozoa		
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disentri amuba	(sama seperti disentri oleh bakteri) Peradangan usus, diare berdarah
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diare, sakit perut, terbentuk gas dalam perut, bersendawa, kelelahan
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	
Metazoa		
(cacing parasit)		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Demam, sakit perut yang parah, malabsorpsi, muntah-muntah, kelelahan
(cacing gelang)		
<i>Taenia saginata</i>	Taeniasis	Gangguan pencernaan, rasa mual, kehilangan berat badan, rasa gatal di anus
(cacing pita)		
<i>Schistosoma</i> sp.	Schistosomiasis	Gangguan pada hati dan kantung kemih
(cacing pipih)		

b. Penyakit tidak menular

Penyakit tidak menular dapat muncul terutama karena air telah tercemar oleh senyawa anorganik, seperti logam berat. Ada juga senyawa organik yang dapat menimbulkan penyakit, terutama yang mengandung unsur Cl, seperti DDT dan PCB. Polutan-polutan ini dapat menimbulkan penyakit karena sifatnya beracun bagi tubuh.

Beberapa polutan atau pencemar air tersebut, seperti berikut.

1) Kadmium (Cd)

Cd adalah logam berat yang banyak digunakan pada industri pipa PVC, pembuatan karet, dan pabrik kaca. Logam Cd dapat terserap tubuh manusia dan akan terakumulasi atau terkumpul di organ-organ tubuh terutama di ginjal dan hati. Hanya sebagian kecil dari logam ini yang dapat terbuang melalui pencernaan. Keracunan Cd dapat mempengaruhi otot polos pembuluh darah, sehingga tekanan darah menjadi tinggi dan dapat menyebabkan gagal jantung. Keracunan Cd juga dapat mengakibatkan kerusakan pada organ ginjal dan hati, pelunakan tulang sehingga tulang-tulang punggung terasa nyeri.

2) Kobalt (Co)

Logam Co banyak digunakan dalam industri sebagai bahan campuran untuk pembuatan mesin pesawat, magnet, alat pemotong atau penggiling, serta untuk pewarna kaca, keramik, dan cat. Pada manusia, Co dibutuhkan sedikit dalam proses pembentukan sel darah merah dan diperoleh melalui vitamin B12. Keracunan Co dapat terjadi apabila tubuh menerima Co dalam konsentrasi tinggi (150 bpj atau lebih). Co dalam jumlah banyak dalam tubuh manusia akan merusak kelenjar tiroid (gondok), sehingga penderita akan kekurangan hormon yang dihasilkan oleh kelenjar tersebut. Co juga dapat menyebabkan gagal jantung dan edema (pembengkakan jaringan akibat akumulasi cairan dalam sel).

3) Merkuri (Hg)

Hg banyak digunakan dalam proses industri pembuatan Cl, juga terdapat pada baterai, cat, plastik, termometer, lampu tabung, kosmetik, dan hasil pembakaran batu bara. Logam Hg sifatnya terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup. Tubuh manusia menerima Hg terutama dari konsumsi hewan-hewan air yang telah tercemar Hg. Efek Hg pada wanita hamil dapat menyebabkan janin menjadi cacat mental. Tubuh yang terpapar Hg dalam jangka waktu lama dapat mengalami kerusakan ginjal, saraf, dan jantung. Pada konsentrasi rendah Hg dapat menimbulkan sakit kepala, depresi, dan perubahan perilaku.

4) Plumbum (Pb)

Pencemaran air oleh logam Pb dapat berasal dari berbagai sumber, seperti: (a) rembesan dari sampah kaleng yang mengandung Pb; (b) cat yang mengandung Pb; (c) bahan bakar bertimbal, pestisida; dan (d) korosi pipa-pipa yang mengandung Pb.

Logam Pb dengan konsentrasi > 15 mg/dl dalam darah berbahaya bagi kesehatan, di mana: (a) pada wanita hamil keracunan Pb dapat menyebabkan keguguran, kelahiran prematur, dan kematian janin; (b) pada anak-anak, Pb dapat menyebabkan cacat mental dan gangguan fisik; dan (c) pada orang dewasa keracunan Pb meningkatkan risiko terkena hipertensi (tekanan darah tinggi).

5) Senyawa organik berklorin

Contoh senyawa organik berklorin adalah DDT, aldrin, heptaklor, dan klordan yang banyak digunakan sebagai pestisida. Selain pestisida, senyawa kimia industri juga ada yang merupakan senyawa organik berklorin, contohnya PCB dan dioksin. Senyawa organik berklorin sifatnya persisten di alam dan terakumulasi dalam tubuh. Senyawa ini dapat menyebabkan kerusakan organ, terutama hati dan ginjal, serta dapat menimbulkan kanker. Beberapa senyawa organik berklorin, seperti DDT dan PCB dapat mengalami magnifikasi biologi saat memasuki rantai makanan.

Bab IV



Pengkajian dan Pengendalian Cemar Air

BERBAGAI upaya PPA yang telah dilakukan melalui berbagai kebijakan, di antaranya melalui pendekatan kelembagaan, hukum, teknis, dan program khusus. Pendekatan kelembagaan dilakukan dengan membentuk Bapedal, BPLHD, dan Dinas-dinas Lingkungan Hidup Daerah yang saat ini menjadi Bapedalda. Berbagai program khusus dari tahun 1980-an sampai saat ini telah dilaksanakan, di antaranya Prokasih, SuperKasih, dan Proper. Hal tersebut telah dilaksanakan di berbagai daerah yang berupa studi dan pelaksanaan pemantauan kualitas air, terutama pada sungai-sungai penting yang mempunyai fungsi pemanfaatan yang sangat tinggi. Balai Lingkungan Keairan, Pusat Litbang SDA, melalui pendekatan teknis sejak tahun 1980 telah berkiprah dalam upaya PPA. Upaya PPA, yaitu mengendalikan kualitas air masukan ke badan air penampung yang dalam hal ini sungai, danau, dan waduk, serta air tanah akuifer.

Balai Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumberdaya Air (SDA) yang berada di bawah Balitbang, DPU, sesuai dengan tugas dan fungsinya telah melakukan berbagai kegiatan terkait dengan PPA, yaitu melakukan litbang yang dimulai dari studi teknologi PPA yang kemudian melaksanakan pembangunan *pilot plant* IPAL sebagai uji coba dari berbagai kriteria desain teknologi PPA sebagai hasil kajian dari studi-studi terdahulu.

A. Pengkajian Cemaran Air

Berdasarkan hasil pengalaman dari berbagai kegiatan studi dan pengamatan berbagai *pilot plant*, dan juga Balai Lingkungan Keairan sering melakukan rekomendasi teknis teknologi PPA yang berupa IPAL, yang pada akhir tahun 1990 menerbitkan buku *Teknologi Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran Air* (edisi-1) untuk berbagai teknologi pengolahan fisika, kimia, dan biologi. Selanjutnya mengimplementasikan sistem IPAL Terpadu di IPAL-Cisirung, dan kemudian berbagai umpan-balik dari pengalaman-pengalaman tersebut, maka untuk memutakhirkan kembali buku teknologi tersebut telah dilaksanakan pada tahun 2009.

UNTUK jenis teknologi yang lain, pada saat ini masih melakukan litbang mengenai IPAL dengan menggunakan ekoteknologi (*wetland*), yang berikutnya sedang dibuat buku *PPA Ekoteknologi* yang diharapkan sebagai teknologi PPA alternatif dengan biaya OP yang murah.

1. Pengendalian pencemaran air (PPA)

Pada periode tahun 1980-2005, Balai Lingkungan Keairan Pusat Litbang SDA dalam periode ini telah melakukan berbagai studi PPA, seperti berikut.

- 1) Studi PPA Sungai Cikedokan dan Sungai Cikaranggalam, *Teknologi PPA di Indonesia Pusat Litbang SDA Balai Lingkungan Keairan* 2 dari 5.
- 2) Studi pengelolaan kualitas air di DPS Opak, Oyo, dan Citanduy.
- 3) Penanggulangan masalah air limbah Perumahan Jabatan Anggota DPR-RI Kalibata–DKI Jaya.
- 4) Studi kelayakan pembangunan IPAL domestik, Kota Denpasar-Bali.
- 5) Studi pengelolaan kualitas air dan PPA Sungai Citarum.
- 6) Studi kajian sumber pencemaran dan kualitas air Sungai Citarum, Kabupaten Bandung.
- 7) Pemodelan kualitas air Waduk Juanda dengan Model Stratif.

- 8) Kajian penanggulangan sumber-sumber pencemaran pada saluran di Wilayah Jakarta Pusat.
- 9) Studi kelayakan IPAL industri sistem terpusat dan B3 di Tangerang.
- 10) Studi pengelolaan kualitas air pantai utara Pulau Jawa di DPS Ci-manuk, Cipunagara, Cisanggarung, Bodri, dan Pekalongan.
- 11) Emisi limbah penduduk di DI. Yogyakarta dan di Bandung,
- 12) Studi PPA berbasis kluster.

Pada periode tahun 1985-1998, dilakukan studi terhadap kluster-kluster sumber pencemaran khususnya industri itu di Provinsi Jabar (Majalaya, Cimahi, Bandung Selatan, Tangerang, dan lain-lain), DKI Jaya (Sunter, daerah Mookervart, Pulo Gadung), Jateng meliputi (Kali Garang), Provinsi Jatim (Kali Brantas, Kali Surabaya), Provinsi Sumut (KIM).

Alasan utama untuk dilakukan PPA secara kluster, yaitu kemudahan pelaksanaan pemantauan dan pengawasan pencemaran serta biaya OP-IPAL per satuan debitnya akan lebih murah untuk debit air limbah yang besar. Dengan demikian, sistem kluster akan efektif dilaksanakan untuk kelompok industri yang air limbahnya sejenis serta lokasi geografis yang berdekatan dan proses pengumpulan air limbahnya sebaiknya dilakukan secara gravitasi.

Pada periode tahun 1984-1998, neberapa studi dan implementasi dari sistem kluster industri di DAS Citarum Hulu, seperti berikut.

- 1) Daerah Industri Majalaya telah dilakukan studi PPA sampai dengan tahap pra-desain dengan kapasitas: $Q = 225 \text{ L/s}$.
- 2) Daerah Industri Cimahi Selatan telah dilakukan studi kelayakan pembangunan IPAL Terpadu dengan kapasitas: $Q = 400 \text{ L/s}$.
- 3) Daerah Industri Bandung Selatan, Kabupaten Bandung telah dilakukan: (1) Tahap-I: IPAL-Cisirung, sampai konstruksi dan beroperasi, dengan kapasitas 175 L/s ; dan (2) Tahap-II: IPAL-Cipalasari yang merupakan lanjutan dari PPA Daerah Industri Bandung Selatan untuk Jalan Moch Toha bagian selatan, sampai dengan Detail Desain dengan kapasitas: $Q = 220 \text{ L/s}$.

Industri primer pengolahan hasil hutan merupakan salah satu penyumbang limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Bagi industri-

industri besar, seperti industri *pulp* dan kertas, teknologi pengolahan limbah cair yang dihasilkannya mungkin sudah memadai, namun tidak demikian bagi industri kecil atau sedang. Namun demikian, mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan limbah cair bagi lingkungan, penting bagi sektor industri kehutanan untuk memahami dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair.

Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Apapun macam teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan.

2. Teknik pengolahan air buangan

Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisahkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi tiga metode pengolahan¹², seperti berikut.

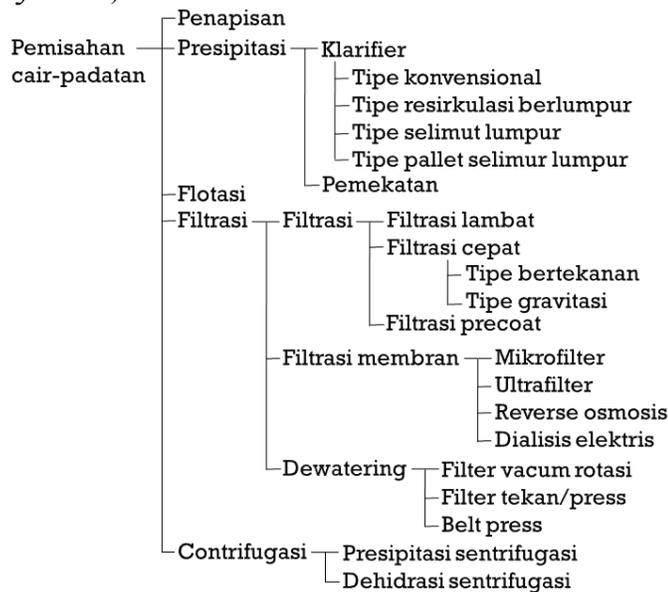
a. Pengolahan secara fisika

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, diinginkan agar bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisahkan terlebih dahulu (lihat Gambar 1). Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisahkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisahkan secara mudah dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisahkan bahan-bahan yang mengapung, seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya. Flotasi juga dapat digunakan sebagai

¹² untuk suatu jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau secara kombinasi

cara penyisihan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan lumpur endapan (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*).



Gambar 1. Skema diagram pengolahan fisik

Proses filtrasi di dalam pengolahan air buangan, biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses *reverse osmosis*-nya, akan dilaksanakan untuk menyisihkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses adsorpsi atau menyumbat membran yang dipergunakan dalam proses osmosa.

Proses adsorpsi, biasanya dengan karbon aktif, dilakukan untuk menyisihkan senyawa aromatik (misalnya: fenol) dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika diinginkan untuk menggunakan kembali air buangan tersebut.

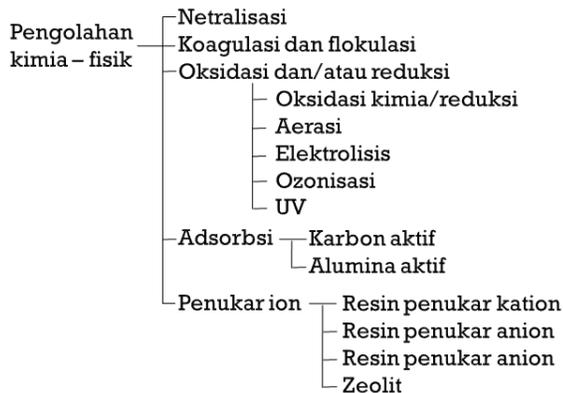
Teknologi membran (*reverse osmosis*) biasanya diaplikasikan untuk unit-unit pengolahan kecil, terutama jika pengolahan ditujukan untuk menggunakan kembali air yang diolah. Biaya instalasi dan operasinya sangat mahal.

Tahap penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar biasanya dengan menggunakan *sand filter* dengan ukuran silika yang disesuaikan dengan bahan-bahan tersuspensi yang akan disaring. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Pada proses ini bisa dilakukan tanpa tambahan bahan kimia bila ukurannya sudah besar dan mudah mengendap tapi dalam kondisi tertentu di mana bahan-bahan tersuspensi sulit diendapkan, maka akan digunakan bahan kimia sebagai bahan pembantu dalam proses sedimentasi, pada proses ini akan terjadi pembentukan flok-flok dalam ukuran tertentu yang lebih besar, sehingga mudah diendapkan pada proses yang menggunakan bahan kimia ini masih diperlukan pengondisian pH untuk mendapatkan hasil yang optimal. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap. Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang mengapung, seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya. Flotasi juga dapat digunakan sebagai cara penyisihan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan lumpur endapan (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*). Proses filtrasi di dalam pengolahan air buangan, biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses *reverse osmosis*nya, akan dilaksanakan untuk menyisihkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses adsorpsi atau menyumbat membran yang dipergunakan dalam proses osmosa.

Proses adsorpsi, biasanya dengan karbon aktif, dilakukan untuk menyisihkan senyawa aromatik (misalnya: fenol) dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika diinginkan untuk menggunakan kembali air buangan tersebut. Teknologi membran (*re-verse osmosis*) biasanya diaplikasikan untuk unit-unit pengolahan kecil, terutama jika pengolahan ditujukan untuk menggunakan kembali air yang diolah. Biaya instalasi dan operasinya sangat mahal.

b. Pengolahan secara kimia

Pengolahan air buangan secara kimia (Gambar 2) biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun; dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan-bahan tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.



Gambar 2. Skema diagram pengolahan kimiawi

Pengendapan bahan tersuspensi yang tak mudah larut dilakukan dengan membubuhkan elektrolit yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan muatan koloidnya agar terjadi netralisasi muatan koloid tersebut, sehingga akhirnya dapat diendapkan. Penyisihan logam berat dan senyawa fosfor dilakukan dengan membubuhkan larutan alkali (air kapur misalnya), sehingga terbentuk endapan hidroksida logam-logam tersebut atau endapan hidroksiapatit.

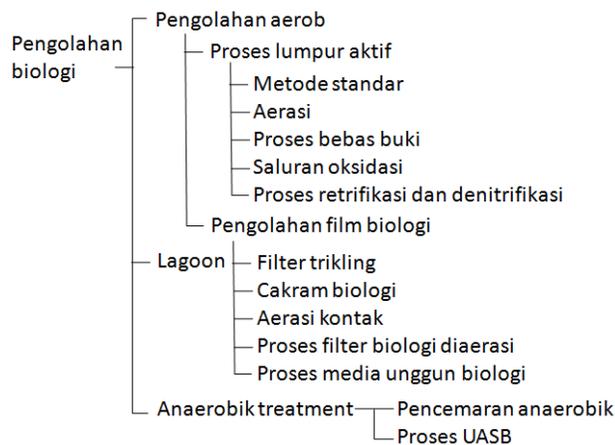
Endapan logam tersebut akan lebih stabil jika pH air $> 10,5$ dan untuk hidroksiapatit pada pH $> 9,5$. Khusus untuk krom heksavalen, sebelum diendapkan sebagai krom hidroksida $[\text{Cr}(\text{OH})_3]$, terlebih dahulu direduksi menjadi krom trivalent dengan membubuhkan reduktor [besi (II) sulfat atau ferri sulfat (FeSO_4), SO_2 , atau $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$].

Untuk koagulasi dan flokulasi, maka penyisihan bahan-bahan organik beracun, seperti fenol dan sianida pada konsentrasi rendah dapat dilakukan dengan mengoksidasinya dengan klor (Cl_2), Ca permanganat, aerasi, O_3 hidrogen peroksida.

Pada dasarnya kita dapat memperoleh efisiensi tinggi dengan pengolahan secara kimia, akan tetapi biaya pengolahan menjadi mahal karena memerlukan bahan kimia.

c. Pengolahan secara biologi

Semua air buangan yang *biodegradable* dapat diolah secara biologi (lihat Gambar 3). Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Dalam beberapa dasawarsa telah berkembang berbagai metode pengolahan biologi dengan segala modifikasinya.



Gambar 3. Skema diagram pengolahan biologis

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yakni: (1) reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reaktor*); dan (2) reaktor pertumbuhan lekat (*attached growth reaktor*).

Di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Proses lumpur aktif

yang banyak dikenal berlangsung dalam reaktor jenis ini. Proses lumpur aktif terus berkembang dengan berbagai modifikasinya, antara lain: *oxidation ditch* dan kontak-stabilisasi. Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, *oxidation ditch* mempunyai beberapa kelebihan, yaitu efisiensi penurunan BOD dapat mencapai 85–90% (dibandingkan 80–85%) dan lumpur yang dihasilkan lebih sedikit. Selain efisiensi yang lebih tinggi (90–95%), kontak stabilisasi mempunyai kelebihan yang lain, yaitu waktu detensi hidrolis total lebih pendek (4–6 jam). Proses kontak-stabilisasi dapat pula menyisihkan BOD tersuspensi melalui proses absorpsi di dalam tangki kontak, sehingga tidak diperlukan penyisihan BOD tersuspensi dengan pengolahan pendahuluan.

Kolam oksidasi dan laguna, baik yang diaerasi maupun yang tidak, juga termasuk dalam jenis reaktor pertumbuhan tersuspensi. Untuk iklim tropis seperti Indonesia, waktu detensi hidrolis selama 12–18 hari di dalam kolam oksidasi maupun dalam laguna yang tidak diaerasi, cukup untuk mencapai kualitas efluen yang dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Di dalam laguna yang diaerasi cukup dengan waktu detensi 3–5 hari saja.

Azri dkk. (2008: 35) telah meneliti secara rinci pengaruh simultan faktor intrinsik dan ekstrinsik pada beberapa karakteristik dari suatu laguna aerasi, yang terletak di daerah semi-kering Mediterania (Kota Sfax, Tunisia). Kinerja tanaman dievaluasi secara deskriptif dan analisis statistik data kuantitas dan kualitas, baik air limbah baku maupun limbah yang mengalami perlakuan selama enam tahun (1991-1996). Ditunjukkan kinerja yang buruk untuk kualitas air limbah baku yang diekspansi. Selanjutnya, pengaruh faktor lain yang berkaitan dengan kontribusi atmosfer industri tampaknya tidak diabaikan.

Di dalam reaktor pertumbuhan lekat, mikroorganisme tumbuh di atas media pendukung dengan membentuk lapisan film untuk melekatkan dirinya. Berbagai modifikasi telah banyak dikembangkan selama ini, antara lain: (1) *trickling filter*; (2) cakram biologi; (3) filter terendam; dan (4) reaktor fludisasi. Seluruh modifikasi tersebut dapat menghasilkan efisiensi penurunan BOD ± 80–90%.

Ditinjau dari segi lingkungan di mana berlangsung proses penguraian secara biologi, proses ini dapat dibedakan menjadi dua jenis: (1) proses aerob, yang berlangsung dengan hadirnya O_2 ; dan (2) proses anaerob, yang berlangsung tanpa adanya O_2 .

Apabila BOD air buangan tidak melebihi 400 mg/l, proses aerob masih dapat dianggap lebih ekonomis dari anaerob. Pada BOD lebih tinggi dari 4.000 mg/l, proses anaerob menjadi lebih ekonomis.

Dalam kehidupan rumah tangga, air biasa digunakan untuk minum, memasak, mandi, mencuci, dan lain-lain. Sedangkan dalam bidang industri, air digunakan sebagai proses industri, misalnya sebagai bahan utama, pelarut, pencampur, pendingin mesin, dan lain-lain.

3. Macam-macam istilah air

Macam-macam istilah air dimaksud, diuraikan seperti berikut.

a. Air murni (akuades)

Air murni adalah air yang tidak mengandung zat apapun, jadi hanya partikel air saja (H_2O). Air murni diperoleh dengan cara distilasi biasa. Kegunaan air murni antara lain sebagai pelarut dalam kegiatan laboratorium, pelarut obat injeksi, dan campuran obat. Air hujan sebenarnya juga merupakan air murni, tetapi dalam perjalanan turun ke tanah, air hujan melarutkan bermacam-macam zat yang ada di udara, antara lain gas asam arang, gas belerang dioksida, atau gas nitrogen.

b. Air bersih

Air bersih merupakan air yang layak untuk dikonsumsi. Air bersih tidak hanya jernih, tidak berbau, serta tidak berasa saja, tetapi juga harus memenuhi persyaratan kesehatan. Syarat kesehatan ini antara lain, tidak mengandung bahan kimia beracun atau kuman bakteri yang dapat mengganggu kesehatan.

Syarat air bersih dan layak konsumsi, sebagai berikut: (1) syarat fisik: tidak berbau, tidak berwarna, jernih, tidak berasa; (2) syarat kimia: tidak mengandung zat-zat kimia yang dapat meracuni atau merusak tubuh, alat rumah tangga, bahan pakaian, serta bebas dari garam-garam mineral; dan (3) syarat biologi: air harus bebas dari bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit perut, seperti diare atau muntaber.

c. Air kotor

Air kotor adalah air yang tidak hanya sadah, tetapi juga mengandung zat padat atau cair hasil pembuangan limbah, seperti sampah, bangkai, air bekas mencuci, limbah rumah tangga, dan lain-lain. Air kotor ini tidak dapat digunakan secara langsung apalagi untuk dikonsumsi. Tetapi, bukan berarti air kotor tidak dapat dimanfaatkan, air ini bisa digunakan setelah mengalami pengolahan. Seperti di kota-kota besar di mana warga sulit mendapat air. Maka dengan pengolahan air sungai akan diperoleh air yang layak digunakan dan juga dikonsumsi.

d. Air sadah

Air sadah adalah jika air mengandung garam Ca dan Mg, seperti Ca sulfat, Mg sulfat, Ca bikarbonat, Mg bikarbonat, Mg klorida dan Ca karbonat.

Air sadah ada dua macam, yaitu air sadah tetap dan air sadah sementara. Air sadah tetap adalah jika dalam air terlarut Ca sulfat, Mg sulfat, Ca klorida, dan Mg klorida. Sifat sadah tetap dapat dihilangkan dengan menambahkan natrium karbonat. Senyawa ini dapat mengendapkan garam Ca dan Mg. Air sadah sementara adalah air sadah yang mengandung garam karbonat atau bikarbonat, seperti Ca karbonat dan Mg karbonat. Sifat sadah sementara dapat dihilangkan dengan pemanasan atau menambah air kapur.

Kerugian yang diakibatkan dari sifat sadah antara lain alat rumah tangga, seperti panci dan ketel mudah rusak karena mineral yang membawa sifat sadah pada air diendapkan menjadi kerak pada dasar alat rumah tangga tersebut. Akibat lain adalah bahan bakar yang digunakan makin banyak. Bila digunakan untuk mencuci menyebabkan sabun tidak berbusa dan tidak baik untuk diminum.

4. Cara pengolahan air

Tiga aspek penting yang harus dilakukan dalam pengolahan air, yakni: (1) membersihkan air dari kekeruhan; (2) membersihkan air dari kuman; dan (3) membersihkan air dari zat-zat beracun.

Tahapan pengolahan air secara fisis dan kimia, sebagai berikut:

- 1) air kotor diendapkan terlebih dahulu, sehingga zat-zat yang ukuran partikelnya besar dapat mengendap dengan dilewatkan pada ijuk;

- 2) air yang sudah terbebas dari endapan, dialirkan ke tempat lain dan ditambahkan tawas sebanyak 30–100 mg tiap 1 liter air. Fungsinya untuk mengendapkan lumpur yang larut dalam air yang tidak mengendap pada langkah pertama;
- 3) air yang sudah diberi tawas dan diendapkan, dialirkan ke tempat lain. Kemudian ditambahkan kapur sebanyak 15–50 mg tiap liter air untuk menetralkan sifat asam yang larut akibat proses pembusukan;
- 4) air ditambah kaporit sebanyak 5–20 mg tiap liter air untuk membunuh bibit penyakit dan bakteri yang ada; dan
- 5) air yang sudah bebas asam dan bakteri kemudian dialirkan melalui kerikil bersih, arang kayu/arang tempurung kelapa, pasir bersih, dan ijuk. Fungsi arang untuk menyerap bau dan racun yang masih tersisa. Pada tahap ini merupakan konstruksi saringan.

B. Pengendalian Pencemaran Air

Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk pengendalian limbah penduduk adalah melalui Program Pengembangan Perkotaan, termasuk di dalamnya Program Perbaikan Kampung.

Program ini meliputi perbaikan dan pengadaan sarana penyehatan lingkungan berupa tempat MCK, bak sampah, dan pengangkutan sampah.

1. Limbah dan sampah rumah tangga

Penanggulangan sampah secara tuntas belum dapat dilakukan dan umumnya dibuang pada tempat penimbunan sampah terbuka (*open dumping*). Penanggulangan penimbunan tertutup (*sanitary dumping*) jarang dipraktekkan. Sedangkan pabrik kompos yang menggunakan sampah sebagai bahan baku hanya terdapat di Surabaya dan Medan. Peran serta masyarakat kiranya masih perlu ditingkatkan serta penyediaan biaya dalam program sanitasi lingkungan perlu diperbesar.

Dalam usaha menanggulangi limbah rumah tangga, sejumlah kota telah dilengkapi drainase mikro atau makro. Namun sarana pengolahan

air limbah baru terdapat antara lain di kota Cimahi, Bandung Selatan, Lampung, Tangerang, dan Bekasi.

Sebagai perbandingan, Sarkar dan Rahman (2008: 13) menyajikan hasil penelitian mengenai limbah rumah tangga itu. Di mana sebesar 19,4% dari total penduduk Kota Dhaka tinggal di daerah kumuh. Oleh karena itu, kondisi lingkungan alam dari daerah tersebut secara signifikan mempengaruhi keseluruhan lingkungan Kota Dhaka. Pasokan air, sanitasi, air limbah, dan pembuangan limbah padat, sangat tidak higienis. Dalam konteks pencemaran lingkungan, daerah kumuh yang baru didirikan menjadi perhatian lebih dari daerah kumuh mapan.

2. Limbah industri

Selain perlu perhatian yang lebih besar terhadap masalah lingkungan pada saat pemberian izin lokasi, penyempurnaan proses AMDAL, pemantauan pencemaran air, pengadaan sarana pengelolaan limbah terpusat, kampanye untuk mengurangi pencemar utama dan pengaturan pengenaan pajak bagi limbah industri; perlu juga didorong agar industri menaikkan efisiensi usahanya. Kenaikan efisiensi memiliki manfaat ganda, yaitu menurunkan jumlah pencemaran dan menurunkan biaya produksi, sehingga meningkatkan daya saing hasil produksinya. Cara lain yang efektif adalah teknik daur ulang yang juga dapat menghemat penggunaan bahan baku. Selain itu, perlu dikembangkan teknologi industri yang tidak mencemari. Dalam sejumlah kasus, telah terbukti bahwa manfaat ekonomi dari penggunaan teknologi baru ini jauh lebih besar dibandingkan biaya jangka pendek yang dikeluarkan.

Tidak banyak data mengenai upaya pengendalian limbah industri. Salah satu usaha yang menonjol adalah Program Pengendalian Pencemaran Kali Surabaya. Pada tahun 1985, telah teridentifikasi pencemar utama yang bertanggung jawab atas 77% beban pencemaran ke sungai tersebut adalah PT GK (pabrik gula), PT SAK (kertas), PTM (monosodium glutamat), PTS (kertas), dan lain-lain.

Industri B3 diwajibkan segera melaksanakan SEL/PEL atau PIL/AMDAL. AMDAL adalah mekanisme di mana pertimbangan pengolahan limbah dimasukkan dalam perencanaan pengembangan industri baru. Bila AMDAL benar-benar diterapkan, ia akan lebih menjamin

adanya pencegahan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Sebaiknya industri B3 dibangun di zona industri dan memiliki zona penyangga pengendalian limbah. Limbah B3 hasil pengolahan (seperti *sludge* yang mengandung B3 atau limbah padat) harus disimpan di lingkungan industri untuk sementara waktu sampai terwujudnya Pusat Pengolahan limbah B3. Bila lokasi pabrik terlalu sempit, perlu dicari lokasi penyimpanan sementara dengan memperhatikan geologi lingkungan atau dengan membuat *concret bunker*, *solidification*, dan lain-lain. Limbah B3 dilarang dibuang di laut tanpa seizin pemerintah.

3. Pestisida

Program Pengendalian Hama Terpadu mulai diterapkan melalui INPRES 3/1986. Program ini antara lain perbaikan pola tanam, penggunaan benih unggul yang resisten terhadap hama penyakit, dan pemakaian pestisida secara bijaksana; dan ± 57 merk insektisida juga tidak boleh digunakan untuk tanaman padi.

Sejalan dengan itu, agar senyawa pestisida aman digunakan dan tidak terlalu menimbulkan efek peracunan pada pemakai, maka pemerintah dan formulator telah menetapkan dan memberi petunjuk sebagai pedoman umum dalam penanganan senyawa kimia berbahaya. Mulai dari pemilihan jenis pestisida, tata cara penyimpanan, penakaran, pengenceran, pencampuran sampai ke prosedur kebersihannya (Anonim, 1984). Hal ini dapat kita lihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Petunjuk umum tentang keamanan dalam menggunakan senyawa kimia pestisida di lapangan

No.	Petunjuk
(1)	(2)
1.	Gunakanlah pestisida yang telah terdaftar dan memperoleh izin dari Menteri Pertanian. Jangan sekali-kali menggunakan pestisida yang belum terdaftar dan memperoleh izin
2.	Pilihlah pestisida yang sesuai dengan hama atau penyakit tanaman serta jasad sasaran lainnya yang akan dikendalikan, dengan cara lebih dahulu membaca keterangan tentang kegunaan pestisida dalam label pada wadah pestisida tersebut

(1)	(2)
3.	Belilah pestisida dalam wadah asli yang tertutup rapat dan tidak bocor atau rusak, dengan label asli yang berisi keterangan lengkap dan jelas. Jangan membeli dan menggunakan pestisida dengan label dalam bahasa asing
4.	Bacalah semua petunjuk yang tercantum pada label pestisida sebelum bekerja dengan pestisida itu
5.	Simpanlah pestisida di tempat khusus yang sejuk, kering dan dapat dikunci, jauh dari makanan/minuman, dan tidak dapat dijangkau oleh anak-anak, hewan piaraan serta ternak
6.	Lakukanlah penakaran, pengenceran atau pencampuran pestisida di tempat terbuka atau dalam ruangan yang mempunyai ventilasi baik
7.	Pakailah sarung tangan dan gunakanlah wadah, alat pengaduk dan alat penakar yang khusus hanya untuk pestisida. Semua peralatan tersebut jangan digunakan untuk keperluan lain, lebih-lebih yang berhubungan dengan makanan dan minuman
8.	Bukalah tutup wadah pestisida dengan hati-hati, sehingga pestisida tidak memercik, tumpah atau berhambur ke udara
9.	Gunakalah pestisida sesuai dengan takaran yang dianjurkan. Jangan menggunakan pestisida dengan takaran yang berlebihan atau kurang
10.	Periksalah alat penyemprot dan usahakan supaya selalu dalam keadaan baik, bersih dan tidak bocor
11.	Hindarkanlah pestisida terhirup melalui pernapasan atau terkena kulit, mata, mulut, dan kain
12.	Apabila ada luka pada kulit, tutuplah luka tersebut dengan baik sebelum bekerja dengan pestisida. Pestisida lebih mudah terserap ke dalam tubuh melalui kulit yang terluka
13.	Selama menyemprot, pakailah baju khusus yang berlengan panjang, penutup kepala penutup muka, celana panjang, sarung tangan dan sepatu <i>boot</i>
14.	Jangan menyemprot berlawanan dengan arah angin
15.	Hindarkanlah semprotan pestisida terbawa angin ke tempat lain, supaya tidak mengenai tempat tinggal penduduk, tanaman di tempat lain, sungai, kolam, danau, atau makanan ternak
16.	Jangan menyemprot pada waktu angin bertiup kencang, cuaca panas atau akan turun hujan

(1)	(2)
17.	Bekerjalah demikian rupa, sehingga tanaman yang telah disemprot tidak dilalui lagi untuk menghindari persentuhan dengan tanaman yang telah terkena pestisida
18.	Jangan merokok, makan atau minum selama bekerja dengan pestisida
19.	Jika merasa kurang enak badan, berhentilah bekerja dengan segera dan baca petunjuk dalam label tentang pertolongan pertama dan segera hubungi dokter, beri tahu pestisida apa yang digunakan
20.	Setelah selesai bekerja dengan pestisida, mandilah segera dengan sabun, pakaian, dan alat pelindung lainnya yang dipakai harus segera dicuci dengan sabun
21.	Setelah selesai bekerja, cucilah alat penyemprotan dan alat lainnya serta usahakan air bekas cucian tidak mengalir ke sungai, saluran air, kolam ikan, sumur, dan sumber air lainnya
22.	Bersihkanlah selalu muka dan tangan dengan air dan sabun sebelum beristirahat untuk makan minum atau merokok
23.	Wadah bekas yang sudah kosong jangan dipakai untuk menyimpan makanan atau minuman akan tetapi musnahkan dengan merusak, membakar atau menguburnya di tempat yang aman

Sumber: Anonim (1984).

4. Intrusi air asin

Istilah intrusi air laut (*sea water intrusion/encroachment*) sebetulnya mencakup hal yang lebih sempit dibandingkan pengertian dari istilah intrusi air asin (*saline/salt water*). Karena air asin tidak hanya melulu berupa/berasal dari air laut. Air asin adalah semua air yang mempunyai kadar kegaraman yang tinggi. Tingkat kegaraman biasanya dicerminkan dari total kandungan zat terlarut (TDS). Air tanah tawar mempunyai TDS < 1.000 mg/l. Sementara air tanah payau/asin TDS-nya > 1.000 mg/l. Kandungan unsur Cl⁻ yang tinggi umumnya didapati pada air asin. Air asin adalah pencemaran yang paling umum ke dalam air tanah.

Air asin di dalam akuifer dapat berasal dari: (1) air laut di daerah pantai; (2) air laut yang terperangkap dalam lapisan batuan yang didapatkan selama proses geologi; (3) garam di dalam kubah garam, lapisan tipis atau tersebar di dalam formasi geologi (batuan); (4) air yang terkumpul oleh penguapan di laguna, empang, atau tempat-tempat lain

yang terisolasi; (5) aliran balik ke sungai dari lahan irigasi; dan (6) limbah asin dari manusia (*Journal Hydraulics*, ASCE, 1969).

Intrusi air asin adalah suatu peristiwa penyusupan air asin ke dalam akuifer di mana air asin menggantikan atau tercampur dengan air tanah tawar yang ada di dalam akuifer. Penyusupan ini akan menyebabkan air tanah tidak dapat dimanfaatkan, dan sumur yang memanfaatkannya terpaksa ditutup atau ditinggalkan.

Berdasarkan pengertian tersebut serta asal air asin, maka intrusi air laut adalah intrusi air asin yang berasal dari air laut, sehingga hanya terjadi di daerah pantai. Sementara intrusi air asin dapat terjadi di mana saja, bahkan di daerah pedalaman (*inland*).

Intrusi sebenarnya baru akan terjadi karena adanya aksi, dalam hal ini pengambilan air tanah. Intrusi adalah reaksi dari aksi tersebut, dan mengubah keseimbangan hidrostatik alami antar-muka (*interface*) air tanah tawar dan air asin.

Adalah Badon Ghyben ilmuwan Belanda dan Herzberg ilmuwan Jerman, sekitar 1889 dan 1901, secara sendiri-sendiri di sepanjang dataran pantai Laut Utara mengadakan penyelidikan hubungan antara air tanah tawar dan air asin. Keduanya menemukan bahwa muka air asin akan ditemui tidak pada ketinggian muka laut, namun pada suatu kedalaman di bawah muka laut ± 40 kali ketinggian muka air tanah tawar di atas muka laut. Sebaran antar-muka air tawar dan air asin melekat pada keberadaan keseimbangan hidrostatik antarkedua jenis air tersebut. Hubungan tersebut lazim dikenal dengan persamaan Ghyben-Herzberg seperti nama para penemunya. Ekuilibrium alami tersebut akan berubah manakala terjadi perubahan dari tekanan muka air tanah tawar akibat pemompaan yang berlebihan di daerah, sehingga membentuk ekuilibrium baru dengan air asin mendorong sebaran antar-muka ke arah daratan, dan mulailah peristiwa intrusi air laut.

Dalam hal Jakarta, berdasarkan pengertian di atas, dapat diyakini telah terjadi intrusi air asin. Faktanya adalah: **Pertama**, seperti telah dijelaskan sebelumnya analisis contoh air tanah dari akuifer dangkal maupun dalam di beberapa tempat sejak sebelum 1920 hingga kini menunjukkan kenaikan kadar Cl⁻. Cl⁻ umumnya dijumpai dalam air tanah dengan kadar rendah dalam kondisi normal. Sumber utama Cl⁻ adalah

limbah, air fosil (*conate water*), dan air laut. Jadi faktanya adalah air tanah di beberapa tempat di Jakarta terutama di bagian utara, paling tidak di sebelah utara garis yang menghubungkan daerah Kapuk – Grogol – Gambir – Cempaka Putih, dan Sunter, meninggi kadar garamnya dan berubah dari tadinya tawar menjadi payau atau asin.

Kedua, intrusi terjadi sebagai reaksi penurunan muka air tanah, baik dari sistem akuifer dangkal maupun sistem akuifer dalam akibat aksi pengambilan air tanah dari kedua sistem akuifer di Jakarta. Seperti telah disebutkan, penurunan muka air tanah dari sistem akuifer dalam mencapai 2–4,6 m per tahun. Di beberapa tempat, muka air tanah tersebut telah berada > 40 m di bawah muka tanah setempat. Penurunan ini mengubah keseimbangan hidrostatik antar-muka air tanah tawar/asin di cekungan Jakarta. Tidak dapat dipungkiri bahwa ada fakta pengambilan air tanah yang terus meningkat untuk berbagai keperluan di Jakarta. Hingga tahun 1995, kontribusi air tanah bagi pasokan air di Jakarta \pm 250 juta m³/tahun. Jumlah tersebut terutama diambil melalui sumur-sumur dangkal yang tak terhitung (80%), dan > 3000 sumur-sumur dalam (20%). Antara 1900 dan 1950, pengambilan air tanah tercatat di bawah 10 juta m³/tahun. Akan tetapi sejak itu, terutama setelah 1970, pengambilan air tanah terus meningkat. Pada tahun 1994 pengambilan air tanah dari sistem akuifer dalam diperkirakan 53 juta m³, atau hampir dua kali lipat dari pengambilan sumur yang terdaftar. Sulit mendapatkan angka pasti pengambilan air tanah di Jakarta, karena tidak semua sumur yang ada terdaftar pada instansi yang berwenang.

Berdasarkan penjelasan di atas, di mana: (1) telah terjadi intrusi air asin (*saline water intrusion*) di Jakarta. Sumber intrusi ini adalah terutama berasal dari air fosil yang terperangkap dalam formasi batuan pada saat terjadinya proses geologi (JWRMS, 1994 melaporkan hal ini), intrusi air laut, serta setempat berasal dari limbah; (2) Jakarta tidak terbebas dari intrusi air laut (*sea water enchroachment*) terutama pada sistem akuifer air tanah dangkal. Intrusi ini penyebarannya ke arah bagian selatan Jakarta berlangsung lambat, karena kelulusan lapisan batuan penyusun relatif rendah. Pelebaran intrusi air laut yang lambat ini tidak boleh dianggap sebagai bukan suatu ancaman. Penanganan dini akan mencegah kemerosotan mutu air tanah; dan (3) intrusi air laut adalah

salah satu dari sumber terjadinya peningkatan kegaraman/kadar Cl- air tanah di Jakarta.

Akuifer pantai merupakan sumber penting untuk memenuhi kebutuhan air bersih, khususnya di daerah-daerah yang berkembang di sepanjang pesisir pantai. Banyak daerah di pantai yang populasi penduduknya tinggi, menyebabkan meningkatnya kebutuhan air bersih. Karena itu, daerah sekitar pantai memerlukan perhatian dan manajemen khusus untuk menanggulangnya.

Fokus pada bagian ini adalah memberikan gambaran informasi hidrologi yang dibutuhkan dalam manajemen akuifer pantai, berdasarkan pandangan bahaya intrusi air laut dan hubungan bahwa keberadaan aliran air tawar dari akuifer ke laut dan perluasan intrusi air laut.

Perembesan air laut ke daratan, tidak dapat dipungkiri, selama ini masih dianggap sebelah mata oleh masyarakat maupun pemerintah. Padahal walaupun dampaknya tidak dirasakan secara langsung, seperti pencemaran udara dan suara, untuk jangka panjang rembesan air laut ke daratan akan menimbulkan kerugian yang sangat besar, baik dari segi lingkungan, kesehatan, bahkan ekonomi.

Padahal, perembesan air laut ke daratan yang dikenal dengan istilah intrusi ini, tak boleh disepelekan. Adanya pori-pori tanah yang berlubang, menyebabkan air laut masuk ke daratan. Hal itu terjadi karena air tanah yang dipompa keluar terlalu besar dan ruang kosong atau pori-pori ini diisi oleh air laut. Dampaknya, air di daratan yang selama ini tawar, menjadi payau.

Walaupun dampak intrusi akan muncul secara berkala dan untuk jangka waktu yang lama, jika dibiarkan saja, tanpa ada upaya mencegahnya, tentu saja akan menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi masyarakat. Bisa dibayangkan, betapa besar kerugian secara ekonomis yang diderita karena rembesan dan pengikisan air laut. Tanah-tanah di tepi pantai akan berkurang dan kalau dinominalkan, akan besar sekali.

Meskipun sampai saat ini belum ada data mengenai kerugian tersebut, tapi bisa dibayangkan betapa besar dana yang keluar kalau tanah yang hilang mencapai ratusan kilometer akibat pengikisan dan perembesan. Apalagi, bila dilihat dari segi kesehatan dan lingkungan. Belum

lagi berbagai penyakit yang mungkin mendera masyarakat yang mengkonsumsi air payau tersebut.

Lalu, bagaimana dampak air payau terhadap kesehatan masyarakat yang menggunakannya? Menggunakan air payau untuk dikonsumsi maupun kegiatan lain, seperti mandi, dapat mengganggu kesehatan. Karena air payau mengandung natrium klorida (NaCl) yang tinggi dan dapat mengganggu metabolisme yang terjadi di dalam tubuh manusia.

Penggunaan air payau untuk dikonsumsi dapat menyebabkan seseorang terkena penyakit perut seperti diare. Sedangkan bila digunakan untuk mandi, dapat memicu munculnya penyakit kulit, seperti gatal-gatal. Untuk jangka panjang, bukan tidak mungkin orang yang mengkonsumsi air payau tersebut akan mengalami gangguan penyakit serius karena metabolismenya terganggu dan sensitivitas tubuhnya untuk menerima air payau yang mengandung garam tersebut.

Bab V



- 1) Isu-isu kerusakan lingkungan menghadirkan persoalan etika yang rumit. Karena meskipun pada dasarnya alam sendiri sudah diakui sungguh memiliki nilai dan berharga, tetapi kenyataannya terus terjadi pencemaran dan perusakan. Keadaan ini memunculkan banyak pertanyaan. Apakah manusia sudah melupakan hal-hal ini atau manusia sudah kehilangan rasa cinta pada alam? Bagaimanakah sesungguhnya manusia memahami alam dan bagaimana cara menggunakannya? Krisis lingkungan global yang terjadi pada saat sekarang ini antara lain terjadinya kerusakan (hutan, tanah, lapisan O₃), pencemaran (air, tanah, udara, laut), kepunahan sumberdaya energi dan mineral, kepunahan keanekaragaman hayati, dan lain-lain. Di mana krisis lingkungan global sudah merupakan ancaman yang sangat serius dan nyata terhadap kehidupan manusia. Apa yang menjadi akar permasalahan dalam krisis lingkungan hidup? Yang menjadi akar permasalahan krisis lingkungan global adalah: pertama, kesalahan cara pandang (paradigma) manusia terhadap dirinya, alam, dan hubungan manusia dengan alam. Sifat manusia yang tamak, rakus, pola konsumsi, eksploitatif, dan tidak bertanggung jawab merupakan salah satu permasalahan yang ada. Kedua, kesalahan paradigma pembangunan, di mana pembangunan berkelanjutan hanya sebagai jargon, yang pada kenyataannya pembangunan yang terjadi mengorbankan lingkungan. Ketiga, adanya *bad government, bad ethics*.
- 2) Dalam pandangan Islam, permasalahan lingkungan yang terjadi saat sekarang ini disebabkan oleh dua hal, yakni: pertama, karena kejadian alam yang harus terjadi sebagai sebuah proses dinamika alam itu sendiri. Kedua, sebagai akibat dari perbuatan manusia.

Eksplorasi SDA yang tidak ramah lingkungan menimbulkan kerusakan yang akhirnya juga mengancam eksistensi manusia. Berkaitan dengan hal ini Allah berfirman: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS 30: 41). Islam adalah agama yang sangat memperhatikan keseimbangan dan kelestarian lingkungan. Apabila masyarakat muslim memahami, bahwa interaksi yang benar dengan lingkungan juga merupakan ibadah mungkin kerusakan lingkungan tidak akan sebesar yang terjadi saat ini. Demikian halnya secara khusus terhadap terjadinya kerusakan sumberdaya air, karena ulah dan perlakuan manusia.

- 3) Air selalu mengubah bentuknya sesuai dengan wadahnya. Ia fleksibel dan tidak kaku. Karena itu, ia dapat diterima oleh lingkungannya. Dan saat air mengalami kesulitan dalam mengatasi masalah, ia tidak mengandalkan kekuatan sendiri. Ia dikaruniai kemampuan untuk mengubah dirinya menjadi uap. Air bersifat mengalah, namun selalu tidak pernah kalah. Air mematikan api dan membersihkan kotoran. Kalau sekiranya akan terkalahkan, air meloloskan diri dalam bentuk uap dan kembali mengembun. Air merapuhkan besi yang kuat, sehingga menjadi abu. Bilamana bertemu batu arang, ia akan berbelok untuk kemudian melanjutkan perjalanannya kembali.
- 4) Pencarian air (H_2O) dalam basis kehidupan yang kita kenal saat ini sangatlah penting. Pencarian terhadap air sudah sering dilakukan dan dikaji secara teori oleh beberapa ilmuwan, khususnya geologi yang kini tergabung dalam ilmu multidisiplin salah satunya kita kenal dengan kajian ilmu astrobiologi. Pertanyaan yang sering diajukan beberapa ilmuwan adalah bagaimana kehidupan dimulai dan berkembang, jika telah ditemukan bentuk kehidupan di tempat lain dari kosmos, bagaimana masa depan untuk kehidupan di planet kita. Meskipun pertanyaan-pertanyaan ini menggoda para ilmuwan untuk memiliki imajinasi mengenai kehidupan di tempat lain, ilmuwan yang melakukan penelitian lebih lanjut baru mampu

secara sistematis menyelidiki subjek dari berbagai perspektif, termasuk mikrobiologi, astrokimia, evolusi planet, genomika, atmosfer kimia, dan geobiologi.

- 5) Lingkungan mempunyai daya dukung dan daya lenting. Daya dukung berarti kemampuan lingkungan untuk dapat memenuhi kebutuhan sejumlah makhluk hidup agar dapat tumbuh dan berkembang secara wajar di dalamnya. Daya lenting berarti kemampuan untuk pulih kembali kepada keadaan setimbang. Kegiatan manusia amat berpengaruh pada peningkatan atau penurunan daya dukung maupun daya lenting lingkungan. Manusia dapat meningkatkan daya dukung lingkungan, tetapi karena keterbatasan kemampuan dan kapasitas lingkungan, tidak mungkin terus ditingkatkan tanpa batas, sehingga manusia secara sadar ataupun tidak menyebabkan ketidaksetimbangan atau kerusakan lingkungan. Kerusakan lingkungan diakibatkan oleh berbagai faktor, antara lain oleh pencemaran. Pencemaran ada yang diakibatkan oleh alam, dan ada pula yang diakibatkan oleh perbuatan manusia.
- 6) Salah satu manfaat air yang penting namun kurang dihargai adalah kemampuannya untuk menghancurkan dan menghanyutkan kotoran dan limbah. Kemampuan ini telah lama diketahui dan dimanfaatkan dalam peradaban manusia. Namun kegagalan dalam mengelola proses ini dapat menimbulkan pencemaran yang disebabkan terlampauinya kapasitas air untuk mengasimilasi dan mendifusikan kotoran dan limbah tersebut. Meningkatnya kuantitas dan kualitas air yang diperlukan dari waktu ke waktu sangat ditentukan oleh perkembangan kependudukan serta perkembangan tingkat kesejahteraan manusia.
- 7) Lingkungan yang tercemar akibat kegiatan manusia maupun proses alam akan berdampak negatif pada kesehatan, kenikmatan hidup, kemudahan, efisiensi, keindahan, serta keseimbangan ekosistem, dan SDA. Dengan kata lain, pengelolaan lingkungan hidup merupakan penanggulangan dampak negatif kegiatan manusia yang bertujuan untuk meningkatkan mutu lingkungan. Lingkungan amat penting bagi kehidupan manusia. Segala yang ada pada lingkungan dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk mencukupi kebutuhan hi-

dupnya, karena lingkungan memiliki daya dukung, yaitu kemampuan lingkungan untuk mendukung perkehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

- 8) Polusi air akan memberikan pengaruh yang luas pada aliran sungai dan laut, ada juga yang terdeposit di dasar air dalam bentuk materi berbahaya dan memiliki pengaruh jangka panjang karena setelah beberapa tahun materi ini dapat menimbulkan gangguan pada kesehatan manusia. Melalui lautan polusi bisa menyebar ke seluruh dunia dan memiliki kemungkinan pengaruh pada ekologi, khususnya binatang air. Mengingat tantangan yang dihadapi oleh sektor sumberdaya air dan sektor irigasi di abad ke-21 dan reformasi sektor publik yang lebih memperhatikan aspirasi rakyat, pemerintah Indonesia telah memulai program reformasi bidang sumberdaya air yang meliputi aspek kebijakan, aspek kelembagaan, aspek legislatif dan peraturan, dan kebijakan konservasi sumberdaya air telah mendapat bagian yang substansial dalam agenda reformasi.
- 9) Air secara ilmiah tidak pernah dijumpai dalam keadaan betul-betul murni. Ketika uap air mengembun di udara dan jatuh di permukaan bumi, air tersebut telah menyerap debu atau melarutkan O_2 , CO_2 dan berbagai jenis gas lain. Kemudian air tersebut, baik yang di atas maupun di bawah permukaan tanah, bergerak mengalir menuju ke berbagai tempat yang lebih rendah letaknya, melarutkan berbagai jenis batuan yang dilaluinya atau zat organik lainnya. Selain itu, sejumlah kecil hasil uraian zat organik, seperti nitrit, nitrat, amoniak, dan CO_2 akan larut ke dalamnya. Dengan demikian, kualitas air secara alamiah akan berbeda pada setiap ruang dan waktu yang berlainan. Pencemaran terjadi bila dalam lingkungan terdapat bahan yang menyebabkan timbulnya perubahan yang tidak menyebabkan timbulnya perubahan yang tidak diharapkan, baik yang bersifat fisik, kimiawi, maupun biologis sehingga mengganggu kesehatan eksistensi manusia, dan aktivitas manusia serta organisme lainnya. Bahan penyebab pencemaran tersebut disebut bahan pencemar atau polutan.
- 10) Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-

teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi tiga metode pengolahan: pengolahan secara fisika, pengolahan secara kimia, pengolahan secara biologi. Untuk suatu jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau secara kombinasi.

Singkatan dan Akronim

A

- AC** *air conditioning*
AMDAL Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
ASCE *American Society of Civil Engineers*
ATP *adenosine triphosphate*

B

- balita** bawah lima tahun (anak)
balitbang badan penelitian dan pengembangan
Bapedal Badan Pengendalian Dampak Lingkungan
Bapedalda Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah
BBM bahan bakar minyak
BHC *Benzene Hexachloride*
BOD *Biochemical Oxygen Demand*
BPLHD Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah
B3 bahan berbahaya dan beracun

C

- CDM** *Collaborative Decision Making*
CFC *Chloro Fluoro Carbons*
COD *Chemical Oxygen Deman*
CVM *contingent valuation method*

D

- DAS** daerah aliran sungai
DBD demam berdarah dengue

DDE *Dichlorodiphenyldichloroethylene*

DDT *Dikloro Difenil Trikloroetana*

DIY Daerah Istimewa Yogyakarta

DKI Jaya Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta Raya

dkk dan kawan-kawan

DO *dissolved oxygen*

dpl di bawah permukaan laut

DPR Dewan Perwakilan Rakyat

DPS daerah pengaliran sungai

DPU Departemen Pekerjaan Umum

E

EMS *environmental management system*

EPS *extracellular polymeric substances*

G

GEMS *Global Environmental Monitoring System*

GP3A gabungan perkumpulan petani pemakai air

gsm Gram per Square Meter

H

HAM hak asasi manusia

HCb Heksa Chloro Benzena

I

IOMP *Irrigation Operation and Maintenance Policy*

IPAL instalasi pengolahan air limbah

IP3A induk perkumpulan petani pemakai air

ipteks ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni

IQ *Intelligence Quotien*

ISPA infeksi saluran pernapasan atas

J

Jabar Jabar

Jabodetabek Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi

Jateng Jawa Tengah

Jatim Jawa Timur

JWRMS Jabotabek *Water Resources Management Study*

K

Kaltim Kalimantan Timur

Kepmenkes Keputusan Menteri Kesehatan

KIM Kawasan Industri Medan

KKN kolusi, korupsi, dan nepotisme

KOB konsumsi oksigen biologi

KOK kebutuhan oksigen kimia

L

litbang penelitian dan pengembangan

LPR luas polowijo relatif

M

MCK mandi–cuci–kakus

Menkes Menteri Kesehatan

MenKLH Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup

MPM *Most Probability Number*

muntaber muntah dan berak

N

NAB nilai ambang batas

NMR *nuclear magnetic resonance*

NTB Nusa Tenggara Barat

O

OT oksigen terlarut

P

PCB *polychlorinated biphenyls*

PCP Penta Chloro Penol

PDAM Perusahaan Daerah Air Minum

Pergub peraturan gubernur

Permenkes Peraturan Menteri Kesehatan

PIL Penyajian Informasi Lingkungan

PMA penanaman modal asing

PMDN penanaman modal dalam negeri

PP peraturan pemerintah

PPA pengendalian pencemaran air

Prokasih 1 Program Kali Bersih; 2 Proyek Kali Bersih

Proper Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan

P2AT proyek pengembangan air tanah

P3A perkumpulan petani pemakai air

PT perseroan terbatas

puslitbang pusat penelitian dan pengembangan

PVC Poly Vinil Chlorid

R

Repelita rencana pembangunan lima tahun

RI Republik Indonesia

S

SDA sumberdaya air

SEL Studi Evaluasi Lingkungan

SK surat keputusan

Sulut Sulawesi Utara

Sumut Sumatra Utara

SuperKasih Surat Pernyataan Kali Bersih

SWT Subhanahu wa Ta'ala

T

TDS *total dissolved solids*

TEPP *tetraethyl pyrophosphate*

TPA tempat pembuangan akhir

TSP *triple super phosphate*

U

UNICEF *United Nations Children's Fund*

UU undang-undang

UV ultraviolet

W

WHO *World Health Organization*

WQI *water quality index*

Z

ZA *Zwavelzure Ammoniak*

Daftar Lambang dan Persamaan

Persamaan

A

As arsenik

B

bpj bagian per juta

C

$C_{10}H_8$ naftalena

Ca kalsium

$CaSO_4$ mineral anhidrit

Cd kadmium

Cl klorin

cm centimeter

Co kobalt

CO karbon monoksida

CO_2 karbon dioksida

Cr kromium

$Cr(OH)_3$ krom hidroksida

Cu kuprum

D

dt detik

F

$FeSO_4$ besi (II) sulfat atau ferri sulfat

G

gal gallon

gr gram

H

H hidrogen

ha hektar are

H_2O air

H_2O_2 hidrogen peroksida

H_2S hidrogen sulfida

Hg merkuriium

K

K Kelvin

kg kilogram

km kilometer

km^3 kilometer kubik

kPA kiloPascal

L

lt liter

M

m meter

m^3 meter kubik

mg miligram

Mg magnesium

ml mililiter

mm milimeter

Mn mangan

N

N nitrogen

Na natrium

$NaCl$ natrium klorida

$Na_2S_2O_5$ natrium metabisulfit

NH₃ amonia
NH₃-N nitrogen amonia
Ni nikel
NO₂ nitrogen dioksida

O
O₂ oksigen
O₃ ozon

P
P fosfat
Pb plumbum
pH derajat keasaman

ppb *part per billion*

S
SO₂ sulfur dioksida

Lambang
°C derajat celsius
< kurang dari
± kurang lebih
> lebih besar
σ- parsial negatif
σ+ parsial positif
% persentase

A

- adhesi** 1 gaya atau kakas tarik-menarik antarmolekul yang tidak sejenis; 2 gaya tarik-menarik antarmolekul yang tidak sejenis. Teknisi mempelajarinya lebih dalam untuk menempel benda-benda dan biologiwan untuk mengerti cara kerja sel
- akuifer** lapisan kulit bumi berpori yang dapat menahan air dan terletak di antara dua lapisan yang kedap air
- aluvium** lempung, pasir halus, pasir, kerikil, atau butir batuan lain yang terendapkan oleh air mengalir (banjir, arus sungai, arus laut)
- amalgam** 1 larutan logam dengan air raksa, dapat berbentuk cair atau padat; 2 bahan pengisi yang umum digunakan untuk memperbaiki gigi berlubang. Materi yang juga dikenal sebagai “tambalan perak” ini mengandung merkuri yang dikombinasi dengan perak, timah, tembaga, dan kadang-kadang seng; 3 zat gabungan merkuri dengan logam lain; 4 suatu lakur (alloy) dan merkuri (air raksa) dengan satu atau lebih dari logam lain. Amalgam mungkin cairan atau padat
- amoniam¹** 1 gas tidak berwarna, baunya menusuk, terdiri atas unsur nitrogen dan hidrogen, mudah sekali larut dalam air, senyawanya banyak dipakai dalam pupuk, obat-obatan, dan sebagainya; 2 produk sampingan metabolisme beracun yang biasanya diekskresikan dalam urin; 3 senyawa kimia yang biasanya didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan². Amonia

¹ senyawa kimia dengan rumus NH_3

² Administrasi Keselamatan dan Kesehatan Pekerjaan Amerika Serikat memberikan batas 15 menit bagi kontak dengan amonia dalam gas berkonsentrasi 35 bpj volum, atau 8 jam untuk 25 bpj volum. Kontak dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan bahkan kematian. Sekalipun amonia di AS diatur sebagai gas tak mudah terbakar, amonia masih digolongkan sebagai bahan

yang digunakan secara komersial dinamakan amonia anhidrat. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih di suhu -33°C , cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur amat rendah. Walaupun begitu, kalor penguapannya amat tinggi, sehingga dapat ditangani dengan tabung reaksi biasa di dalam sungkup asap. “Amonia rumah” atau amonium hidroksida adalah larutan NH_3 dalam air. Konsentrasi larutan tersebut diukur dalam satuan baumé. Produk larutan komersial amonia berkonsentrasi tinggi biasanya memiliki konsentrasi 26 derajat baumé ($\pm 30\%$ berat amonia pada $15,5^{\circ}\text{C}$). Amonia yang berada di rumah biasanya memiliki konsentrasi 5–10% berat amonia. Amonia umumnya bersifat basa ($\text{pK}_b=4,75$), namun dapat juga bertindak sebagai asam yang amat lemah ($\text{pK}_a=9,25$)

amonium ion NH_4^{+}

angina 1 penyakit radang di dalam rongga hulu kerongkongan; 2 nyeri dada yang terjadi ketika pembuluh darah yang sakit membatasi aliran darah ke jantung; 3 rasa sakit berupa kejang menekan

arsenik³ 1 unsur berwarna hitam, abu-abu, dan getas, dengan nomor atom 33, berlambang As, dan bobot atomnya 74,9216; 2 unsur

beracun jika terhirup, dan pengangkutan amonia berjumlah > 3.500 galon (13,248 L) harus disertai surat izin

³ kata arsen, arsenik, atau arsenikum dipinjam dari bahasa Persia زرنيخ *Zarnik* yang berarti “orpimen kuning.” *Zarnik* dipinjam dalam bahasa Yunani sebagai *arsenikon*. Arsenik dikenal dan digunakan di Persia dan di banyak tempat lainnya sejak zaman dahulu. Bahan ini sering digunakan untuk membunuh, dan gejala keracunan arsenik sulit dijelaskan, sampai ditemukannya tes Marsh, tes kimia sensitif untuk mengetes keberadaan arsenik. Karena sering digunakan oleh para penguasa untuk menyingkirkan lawan-lawannya dan karena daya bunuhnya yang luar biasa serta sulit dideteksi, arsenik disebut *Racun para raja*, dan *Raja dari semua racun*. Ditemukan pada sekitar tahun 1250 oleh Albert Magnus. Dalam bentuk unsur, arsenik sebenarnya tidak berbahaya. Akan tetapi, jika dalam bentuk senyawa oksidanya, arsen dioksida (As_2O_3), unsur ini bersifat racun. Senyawa arsen oksida berbentuk serbuk putih yang larut dalam air, tidak berasa, dan sukar dideteksi jika telah lama diminum. Dahulu, sifat inilah yang menyebabkan senyawa arsen oksida dikenal dengan sebutan “bubuk warisan.” Arsen oksida seringkali ditambahkan anak atau cucu ke dalam minuman anggur bapak atau kakeknya. Mereka berharap sang bapak atau kakek meninggal dunia karena keracunan arsenik, sehingga harta warisannya akan segera jatuh ke tangan

logam yang membentuk sejumlah senyawa beracun. Arsenik ditemukan di alam pada tingkat rendah, sebagian besar bersenyawa dengan oksigen, klorin, dan belerang. Senyawa ini disebut arsenik anorganik. Arsenik pada tumbuhan dan hewan bersenyawa dengan karbon dan hidrogen, disebut arsenik organik. Arsenik organik biasanya kurang berbahaya dibandingkan arsenik anorganik; **3** bahan metaloid yang terkenal beracun dan memiliki tiga bentuk alotropik; kuning, hitam, dan abu-abu

asam⁴ **1** zat yang dapat memberikan proton; **2** zat yang dapat menerima pasangan elektron; **3** suatu substansi yang meningkatkan konsentrasi ion hidrogen di dalam suatu larutan; **4** zat yang memiliki sifat-sifat yang spesifik, misalnya memiliki rasa asam, dapat merusak permukaan logam⁵ juga lantai marmer; **5** zat yang berasa masam dan dapat mengubah lakmus biru menjadi merah, mempunyai $\text{pH} < 7$. Asam adalah zat yang dalam air melepas H^+ ; **6** salah satu kelas senyawa, umumnya tetapi tidak selalu dibedakan oleh rasa asamnya, larut dalam air, dan memerahkan biru atau ungu nabati. Asam mengeluarkan ion hidrogen dalam air dan menghilangkan sifat-sifat khas alkali atau basa. Penggabungan asam dan basa membentuk garam. Keasaman diukur pada skala yang disebut skala pH. Pada skala ini, nilai 7 adalah netral, dan nilai $\text{pH} < 0-7$ menunjukkan peningkatan keasaman; **7** Kim senyawa kimia yang bila dilarutkan dalam air akan menghasilkan larutan dengan $\text{pH} < 7$. Dalam definisi modern, asam adalah suatu zat yang dapat memberi proton (ion H) kepada zat lain, atau dapat menerima pasangan elektron bebas dari suatu basa. Suatu asam bereaksi dengan suatu basa dalam reaksi penetralan untuk membentuk garam. Contoh asam adalah asam asetat dan asam sulfat (digunakan dalam baterai atau aki mobil). Asam umumnya berasa masam, tapi cairan asam pekat sangat berbahaya dapat merusak kulit dan hati-hati mata, jika terpercik asam pekat bisa berakibat kebutaan. Jika kena asam pekat ha-

mereka. Keracunan arsenik pada saat itu tidak dapat dideteksi sehingga kematian sang bapak atau kakek dianggap wajar

⁴ yang sering diwakili dengan rumus umum HA

⁵ juga disebut dengan korosif

rus langsung dicuci dengan air mengalir sampai benar-benar bersih;

-- **arang** gas tidak berbau, merupakan persenyawaan zat asam dan zat arang; -- **belerang**⁶ persenyawaan zat air, belerang, dan zat asam; -- **lemah** asam yang tidak terionisasi secara signifikan dalam larutan. Misalnya jika sebuah asam dilambangkan dengan HA, maka dalam larutan masih terdapat sejumlah besar HA yang belum terdisosiasi/terionisasi. Dalam air, sebuah asam lemah terdisosiasi sebagai berikut: konsentrasi kesetimbangan dari reaktan dan produk dihubungkan melalui persamaan konstanta keasaman, K_a . Semakin besar nilai K_a , maka semakin banyak pembentukan H, sehingga pH larutan semakin kecil. Nilai K_a asam lemah $\pm 1,8 \times 10^{-5}$ dan 55,5. Asam dengan $K_a < 1,8 \times 10^{-5}$, merupakan asam yang lebih lemah daripada air, sehingga bersifat basa. Sedangkan asam dengan $K_a > 55,5$ adalah asam kuat yang hampir terdisosiasi dengan sempurna saat dilarutkan dalam air. Sebagian besar asam adalah asam lemah. Asam-asam organik adalah anggota terbesar dr asam lemah. Asam lemah terdapat di rumah tangga seperti asam asetat dalam cuka dan asam sitrat dalam jeruk; -- **lemak** **1** asam organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen yang dikenal sebagai lemak; **2** asam karboksilik dengan rantai karbon panjang. Asam lemak bervariasi panjang dan jumlah dan lokasi ikatan gandanya; tiga asam lemak berikatan dengan satu molekul gliserol akan membentuk lemak; **3** asam karboksilat yang diperoleh dari hidrolisis suatu lemak atau minyak; **4** asam alkanoat atau asam karboksilat berderajat tinggi (memiliki rantai C > 6); **5** komponen utama dari lemak yang digunakan oleh tubuh untuk energi dan pengembangan jaringan. Asam lemak membentuk bagian dari sebuah molekul lipid dan dapat diturunkan dari lemak dengan hidrolisis; **6** zat gizi yang ditemukan di alam pada lemak atau lipid; **7** suatu senyawa golongan asam karboksilat yang mempunyai rantai alifatik panjang, baik jenuh maupun tak jenuh. Asam lemak alami mempunyai rantai dengan jumlah atom karbon genap dari 4–28. Asam le-

⁶ H₂SO₄

mak merupakan turunan dari trigliserida atau fosfolipid. Asam lemak bebas adalah asam lemak yang tidak terikat pada molekul lain. Asam lemak merupakan sumber bahan bakar makhluk hidup yang sangat penting, karena ketika termetabolisme, asam lemak menghasilkan ATP dengan jumlah yang besar. Beberapa tipe sel dapat menggunakan, baik karbohidrat ataupun asam lemak sebagai bahan bakar; **8** turunan asam karboksilat, terdapat di dalam lemak, minyak tumbuhan, atau binatang; **9** senyawa alifatik dengan gugus karboksil. Bersama-sama dengan gliserol, asam lemak merupakan penyusun utama minyak nabati atau lemak dan merupakan bahan baku untuk semua lipid pada makhluk hidup. Asam ini mudah dijumpai dalam minyak masak (goreng), margarin, atau lemak hewan dan menentukan nilai gizinya. Secara alami, asam lemak bisa berbentuk bebas (sebagai lemak yang terhidrolisis) maupun terikat sebagai gliserida; -- **nitrat**⁷ **1** zat cair tidak berwarna yang jika kena sinar matahari terjadi penguraian (warnanya berubah menjadi kuning hingga merah); **2** cairan asam toksik yang korosif dan tidak berwarna yang digunakan untuk membuat pupuk, pewarna, bahan peledak, dan bahan kimia lainnya; **3** sejenis cairan korosif yang tak berwarna, dan merupakan asam beracun yang dapat menyebabkan luka bakar. Larutan asam nitrat dengan kandungan asam nitrat > 86% disebut sebagai asam nitrat berasap, dan dapat dibagi menjadi dua jenis asam, yaitu asam nitrat berasap putih dan asam nitrat berasap merah; -- **oleat**⁸ **1** asam lemak tak jenuh, bahan pembuatan sabun; **2** asam lemak tak jenuh yang banyak dikandung dalam minyak zaitun. Asam ini tersusun dari 18 atom C dengan satu ikatan rangkap di antara atom C ke-9 dan ke-10. Selain dalam minyak zaitun (55–80%), asam lemak ini juga terkandung dalam minyak bunga matahari kultivar tertentu, minyak raps, serta minyak biji anggur. Asam lemak ini pada suhu ruang berupa cairan kental dengan warna kuning pucat atau kuning kecokelatan. Asam ini memiliki aroma yang khas. Tidak larut dalam air, titik leburnya

⁷ atau asam sendawa; HNO₃

⁸ atau asam Z-Δ⁹-oktadekenoat; CH₃(CH₂)₇CHCH(CH₂)₇COOH

15,3°C dan titik didihnya 360°C. Asam oleat memberikan minyak zaitun karakteristik yang unik dan dalam bidang kuliner minyak zaitun menempati posisi “terhormat” di antara minyak-minyak masak yang lain. Asupan asam oleat berlebih dapat menimbulkan steatosis, sejenis radang pada hati; -- **organik** 1 senyawa kimia dengan satu atau lebih radikal karboksil dalam susunannya; 2 senyawa organik yang mempunyai derajat keasaman. Asam organik yang paling umum adalah asam alkanoat yang memiliki derajat keasaman dengan gugus karboksil, dan asam sulfonat dengan gugus -SO₂OH mempunyai derajat keasaman yang relatif lebih kuat. Stabilitas pada gugus asam sangat penting dan menentukan derajat keasaman sebuah senyawa organik. Pada bidang biologi, terdapat gugus asam dengan derajat keasaman yang rendah, misalnya gugus -OH, -SH, gugus enol, gugus fenol. Senyawa bioorganik dengan gugus semacam ini tidak digolongkan sebagai asam organik. Contoh senyawa tersebut antara lain: asam laktat, asam asetat, asam format, asam sitrat, dan asam oksalat. Asam asetat, asam etanoat, atau asam cuka⁹ adalah senyawa kimia asam organik yang dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Asam asetat merupakan salah satu asam karboksilat paling sederhana, setelah asam format. Larutan asam asetat dalam air merupakan sebuah asam lemah, artinya hanya terdisosiasi sebagian menjadi ion H⁺ dan CH₃COO⁻. Asam asetat merupakan pereaksi kimia dan bahan baku industri yang penting. Asam asetat digunakan dalam produksi polimer, seperti polietilena tereftalat, selulosa asetat, dan polivinil asetat, maupun berbagai macam serat dan kain. Dalam industri makanan, asam asetat digunakan sebagai pengatur keasaman. Di rumah tangga, asam asetat encer sering digunakan sebagai pelunak air. Dalam setahun, kebutuhan dunia akan asam asetat mencapai 6,5 juta ton per tahun, di mana 1,5 juta ton per tahun diperoleh dari hasil daur ulang, sisanya diperoleh dari industri petrokimia mau-

⁹ asam asetat murni (disebut asam asetat glasial) adalah cairan higroskopis tak berwarna, dan memiliki titik beku 16,7°C

pun dari sumber hayati; -- **palmitat**¹⁰ 1 asam lemak jenuh utama dalam produk daging dan susu. Merupakan komponen utama minyak dari pohon kelapa (minyak sawit dan minyak kelapa). Retinil palmitat merupakan antioksidan dan sumber vitamin A yang ditambahkan ke dalam susu rendah lemak; 2 tumbuh-tumbuhan dari famili *Palmaceae*, seperti kelapa (*Cocos nucifera*) dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan sumber utama asam lemak ini. Minyak kelapa bahkan mengandung hampir semuanya palmitat (92%). Minyak sawit mengandung $\pm 50\%$ palmitat. Produk hewani juga banyak mengandung asam lemak ini (dari mentega, keju, susu, dan juga daging). Asam palmitat adalah asam lemak jenuh yang tersusun dari 16 atom karbon. Pada suhu ruang, asam palmitat berwujud padat berwarna putih. Titik leburnya 63,1°C. Asam palmitat adalah produk awal dalam proses biosintesis asam lemak. Dari asam palmitat, pemanjangan atau penggandaan ikatan berlangsung lebih lanjut. Dalam industri, asam palmitat banyak dimanfaatkan dalam bidang kosmetika dan pewarnaan. Dari segi gizi, asam palmitat merupakan sumber kalori penting, namun memiliki daya antioksidasi yang rendah; -- **stearat**¹¹ asam lemak jenuh yang mudah diperoleh dari lemak hewani serta minyak masak. Wujudnya padat pada suhu ruang. Asam stearat diproses dengan memperlakukan lemak hewan dengan air pada suhu dan tekanan tinggi. Asam ini dapat pula diperoleh dari hidrogenasi minyak nabati. Dalam bidang industri asam stearat dipakai sebagai bahan pembuatan lilin, sabun, plastik, kosmetika, dan untuk melunakkan karet. Titik lebur asam stearat 69,6°C dan titik didihnya 361°C. Reduksi asam stearat menghasilkan stearil alkohol; -- **sulfat**¹² merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak

¹⁰ salah satu asam lemak yang paling mudah diperoleh adalah asam palmitat atau asam heksadekanoat; $\text{CH}_3\text{C}_{14}\text{COOH}$

¹¹ berasal dari bahasa Yunani *stear*, yang berarti “lemak padat;” atau asam oktadekanoat dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$

¹² H_2SO_4

kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia¹³. Kegunaan utamanya termasuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah dan pengilangan minyak;

asidifikasi proses pembentukan atau menjadi asam. Asam adalah zat yang melepaskan ion hidrogen dalam air dan membentuk garam ketika bergabung dengan logam tertentu

astrobiologi ilmu multidisiplin untuk memahami asal kehidupan di bumi dan menentukan potensi kehidupan di tempat lain di alam semesta

astrokimia studi tentang unsur kimia yang ditemukan di luar angkasa, umumnya dalam skala yang lebih besar dari tatasurya, terutama di awan molekul, berikut studi mengenai pembentukan, interaksi, serta kehancurannya. Bidang ini merupakan gabungan disiplin ilmu astronomi dan kimia. Dalam skala tatasurya, studi unsur kimia biasanya disebut kosmokimia

B

bakteri 1 suatu kelompok mikroorganisme prokariotik bersel tunggal yang sangat beragam dan terdapat di mana-mana, dapat berkembang biak dengan kecepatan luar biasa dengan jalan membelah diri, ada yang berbahaya ada yang tidak, dapat menyebabkan peragian, pembusukan, dan penyakit; 2 makhluk hidup terkecil bersel tunggal terdapat di mana-mana, dapat berkembang biak dengan kecepatan luar biasa dengan jalan membelah diri, ada yang berbahaya ada yang tidak, dapat menyebabkan peragian, pembusukan, dan penyakit; 3 mikroorganisme bersel tunggal yang dapat hidup secara independen (bebas) atau sebagai parasit¹⁴; 4 mikroorganisme bersel satu, prokariot, dan umumnya tidak berklorofil dan dapat berkembang biak secara cepat dengan cara membelah diri; 5 ke-

¹³ produksi dunia asam sulfat pada tahun 2001 adalah 165 juta ton, dengan nilai perdagangan seharga US\$8 juta

¹⁴ tergantung pada organisme lain untuk hidup. Bakteri parasit dapat menyebabkan penyakit seperti difteri, pertusis, dan tetanus, *Haemophilus influenzae*, dan pneumokokus. Bakteri diklasifikasikan menurut bentuk dan ditetapkan sebagai Gram positif atau Gram negatif

lompok organisme yang tidak memiliki membran inti sel. Organisme ini termasuk ke dalam domain prokariota dan berukuran sangat kecil (mikroskopik), serta memiliki peran besar dalam kehidupan di bumi. Beberapa kelompok bakteri dikenal sebagai agen penyebab infeksi dan penyakit, sedangkan kelompok lainnya dapat memberikan manfaat di bidang pangan, pengobatan, dan industri. Struktur sel bakteri relatif sederhana: tanpa nukleus/inti sel, kerangka sel, dan organel-organel lain seperti mitokondria dan kloroplas. Hal inilah yang menjadi dasar perbedaan antara sel prokariot dengan sel eukariot yang lebih kompleks. Bakteri dapat ditemukan di hampir semua tempat: di tanah, air, udara, dalam simbiosis dengan organisme lain maupun sebagai agen parasit, bahkan dalam tubuh manusia. Pada umumnya, bakteri berukuran 0,5–5 µm, tetapi ada bakteri tertentu yang dapat berdiameter hingga 700 µm, yaitu *Thiomargarita*. Bakteri umumnya memiliki dinding sel, seperti sel tumbuhan dan jamur, tetapi dengan bahan pembentuk sangat berbeda. Beberapa jenis bakteri bersifat motil (mampu bergerak) dan mobilitasnya ini disebabkan oleh flagel; 6 makhluk seluler terkecil, unit seluler, prokariot, paling banyak terdapat di alam. Berdinding sel seperti tumbuhan, namun bukan dari selulosa, tetapi glikoprotein. Kromosom satu dan tunggal (monoploid), bentuk cincin, telanjang karena tidak ada selaput inti;

-- **aerob** bakteri yang membutuhkan oksigen dalam aksi penguraiannya; -- **koliform** golongan mikroorganisme yang lazim digunakan sebagai indikator, di mana bakteri ini dapat menjadi sinyal untuk menentukan suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak. Berdasarkan penelitian, bakteri koliform ini menghasilkan zat etionin yang dapat menyebabkan kanker. Selain itu, bakteri pembusuk ini juga memproduksi bermacam-macam racun, seperti indol dan skatol yang dapat menimbulkan penyakit bila jumlahnya berlebih di dalam tubuh. Bakteri koliform dapat digunakan sebagai indikator karena densitasnya berbanding lurus dengan tingkat pencemaran air. Bakteri ini dapat mendeteksi patogen pada air, seperti virus, protozoa, dan parasit. Selain itu, bakteri ini

juga memiliki daya tahan yang lebih tinggi daripada patogen serta lebih mudah diisolasi dan ditumbuhkan

bakteriologi 1 ilmu tentang berbagai segi yang menyangkut bakteri; 2 ilmu yang mempelajari kehidupan dan klasifikasi bakteri. Bakteriologi dapat dikatakan juga sebagai biologi bakteri. Di dalamnya dipelajari struktur anatomi sel bakteri, klasifikasi, cara kerja sel bakteri, interaksi antarsel bakteri, dan juga tanggapan bakteri terhadap perubahan pada lingkungan hidupnya. Bakteriologi merupakan satu bagian penting dalam mikrobiologi. Bakteri memiliki nilai ekonomi penting dalam kehidupan manusia dan demikian pula bakteriologi. Pengetahuan dalam cabang ilmu ini bermanfaat dalam pengobatan, higiene, ilmu pangan dan gizi, pertanian, dan industri (terutama industri fermentasi)

bentos 1 suatu istilah kolektif bagi organisme yang hidup di sepanjang lautan dan danau; 2 sebuah organisme yang tinggal di dalam, atau di dasar laut, dikenal sebagai zona bentik. Bentos tinggal di dekat laut atau endapan lingkungan, dari pasang-surut di sepanjang tepi kolam, dan kemudian ke bawah abisal pada kedalaman. Karena cahaya tidak menembus ke dalam laut, sumber energi yang mendalam untuk ekosistem bentik memiliki organik yang lebih tinggi daripada air bawah kolom yang masuk ke kedalaman

biogeokimia mencakup penelitian keilmuan mengenai proses dan reaksi kimia, fisika, geologi, dan biologi yang membentuk komposisi lingkungan alam (termasuk biosfer, hidrosfer, pedosfer, atmosfer, dan litosfer), serta siklus zat dan energi yang membawa komponen kimiawi bumi dalam ruang dan waktu. Biogeokimia adalah ilmu sistem

D

daya kemampuan; kekuatan;

-- **dukung** kemampuan lingkungan untuk dapat memenuhi kebutuhan sejumlah makhluk hidup agar dapat tumbuh dan berkembang secara wajar di dalamnya; -- **lenting** kemampuan lingkungan untuk pulih kembali pada keadaan setimbang; -- **tampung**

kemampuan menerima penghuni dan sebagainya atau kemampuan ditempati

E

elektrolisis¹⁵ 1 proses penguraian senyawa berbentuk larutan lelehan atau cairan biasa oleh arus listrik yang mengalir melalui senyawa tersebut; 2 proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektrode dan larutan elektrolit. Elektrode yang digunakan dalam proses elektrolisis dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: elektrode inert, seperti kalsium (Ca), potasium, grafit (C), platina (Pt), dan emas (Au); dan elektrode aktif, seperti seng (Zn), tembaga (Cu), dan perak (Ag). Elektrolitnya dapat berupa larutan asam, basa, atau garam, dapat pula leburan garam halida atau leburan oksida. Kombinasi antara larutan elektrolit dan elektrode menghasilkan tiga kategori penting elektrolisis, yaitu: elektrolisis larutan dengan elektrode inert, elektrolisis larutan dengan elektrode aktif, dan elektrolisis leburan dengan elektrode inert. Pada elektrolisis, katode merupakan kutub negatif dan anode merupakan kutub positif. Pada katode akan terjadi reaksi reduksi dan pada anode terjadi reaksi oksidasi; 3 suatu perubahan kimia yang dihasilkan oleh muatan yang melalui suatu zat cair yang bersifat konduktor (elektrolit). Arus dihantarkan oleh perpindahan muatan – positif (kation) ke katode (elektrode negatif) dan ion negatif (anion) ke anode (elektrode positif). Reaksi terjadi pada elektrode dengan perpindahan elektron dari atau ke elektrode tersebut;

-- **air** penguraian molekul air menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirkan arus listrik

endrin¹⁶ 1 cairan yang biasa dipakai sebagai racun pembunuh tikus; 2 hablur putih berbentuk serbuk tidak melarut di dalam air

enzim¹⁷ 1 suatu katalis yang berperan pada reaksi-reaksi kimia yang berlangsung di dalam tubuh organisme hidup, dan berupa protein;

¹⁵ ditemukan oleh Sir Humphry Davy (1778–1829)

¹⁶ C₁₂H₈OCl₆

2 molekul protein yang kompleks yang dihasilkan oleh sel hidup dan bekerja sebagai katalisator proses kimia di dalam tubuh makhluk hidup; 3 suatu kelas protein yang berfungsi sebagai katalis, agen kimiawi yang mengubah laju suatu reaksi tanpa dikonsumsi oleh reaksi itu; 4 suatu katalis organik yang dihasilkan oleh suatu organisme; 5 protein yang mengkatalisasi suatu reaksi dalam suatu cara yang sangat spesifik; 6 protein yang mengatalisasi reaksi biokimia; 7 satu atau beberapa gugus polipeptida (protein) yang berfungsi sebagai katalis; 8 senyawa organik yang tersusun atas protein, dihasilkan oleh sel, dan berperan sebagai biokatalisator dalam reaksi kimia. Enzim adalah biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma, yang terdiri atas protein atau suatu senyawa yang berikatan dengan protein, berfungsi sebagai senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi dalam suatu reaksi kimia. Hampir semua enzim merupakan protein; 9 molekul yang sebagian besar berupa protein yang berfungsi sebagai katalis biologis; 10 biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis¹⁸ dalam suatu reaksi kimia organik. Molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk. Jenis produk yang akan dihasilkan bergantung pada suatu kondisi/zat, yang disebut promoter. Se-

¹⁷ atau fermentasi (dalam bahasa Yunani, *en* = di dalam dan *zyme* = ragi). Dari aspek ekonomi, enzim merupakan produk yang mempunyai nilai ekonomis tinggi karena sangat diperlukan untuk menunjang berbagai proses industri pangan maupun non-pangan. Enzim telah dipergunakan dalam industri, seperti gula cair, beer, keju, roti, tekstil, dan deterjen. Selain itu, enzim memiliki tiga karakteristik utama. Pertama, meningkatkan laju reaksi seluler. Berkat enzim, kebanyakan reaksi seluler berlangsung satu juta kali lebih cepat daripada tanpa kehadiran enzim. Kedua, enzim bekerja secara khusus hanya dengan reaktan tertentu (disebut substrat) untuk menghasilkan produk. Enzim mengikat untuk sementara satu atau lebih reaktan untuk menurunkan jumlah energi aktivasi yang diperlukan sehingga mempercepat reaksi. Karakteristik ketiga dan yang paling luar biasa adalah enzim diatur dari keadaan aktivitas rendah ke aktivitas tinggi dan sebaliknya. Sebuah sistem hidup mengontrol aktivitasnya melalui enzim. Ada sekitar 3.000 enzim yang secara genetik diprogram untuk memelihara kelangsungan hidup. Jika satu enzim saja hilang atau rusak, dampaknya bisa terjadi bencana

¹⁸ senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi

mua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cukup cepat dalam suatu arah lintasan metabolisme yang ditentukan oleh hormon sebagai promotor. Enzim bekerja dengan cara bereaksi dengan molekul substrat untuk menghasilkan senyawa intermediat melalui suatu reaksi kimia organik yang membutuhkan energi aktivasi lebih rendah, sehingga percepatan reaksi kimia terjadi karena reaksi kimia dengan energi aktivasi lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama. Sebagai contoh: $X + C \rightarrow XC$ (1) $Y + XC \rightarrow XYZ$ (2) $XYZ \rightarrow CZ$ (3) $CZ \rightarrow C + Z$ (4). Meskipun senyawa katalis dapat berubah pada reaksi awal, pada reaksi akhir molekul katalis akan kembali ke bentuk semula. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa. Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama adalah substrat, suhu, keasaman, kofaktor, dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim; **11** protein yang aktif bertindak sebagai biokatalisator dalam tubuh makhluk, baik ekstraseluler (enzim kelenjar saluran cerna) maupun intraseluler (enzim lisosom);

*Escherichia*¹⁹ genus dari Gram negatif, non-spora, anaerob fakultatif, bakteri berbentuk batang dari famili *Enterobacteriaceae*. Dalam spesies yang merupakan penghuni dari saluran pencernaan hewan ber-

¹⁹ genus ini dinamai oleh Theodor Escherich, penemu *Escherichia coli*

darah panas, spesies *Escherichia* memberikan A bagian dari mikroba yang berasal vitamin K untuk *host*-nya. Sejumlah spesies *Escherichia* bersifat patogen;

-- *coli*²⁰ bakteri Gram negatif, anaerob fakultatif, bakteri berbentuk batang dari genus *Escherichia* yang umum ditemukan pada usus yang lebih rendah dari organisme berdarah panas (endotermik). Kebanyakan strain *Escherichia coli* tidak berbahaya, tetapi beberapa serotipe dapat menyebabkan keracunan makanan yang serius dalam *host*-nya, dan kadang-kadang bertanggung jawab untuk penarikan kembali produk karena kontaminasi makanan. Strain berbahaya adalah bagian dari flora usus, dan bisa mendapatkan keuntungan 'tuan rumahnya' dengan memproduksi vitamin K₂, dan mencegah kolonisasi usus dengan bakteri patogen. *Escherichia coli* dan anaerob fakultatif lainnya merupakan $\pm 0,1\%$ dari flora usus, dan transmisi fecal-oral adalah rute utama melalui mana strain patogen bakteri penyebab penyakit. Sel mampu bertahan hidup di luar tubuh untuk waktu terbatas, yang membuat organisme sebagai indikator untuk menguji sampel lingkungan untuk potensi kontaminasi tinja. Sebuah penelitian terhadap pertumbuhan badan, telah diperiksa persisten lingkungan *Escherichia coli* yang dapat bertahan untuk waktu yang lama. Bakteri dapat tumbuh dan dibudidayakan dengan mudah dan murah dalam pengaturan laboratorium, dan telah diteliti secara intensif selama > 60 tahun. *Escherichia coli* adalah model organisme prokariotik yang paling banyak dipelajari, dan spesies penting di bidang bioteknologi dan mikrobiologi, di mana bakteri ini sebagai organisme 'tuan rumah' untuk sebagian besar

²⁰ di mana pada tahun 1885, dokter anak di Jerman-Austria, Theodor Escherich menemukan organisme ini dalam tinja orang sehat dan menyebutnya bakteri coli komune, karena ditemukan dalam usus besar dan klasifikasi awal prokariota ditempatkan dalam beberapa genera berdasarkan bentuk dan motilitasnya. Bakteri coli adalah spesies jenis dari genus bakteri sekarang tidak valid ketika terungkap, bahwa mantan spesies jenis ("Bakteri triloculare") yang hilang. Setelah revisi, bakteri ini direklasifikasi sebagai *Bacillus coli* oleh Migula pada tahun 1895 dan kemudian direklasifikasi dalam genus *Escherichia*, yang dinamai sesuai penemu aslinya

pekerjaan dengan DNA rekombinan. Di bawah kondisi yang menguntungkan, dibutuhkan hanya 20 menit untuk bereproduksi

eutrofikasi 1 pengayaan alami suatu habitat air, misalnya danau oleh senyawa anorganik, khususnya yang mengandung nitrogen dan fosfor, sehingga tanaman air, mikroalga tumbuh secara pesat dan bergejolak; 2 proses pengayaan badan air dengan nutrisi

F

fenol²¹ 1 senyawa kristal beracun yang terdapat di dalam hasil pembakaran arang atau kayu; 2 suatu senyawa yang bersifat mikrobisidal atau mikrobistatik, bergantung pada konsentrasi dan suhu; 3 zat kristal tak berwarna yang memiliki bau khas dan strukturnya memiliki gugus hidroksil yang berikatan dengan cincin fenil

flotasi suatu cara untuk memisahkan campuran zat padat dengan air berdasarkan perbedaan daya pembasahan. Partikel dengan pembasahan lebih besar akan tenggelam (mengendap), sedangkan yang daya pembasahannya kecil akan mengapung sebagai busa. Agar mengendap dengan baik, ukuran partikel itu harus besar. Sebaliknya agar mengapung dengan baik, partikel harus kecil, tetapi karena zat-zat padat ini sama-sama ditumbuk dalam suatu campuran, harus ditentukan perbandingan susunan yang terbaik. Sumber lain menjelaskan, bahwa flotasi adalah suatu proses di mana zat padat, zat cair, atau zat terlarut dibawa ke permukaan larutan dengan memanfaatkan gelembung udara. Zat yang diflotasi menempel pada permukaan gelembung udara, sehingga terangkat ke permukaan larutan yang untuk selanjutnya dapat dipisahkan dari larutan. Proses flotasi dengan memasukkan udara ke dalam air akan membentuk partikel-partikel terlarut di dalam air berkumpul membentuk flok-flok, sehingga menyebabkan ukuran partikel-partikel tersebut menjadi lebih besar dan mudah terangkat oleh gelembung-gelembung udara. Terjadinya flotasi merupakan hasil interaksi antara gelembung-gelembung udara dengan suatu fasa terdispersi, di mana kecepatan gaya dorong ke atas sangat tergantung

²¹ atau asam karbolat atau benzenol; C₆H₅OH

pada gaya gravitasi dan disperse. Flotasi juga dipengaruhi oleh konsentrasi permukaan dari fasa terdispersi dan pemakaian bahan kimia sebagai penurun tegangan antara fasa terdispersi terhadap media air. Proses flotasi membutuhkan beberapa bahan: antara lain pembuatan busa, zat pembasah, minyak hidrokarbon untuk melindungi lapisan-lapisan, pengatur pH, pengaktif (aktivator), dan deakticator (agar bahan yang satu benar-benar dibasahi, dan bahan yang lain benar-benar tidak dibasahi)

formaldehida²² merupakan aldehida yang berbentuknya gas atau cair yang dikenal sebagai formalin, atau padatan yang dikenal sebagai parafor-maldehyde atau trioxane. Pada umumnya, formaldehida terbentuk akibat reaksi oksidasi katalitik pada metanol. Oleh sebab itu, formaldehida bisa dihasilkan dari pembakaran bahan yang mengandung karbon dan terkandung dalam asap pada kebakaran hutan, knalpot mobil, dan asap tembakau. Dalam atmosfer bumi, formaldehida dihasilkan dari aksi cahaya matahari dan oksigen terhadap metana dan hidrokarbon lain yang ada di atmosfer. Formaldehida dalam kadar kecil sekali juga dihasilkan sebagai metabolit kebanyakan organisme, termasuk manusia

fosfat 1 bahan asam fosfor yang dipakai untuk pupuk; 2 mineral senyawaan antara fosfor, oksigen, dan unsur lainnya

fosfor²³ 1 fosforus; 2 sebuah mineral yang ditemukan dalam banyak makanan termasuk produk susu dan daging. Fosfor penting untuk tulang dan gigi yang kuat, serta untuk fungsi saraf yang tepat. Fosfor merupakan bagian dari kerangka struktural molekul biologis seperti DNA dan RNA. Sel-sel hidup juga menggunakan fosfor untuk transportasi seluler; 3 zat, organik ataupun anorganik, cair atau kristal yang mampu berpendar; 4 zat yang dapat berpendar karena

²² juga disebut metanal atau formalin; H_2CO . Formaldehida awalnya disintesis oleh kimiawan Rusia Aleksandr Butlerov tahun 1859, tapi diidentifikasi oleh Hoffman tahun 1867

²³ unsur pertama yang ditemukan dengan cara kimia. Dipersiapkan dari air kencing. Ditemukan oleh H. Brand pada tahun 1669. Biasanya ditemukan di alam bersenyawa dengan oksigen, sebagai fosfat. Kebanyakan fosfat dalam tubuh manusia terdapat di tulang, tapi fosfat yang mengandung molekul (fosfo-lipid) juga merupakan komponen dari membran sel dan kolesterol

mengalami fosforesens (pendaran yang terjadi walaupun sumber pengekstiasinya telah disingkirkan). Fosfor, berupa berbagai jenis senyawa logam transisi atau senyawa tanah langka seperti zink sulfida²⁴ yang ditambah tembaga atau perak, dan zink silikat²⁵ yang dicampur dengan mangan. Kegunaan fosfor yang paling umum ialah pada ragaan tabung sinar katode dan lampu pendar, sementara fosfor dapat ditemukan pula pada berbagai jenis mainan yang dapat berpendar dalam gelap (*glow in the dark*). Fosfor pada tabung sinar katode mulai dibakukan pada sekitar Perang Dunia II dan diberi lambang huruf “P” yang diikuti dengan sebuah angka. Unsur kimia fosforus dapat mengeluarkan cahaya dalam keadaan tertentu, tetapi fenomena ini bukan fosforesens, melainkan kemiluminesens **fosforus**²⁶ 1 unsur dengan nomor atom 15, berlambang P, bobot atom 30,9738, berbentuk mirip logam, warnanya kuning dan mudah terbakar; 2 unsur yang sangat penting bagi kehidupan, dapat menimbulkan eutrofikasi di danau, sungai, dan perairan lainnya; 3 berupa non-logam, bervalensi banyak, termasuk golongan nitrogen, banyak ditemui dalam batuan fosfat anorganik dan dalam semua sel hidup, tetapi tidak pernah ditemui dalam bentuk unsur bebasnya. Fosforus amatlah reaktif, memancarkan pendar cahaya yang lemah ketika bergabung dengan oksigen, ditemukan dalam berbagai bentuk, dan merupakan unsur penting dalam makhluk hidup. Kegunaan fosforus yang terpenting adalah dalam pembuatan pupuk, dan secara luas digunakan dalam bahan peledak, korek api, kembang api, pestisida, odol, dan deterjen

²⁴ ZnS

²⁵ Zn₂SiO₄

²⁶ ditemukan oleh Hannig Brand pada tahun 1669 di Hamburg, Jerman. Dia menemukan unsur ini dengan cara ‘menyuling’ air urin melalui proses penguapan dan setelah dia menguapkan 50 ember air urin, dia baru menemukan unsur yang dia inginkan. Namanya berasal dari bahasa Yunani, yaitu *Phosphoros*, Φωσφόρος (tetapi *phosphorus* di bahasa Latin) yang berarti ‘pembawa terang’ karena keunikannya, yakni bercahaya dalam gelap (*glow-in-the dark*), dan kini hasil temuan itu telah sangat berkembang dan sangat berguna bagi umat manusia

fotosintesis²⁷ 1 pemanfaatan energi cahaya matahari (cahaya matahari buatan) oleh tumbuhan berhijau daun atau bakteri untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi karbohidrat; 2 pengubahan energi cahaya menjadi energi kimiawi yang disimpan dalam glukosa atau senyawa organik lainnya; terjadi pada tumbuhan, alga, dan prokariotik tertentu; 3 proses di mana tanaman hijau, alga, dan beberapa bakteri menyerap energi cahaya dan menggunakannya untuk mensintesis senyawa organik (awalnya karbohidrat); 4 suatu proses biokimia pembentukan zat makanan karbohidrat yang dilakukan oleh tumbuhan, terutama tumbuhan yang mengandung zat hijau daun atau klorofil. Selain tumbuhan berklorofil, makhluk hidup non-klorofil lain yang berfotosintesis adalah alga dan beberapa jenis bakteri. Organisme ini berfotosintesis dengan menggunakan zat hara, karbon dioksida, dan air serta bantuan energi cahaya matahari. Organisme fotosintesis disebut fotoautotrof karena dapat membuat makanannya sendiri. Pada tanaman, alga, dan cyanobacteria, fotosintesis dilakukan dengan memanfaatkan karbon dioksida dan air serta menghasilkan produk buangan oksigen. Fotosintesis sangat penting bagi semua kehidupan aerobik di bumi karena selain untuk menjaga tingkat normal oksigen di atmosfer, fotosintesis juga merupakan sumber energi bagi hampir semua kehidupan di bumi, baik secara langsung maupun tidak langsung (sebagai sumber utama energi dalam makanan mereka), kecuali pada organisme kemoautotrof yang hidup di bebatuan atau di lubang angin hidrotermal di laut yang dalam. Tingkat penyerapan energi oleh fotosintesis sangat tinggi, yaitu ± 100 terawatentang, atau ± 6 kali lebih besar daripada konsumsi energi peradaban manusia. Selain energi, fotosintesis juga menjadi sumber karbon bagi semua senyawa organik dalam tubuh organisme. Fotosintesis mengubah ± 100 –115 petagram karbon menjadi biomassa setiap tahunnya. Meskipun fotosintesis dapat berlangsung dalam berbagai cara pada berbagai spesies, beberapa cirinya selalu sama. Misalnya

²⁷ dari bahasa Yunani *φῶτο-*, “cahaya,” dan *σύνθεσις*, “menggabungkan, penggabungan”

prosesnya selalu dimulai dengan energi cahaya diserap oleh protein berklorofil yang disebut pusat reaksi fotosintesis. Pada tumbuhan, protein ini tersimpan di dalam organel yang disebut kloroplas, sedangkan pada bakteri, protein ini tersimpan pada membran plasma. Sebagian dari energi cahaya yang dikumpulkan oleh klorofil disimpan dalam bentuk ATP. Sisa energinya digunakan untuk memisahkan elektron dari zat seperti air. Elektron ini digunakan dalam reaksi yang mengubah karbondioksida menjadi senyawa organik. Pada tumbuhan, alga, dan cyanobacteria, ini dilakukan dalam suatu rangkaian reaksi yang disebut siklus Calvin, namun rangkaian reaksi yang berbeda ditemukan pada beberapa bakteri, misalnya siklus Krebs terbalik pada chlorobium. Banyak organisme fotosintesis memiliki adaptasi yang mengonsentrasikan atau menyimpan karbon dioksida. Ini membantu mengurangi proses boros yang disebut fotorespirasi yang dapat menghabiskan sebagian dari gula yang dihasilkan selama fotosintesis. Organisme fotosintesis pertama kemungkinan berevolusi ± 3.500 juta tahun silam, pada masa awal sejarah evolusi kehidupan ketika semua bentuk kehidupan di bumi merupakan mikroorganisme dan atmosfer memiliki sejumlah besar karbon dioksida. Makhluk hidup ketika itu sangat mungkin memanfaatkan hidrogen atau hidrogen sulfida--bukan air--sebagai sumber elektron. Cyanobacteria muncul kemudian, ± 3.000 juta tahun silam, dan secara drastis mengubah bumi ketika mereka mulai mengoksigenkan atmosfer pada ± 2.400 juta tahun silam. Atmosfer baru ini memungkinkan evolusi kehidupan kompleks seperti protista. Pada akhirnya, tidak < 1 miliar tahun silam, salah satu protista membentuk hubungan simbiosis dengan satu cyanobacteria dan menghasilkan nenek moyang dari seluruh tumbuhan dan alga. Kloroplas pada tumbuhan modern merupakan keturunan dari cyanobacteria yang bersimbiosis ini

G

genomika 1 ilmu yang mempelajari tentang bahan genetik dari suatu organisme atau virus; 2 cabang biologi yang mempelajari genom dari suatu organisme atau virus. Genomika dapat dikatakan

sebagai cabang genetika apabila dilihat secara historik, meskipun dalam genomika digunakan banyak metode yang berasal dari cabang biologi lain, seperti bioinformatika dan biologi molekuler. Genomika tidak mungkin berdiri sebagai cabang ilmu tanpa bantuan bioinformatika karena objek kajiannya sangat besar (urutan basa nitrogen) dan memerlukan manajemen data yang rumit. Termasuk yang dikaji adalah struktur, organisasi, serta fungsinya. Objek kajiannya adalah DNA secara keseluruhan maupun sebagian. RNA sebagai bahan genetik atau DNA yang dibuat berdasarkan RNA juga menjadi objek kajian genomika

glukosa²⁸ 1 zat gula sederhana yang banyak terdapat di dalam tumbuhan dan hewan; 2 substat utama yang dioksidasi oleh semua bakteri enterik untuk produksi energi; 3 suatu karbohidrat yang digolongkan sebagai monosakarida dan heksosa, digunakan sebagai sumber energi oleh banyak mikroorganisme; 4 suatu gula monosakarida, salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga bagi hewan dan tumbuhan dan merupakan salah satu hasil utama fotosintesis; 5 gula sederhana (monosakarida) yang berfungsi sebagai sumber utama energi di dalam tubuh. Glukosa adalah gula utama yang dibuat tubuh. Tubuh membuat glukosa dari protein, lemak dan, terutama karbohidrat. Glukosa diangkut ke setiap sel melalui aliran darah. Namun, sel-sel itu tidak dapat menggunakan glukosa tanpa bantuan insulin; 6 salah satu monosakarida sederhana²⁹. Glukosa merupakan suatu aldoheksosa yang mempunyai sifat dapat memutar cahaya terpolarisasi ke arah kanan. Dalam biologi, glukosa memegang peranan yang sangat penting, antara lain sebagai sumber energi dan intermediet metabolisme. Glukosa merupakan salah satu produk fotosintesis dan merupakan bahan bakar respirasi seluler; 7 salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga bagi hewan dan

²⁸ juga dikenal dengan dekstrosa atau gula anggur; diambil dari bahasa Yunani, yaitu glukus (γλυκύς) yang berarti manis, karena memang nyata bahwa glukosa mempunyai rasa manis. Nama lain dari glukosa antara lain dekstrosa, D-glukosa, atau gula buah karena glukosa banyak terdapat pada buah-buahan; suatu gula monosakarida

²⁹ yang mempunyai rumus molekul $C_6H_{12}O_6$

tumbuhan. Glukosa merupakan salah satu hasil utama fotosintesis dan awal bagi respirasi. Bentuk alami (-glukosa) juga disebut dekstroza, terutama pada industri pangan. Glukosa adalah heksosa—monosakarida yang mengandung enam atom karbon. Glukosa merupakan aldehida³⁰. Lima karbon dan satu oksigennya membentuk cincin³¹. Dalam cincin ini, tiap karbon terikat pada gugus samping hidroksil dan hidrogen kecuali atom kelimanya, yang terikat pada atom karbon keenam di luar cincin. Struktur cincin ini berada dalam kesetimbangan dengan bentuk yang lebih reaktif, yang proporsinya 0,0026% pada pH 7. Glukosa merupakan sumber tenaga yang terdapat di mana-mana dalam biologi³². Glukosa dapat dibentuk dari formaldehida pada keadaan abiotik, sehingga akan mudah tersedia bagi sistem biokimia primitif. Hal yang lebih penting bagi organisme tingkat atas adalah kecenderungan glukosa, dibandingkan dengan gula heksosa lainnya, yang tidak mudah bereaksi secara non-spesifik dengan gugus amino suatu protein. Reaksi ini mereduksi atau bahkan merusak fungsi berbagai enzim. Rendahnya laju glikosilasi ini dikarenakan glukosa yang kebanyakan berada dalam isomer siklik yang kurang reaktif. Meski begitu, komplikasi akut seperti diabetes, kebutaan, gagal ginjal, dan kerusakan saraf perifer (‘‘peripheral neuropathy’’), kemungkinan disebabkan oleh glikosilasi protein. Dalam respirasi, melalui serangkaian reaksi terkatalisis enzim, glukosa teroksidasi hingga akhirnya membentuk karbon dioksida dan air, menghasilkan energi, terutama dalam bentuk ATP. Sebelum digunakan, glukosa dipecah dari polisakarida. Glukosa dan fruktosa diikat secara kimiawi menjadi sukrosa. Pati, selulosa, dan glikogen merupakan polimer glukosa umum polisakarida. Dekstroza terbentuk akibat larutan D-glukosa berotasi terpolarisasi cahaya ke kanan. Dalam kasus yang sama D-fruktosa disebut ‘‘levulosa,’’ karena larutan levulosa berotasi terpolarisasi cahaya ke kiri

³⁰ mengandung gugus -CHO

³¹ yang disebut ‘‘cincin piranosa,’’ bentuk paling stabil untuk aldosa berkarbon enam

³² sehingga dapat diduga alasan mengapa glukosa, dan bukan monosakarida lain seperti fruktosa, begitu banyak digunakan

H

hepatitis radang hati

hidrogen³³ **1** gas tidak berwarna, tidak berbau, tidak ada rasanya, menyesakkan, tetapi tidak bersifat racun, unsur dengan nomor atom 1, berlambang H, dan bobot atom 1,0080; **2** pada suhu dan tekanan standar, tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervaleksi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan $\pm 75\%$ dari total massa unsur alam semesta. Kebanyakan bintang dibentuk oleh hidrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal daripada produksi hidrogen dari gas alam. Isotop hidrogen yang paling banyak dijumpai di alam adalah protium, yang inti atomnya hanya mempunyai proton tunggal dan tanpa neutron. Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif ataupun negatif. Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur dan dapat dijumpai dalam air dan senyawa-senyawa organik. Hidrogen sangat penting dalam reaksi asam basa yang mana banyak reaksi ini melibatkan pertukaran proton antarmolekul terlarut. Oleh karena hidrogen merupakan satu-satunya atom netral yang persamaan Schrödingernya dapat diselesaikan secara analitik, kajian pada energetika dan ikatan atom hidrogen memainkan peran yang sangat penting dalam perkembangan mekanika kuantum;

-- **peroksida**³⁴ **1** zat cair tidak berwarna, yang larut dalam air dan alkohol, dipakai sebagai antiseptik dan pemutih; **2** merupakan substansi yang bersifat toksik bagi sel dan mikroorganisme yang memiliki katalase, yang mampu menguraikannya menjadi air dan

³³ pertama kali dihasilkan oleh Paracelsus (1500s) bersama Robert Boyle dan Joseph Priestley dengan mereaksikan asam kuat dan logam. Baru pada tahun 1766 Henry Cavendish menelitinya

³⁴ H₂O₂. Senyawa ini ditemukan oleh Louis Jacques Thenard pada tahun 1818

oksigen bebas; **3** produk limbah beracun dari hasil metabolisme. Senyawa ini harus segera diubah menjadi bahan kimia lain yang kurang berbahaya. Enzim katalase seringkali digunakan untuk mengkatalisis proses dekomposisi hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air; **4** cairan bening, agak lebih kental daripada air, yang merupakan oksidator kuat. Sebagai bahan kimia anorganik dalam bidang industri, teknologi yang digunakan untuk hidrogen peroksida adalah autooksidasi anthraquinone. Dengan ciri khasnya yang berbau khas keasaman dan mudah larut dalam air, dalam kondisi normal (ambient) kondisinya sangat stabil dengan laju dekomposisi < 1% per tahun. Salah satu keunggulan hidrogen peroksida dibandingkan dengan oksidator yang lain, adalah sifatnya yang ramah lingkungan karena tidak meninggalkan residu yang berbahaya. Kekuatan oksidatornya pun dapat diatur sesuai dengan kebutuhan; **5** agen oksidasi, merupakan antiseptik kuat namun tidak mengiritasi jaringan hidup. Senyawa ini dapat diaplikasikan sebagai antiseptik pada membran mukosa. Kelemahan dr zat ini adalah harus selalu dijaga kondisinya, karena zat ini mudah mengalami kerusakan ketika kehilangan oksigen; -- **sulfida**³⁵ **1** persenyawaan hidrogen dan belerang, terutama monosulfidanya, merupakan gas yang tak berwarna, mudah terbakar dan beracun, dan berbau tidak enak (seperti telur busuk); **2** gas ini dapat timbul dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam

hujan titik-titik air yang berjatuhan dari udara karena proses pendinginan;

-- **asam**³⁶ **1** sebagai segala macam hujan dengan pH di bawah 5,6. Hujan secara alami bersifat asam (pH sedikit < 6) karena kar-

³⁵ dengan rumus H₂S. Juga dikenal dengan nama sulfana, sulfur hidrida, gas asam (sour gas), *sulfurated hydrogen*, asam hidrosulfurik, dan gas limbah (sewer gas). IUPAC menerima penamaan “hidrogen sulfida” dan “sulfana”

³⁶ di mana dalam tahun-tahun terakhir, banyak pemerintahan yang telah membuat berbagai peraturan untuk mengurangi emisi-emisi tersebut

bon dioksida di udara yang larut dengan air hujan memiliki bentuk sebagai asam lemah. Jenis asam dalam hujan ini sangat bermanfaat karena membantu melarutkan mineral dalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan binatang. Hujan asam disebabkan oleh belerang (sulfur) yang merupakan pengotor dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen oksida. Zat-zat ini berdifusi ke atmosfer dan bereaksi dengan air untuk membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang mudah larut sehingga jatuh bersama air hujan. Air hujan yang asam tersebut akan meningkatkan kadar keasaman tanah dan air permukaan yang terbukti berbahaya bagi kehidupan ikan dan tanaman³⁷; **2** hujan atau bentuk lain dari presipitasi yang umumnya bersifat asam. Fenomena ini memiliki efek buruk terhadap tumbuhan, hewan air, dan infrastruktur. Hujan asam umumnya disebabkan oleh emisi senyawa belerang dan nitrogen yang bereaksi di atmosfer membentuk asam

I

ikat **1** ebat; **2** cengkam, pegang; **3** berkas; gabung;

ikatan lambang untuk menyatakan jumlah serta ikatan valensi atom dalam rumus struktur;

~ **hidrogen** **1** interaksi tarik/lemah antara atom elektronegatif (seperti O atau N) dalam satu gugus dan yang atom hidrogen yang secara kovalen terikat pada atom elektronegatif dalam gugus lain; **2** suatu tipe ikatan molekuler yang dihubungkan oleh sebuah atom hidrogen; ikatan-ikatan hidrogen menghubungkan basa yang berhadapan di dalam struktur DNA berantai ganda; **3** suatu jenis ikatan kimiawi lemah yang dibentuk ketika atom hidrogen yang sedikit positif dari sebuah ikatan kovalen polar pada suatu molekul tertarik ke atom yang lebih negatif dari ikatan kovalen polar pada molekul lain; **4** suatu ikatan yang sifat ikatannya lemah, tetapi banyak ditemukan pada ikatan antara polipeptida dengan polipeptida. Yang membentuk ikatan hidrogen ialah antara residu glutamat,

³⁷ usaha untuk mengatasi hal ini saat ini sedang gencar dilaksanakan

asam apatat, tirosin, histidin, serin, dan treonin; **5** ikatan yang terjadi akibat gaya tarik antarmolekul antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan dengan H sebagai atom bermuatan parsial positif; **6** sejenis gaya tarik antarmolekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Walaupun lebih kuat dari kebanyakan gaya antarmolekul, ikatan hidrogen jauh lebih lemah dari ikatan kovalen dan ikatan ion. Dalam makromolekul seperti protein dan asam nukleat, ikatan ini dapat terjadi antara dua bagian dari molekul yang sama, dan berperan sebagai penentu bentuk molekul keseluruhan yang penting. Ikatan hidrogen terjadi ketika sebuah molekul memiliki atom N, O, atau F yang mempunyai pasangan elektron bebas. Hidrogen dari molekul lain akan berinteraksi dengan pasangan elektron bebas ini membentuk suatu ikatan hidrogen dengan besar ikatan bervariasi mulai dari yang lemah (1-2 kJ mol) hingga tinggi (>155 kJ mol). Kekuatan ikatan hidrogen ini dipengaruhi oleh perbedaan elektronegativitas antara atom-atom dalam molekul tersebut. Semakin besar perbedaannya, semakin besar ikatan hidrogen yang terbentuk. Ikatan hidrogen mempengaruhi titik didih suatu senyawa. Semakin besar ikatan hidrogennya, semakin tinggi titik didihnya. Namun, khusus pada air, terjadi dua ikatan hidrogen pada tiap molekulnya. Akibatnya jumlah total ikatan hidrogennya lebih besar daripada asam florida yang seharusnya memiliki ikatan hidrogen terbesar (karena paling tinggi perbedaan elektronegativitasnya), sehingga titik didih air lebih tinggi daripada asam florida; ~ **kovalen**³⁸ **1** suatu jenis ikatan kimiawi yang kuat di mana dua atom menggunakan bersama satu pasang elektron dalam kulit valensi yang digunakan bersama; **2** ikatan yang bentuk dengan cara penggunaan elektron secara bersama; **3** ikatan kimia di mana elektron dibagi di antara atom-atom; **4** sejenis ikatan kimia yang dikarakterisasikan oleh pasangan elektron yang saling terbagi (kongsi

³⁸ istilah bahasa Inggris untuk ikatan kovalen, *covalent bond*, pertama kali muncul pada tahun 1939. Awalan co- berarti bersama-sama, berasosiasi dalam sebuah aksi, berkollega, dan lain-lain, sehingga "covalent bond" artinya adalah atom-atom yang saling berbagi "valensi," seperti yang dibahas oleh teori ikatan valensi

elektron) di antara atom-atom yang berikatan. Singkatnya, stabilitas tarikan dan tolakan yang terbentuk di antara atom-atom ketika berbagi elektron dikenal sebagai ikatan kovalen. Ikatan kovalen merangkumi banyak jenis interaksi, yaitu ikatan sigma, ikatan pi, ikatan logam-logam, interaksi agostik, dan ikatan tiga pusat dua elektron. Pada molekul H₂, atom hidrogen berbagi dua elektron via ikatan kovalen. Kovalensi yang sangat kuat terjadi di antara atom-atom yang memiliki elektronegativitas yang mirip. Oleh karena itu, ikatan kovalen tidak seperlunya adalah ikatan antara dua atom yang berunsur sama, melainkan hanya pada elektronegativitasnya. Oleh karena ikatan kovalen adalah saling berbagi elektron, maka elektron-elektron tersebut perlu terdelokalisasi. Lebih jauh lagi, berbeda dengan interaksi elektrostatik, kekuatan ikatan kovalen bergantung pada relasi sudut antara atom-atom pada molekul poli-atomik

intrusi penerobosan magma ke dalam batuan atau di antara batuan lain; perembesan air laut dan sebagainya ke dalam lapisan tanah sehingga terjadi percampuran air laut dengan air tanah

investasi 1 penanaman uang atau modal dalam suatu perusahaan atau proyek untuk tujuan memperoleh keuntungan; 2 jumlah uang atau modal yang ditanam

iritasi 1 gangguan; 2 perangsangan

K

kadmium 1 logam putih, mulur, unsur dengan nomor atom 48, lambang Cd, dan bobot atom 112,41; 2 salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini berisiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Secara prinsipil pada konsentrasi rendah berefek terhadap gangguan pada paru-paru, emphysema dan renal tubular disease yang kronis. Jumlah normal kadmium di tanah berada < 1 bpj, tetapi angka tertinggi (1.700 bpj) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Zn). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan

ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400–500 µg per orang atau 7 µg per kg berat badan

kalsium³⁹ **1** logam putih, menyerupai kristal, unsur dengan nomor atom 20, berlambang Ca, dan bobot atom 40,08; **2** mineral penting yang paling banyak dibutuhkan manusia. Kalsium membantu pembentukan tulang dan gigi dan diperlukan untuk pembekuan darah, transmisi sinyal pada sel saraf, dan kontraksi otot. Kalsium membantu mencegah osteoporosis. Dari semua kalsium yang terkandung dalam tubuh manusia, 99% terletak di tulang dan gigi; **3** merupakan salah satu logam alkali tanah, dan merupakan elemen terabaikan kelima terbanyak di bumi. Kalsium juga merupakan ion terabaikan kelima terbanyak di air laut dilihat dari segi molaritas dan massanya, setelah natrium, klorida, magnesium, dan sulfat;

-- **karbonat** logam putih kristalin dan karbon unsur nomor 6, dan bobot atom 12,0111, dijumpai di alam sebagai intan, grafit, dan tanpa bentuk; -- **sulfat** merupakan zat aditif makanan yang antara lain dapat digunakan sebagai agen pengental atau pengatur, dan meningkatkan jumlah kalsium dalam produk

karbohidrat⁴⁰ **1** senyawa-senyawa polihidroksi yang juga mengandung gugus lain, yang dapat berupa aldehid atau keton; **2** senyawa

³⁹ dari kata Latin: *calx*, kapur. Walau kapur telah digunakan oleh orang-orang Romawi di abad kesatu, logam kalsium belum ditemukan sampai tahun 1808. Setelah mempelajari Berzelius dan Pontin berhasil mempersiapkan campuran air raksa dengan kalsium (amalgam) dengan cara mengelektrolisis kapur di dalam air raksa, Davy berhasil mengisolasi unsur ini walau bukan logam kalsium murni; juga tampaknya berperan dalam menurunkan tekanan darah, dan terbukti mengurangi risiko penyakit kardiovaskuler pada wanita *post-menopause*

⁴⁰ sering disebut dengan sakarida. Sakarida atau karbohidrat dibagi menjadi empat jenis, yaitu monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan polisakarida. Secara umum, nonosakarida dan disakarida mempunyai rumus molekul yang kecil, dan sering disebut gula. Pada awalnya, istilah karbohidrat digunakan untuk golongan senyawa yang mempunyai rumus $(CH_2O)_n$, yaitu senyawa-senyawa yang atom karbonnya

organik karbon, hidrogen, dan oksigen, yang terdiri atas satu molekul gula sederhana atau lebih yang merupakan bahan makanan penting dan sumber tenaga (banyak terdapat dalam tumbuhan dan hewan); **3** gula (monosakarida) atau salah satu dimernya (disakarida) atau polimernya (polisakarida); **4** hidrat suatu karbon: $C_x(H_2O)_y$, berupa polihidroksi aldehida atau polihidroksi keton, turunan senyawa tersebut, dan berbagai bahan yang bila dihidrolisis menghasilkan senyawa tersebut; **5** sumber energi bagi tubuh. Karbohidrat kompleks⁴¹ ditemukan di hampir semua makanan yang berasal dari tumbuhan. Sumber terbaik dari karbohidrat adalah biji-bijian. Karbohidrat sederhana dapat ditemukan dalam buah-buahan dan sayuran. Tapi harus menghindari karbohidrat sederhana yang berasal dari gula olahan dan halus karena sangat tidak padat nutrisi. Satu gram karbohidrat setara dengan 4 kalori; **6** senyawa organik yang hanya mengandung atom C, H, dan O dengan perbandingan atom hidrogen: oksigen, yakni 2:1 (seperti pada air). Dengan kata lain, karbohidrat mempunyai rumus empiris, yaitu $C_m(H_2O)_n$ (di mana m berbeda dengan n). Walaupun pada rumus empiris menggunakan H_2O , namun kenyatannya tidak ada molekul air yang terikat langsung pada rantai karbon karbohidrat; **7** sego-longan besar senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Karbohidrat sendiri terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen. Karbohidrat memiliki berbagai fungsi dalam tubuh makhluk hidup, terutama sebagai bahan bakar, cadangan makanan (misalnya pati pada tumbuhan dan glikogen pada hewan), dan materi pembangun. Pada proses fotosintesis, tetumbuhan hijau mengubah karbon di-

tampak terhidrasi oleh molekul air. Namun demikian, terdapat pula karbohidrat yang tidak memiliki rumus demikian dan ada pula yang mengandung nitrogen, fosforus, atau sulfur. Bentuk molekul karbohidrat paling sederhana terdiri atas satu molekul gula sederhana yang disebut monosakarida, misalnya glukosa, galaktosa, dan fruktosa. Banyak karbohidrat merupakan polimer yang tersusun dari molekul gula yang terangkai menjadi rantai yang panjang serta dapat pula bercabang-cabang, disebut polisakarida, misalnya pati, kitin, dan selulosa. Selain monosakarida dan polisakarida, terdapat pula disakarida (rangkaiannya dua monosakarida) dan oligosakarida (rangkaiannya beberapa monosakarida)

⁴¹ karbohidrat yang dipecah menjadi dua gula atau lebih selama pencernaan)

oksida menjadi karbohidrat. Secara biokimia, karbohidrat adalah polihidroksil-aldehida atau polihidroksil-ke-ton, atau senyawa yang menghasilkan senyawa-senyawa ini bila dihidrolisis. Karbohidrat mengandung gugus fungsi karbonil dan banyak gugus hidroksil; **8** senyawa karbon yang mengandung atom hidrogen dan oksigen, yang merupakan sumber energi dan penyusun struktur sel. Pada tanaman dan ganggang yang memiliki klorofil (zat hijau daun), karbohidrat dibentuk dari air dan karbon dioksida yang terdapat di udara dengan bantuan energi matahari melalui proses fotosintesis. Tanaman yang mengandung banyak karbohidrat sebagai cadangan makanannya dapat digunakan oleh manusia dan hewan sebagai sumber karbohidrat

karbon⁴² **1** unsur bukan logam, dalam alam terdapat sebagai intan, grafit, dan arang, dengan nomor atom 6, berlambang C, dan bobot atom 12,0111; **2** sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Terdapat tiga macam isotop karbon yang ditemukan secara alami, yakni C dan C yang stabil, dan C yang bersifat radioaktif dengan waktu paruh peluruhannya ± 5.730 tahun. Karbon merupakan salah satu di antara beberapa unsur yang diketahui keberadaannya sejak zaman kuno. Karbon memiliki beberapa jenis alotrop, yang paling terkenal adalah grafit, intan, dan karbon amorf. Sifat-sifat fisika karbon bervariasi bergantung pada jenis alotropnya. Sebagai contohnya, intan berwarna transparan, manakala grafit berwarna hitam dan kusam. Intan merupakan salah satu materi terkeras di dunia, manakala grafit cukup

⁴² dari kata Latin: *carbo*, arang; suatu unsur yang telah ditemukan sejak zaman pra-sejarah sangat banyak ditemukan di alam. Karbon juga banyak terkandung di matahari, bintang-bintang, komet, dan atmosfer kebanyakan planet. Karbon dalam bentuk berlian mikroskopik telah ditemukan di dalam beberapa meteor yang jatuh ke bumi. Berlian alami juga ditemukan di *kimberlite* pipa gunung berapi, di Afrika Selatan, Arkansas, dan beberapa tempat lainnya. Berlian sekarang ini diambil dari dasar samudera di lepas pantai *Cape of Good Hope*. Sekitar 30% berlian industri yang dipakai di AS sekarang ini merupakan hasil sintesis; zat arang

lunak untuk meninggalkan bekasnya pada kertas. Intan memiliki konduktivitas listrik yang sangat rendah, sedangkan grafit adalah konduktor listrik yang sangat baik. Di bawah kondisi normal, intan memiliki konduktivitas termal yang tertinggi di antara materi-materi lain yang diketahui. Semua alotrop karbon berbentuk padat dalam kondisi normal, tetapi grafit merupakan alotrop yang paling stabil secara termodinamik di antara alotrop-alotrop lainnya. Semua alotrop karbon sangat stabil dan memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk bereaksi, bahkan dengan oksigen. Keadaan oksidasi karbon yang paling umumnya ditemukan adalah +4, manakala +2 dijumpai pada karbon monoksida dan senyawa kompleks logam transisi lainnya. Sumber karbon anorganik terbesar terdapat pada batu kapur, dolomit, dan karbon dioksida, sedangkan sumber organik terdapat pada batu bara, tanah gambut, minyak bumi, dan klatrat metana. Karbon dapat membentuk lebih banyak senyawa daripada unsur-unsur lainnya, dengan hampir 10 juta senyawa organik murni yang telah dideskripsikan sampai sekarang. Karbon adalah unsur paling berlimpah ke-15 di kerak bumi dan ke-4 di alam semesta. Karbon terdapat pada semua jenis makhluk hidup, dan pada manusia, karbon merupakan unsur paling berlimpah kedua ($\pm 18,5\%$) setelah oksigen. Keberlimpahan karbon ini, bersamaan dengan keanekaragaman senyawa organik dan kemampuannya membentuk polimer membuat karbon sebagai unsur dasar kimiawi kehidupan. Unsur ini adalah unsur yang paling stabil di antara unsur-unsur yang lain, sehingga dijadikan patokan dalam mengukur satuan massa atom;

-- **aktif**⁴³ suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan 1 g dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan $\pm 500 \text{ m}^2$ (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan ke-

⁴³ atau sering juga disebut sebagai arang aktif

mampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri. Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang cukup tinggi $\pm 100\text{--}2.000\text{ m}^2/\text{g}$ ⁴⁴. Bisa dibayangkan dalam setiap gram zat ini mengandung luas permukaan puluhan kali luasan lapangan sepakbola. Hal ini dikarenakan zat ini memiliki pori-pori yang sangat kompleks yang berkisar dari ukuran mikro $< 20\text{ \AA}$, ukuran meso antara $20\text{--}50\text{ \AA}$, dan ukuran makro $> 500\text{ \AA}$ ⁴⁵. Sehingga luas permukaan di sini lebih dimaksudkan luas permukaan internal yang diakibatkan dari adanya pori-pori yang berukuran sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar, seperti pada bidang adsorpsi (penjerapan), dan pada bidang reaksi dan katalisis. Contoh yang mudah dari karbon aktif adalah yang banyak dikenal dengan sebutan norit yang digunakan untuk mengatasi gangguan pencernaan. Prinsip kerja norit adalah ketika masuk ke dalam perut dia akan mampu menyerap bahan-bahan racun dan berbahaya yang menyebabkan gangguan pencernaan. Kemudian menyimpannya di dalam permukaan porinya, sehingga nantinya keluar bersama tinja. Secara umum karbon aktif ini dibuat dari bahan dasar batu bara dan biomasa. Intinya bahan dasar pembuat karbon aktif haruslah mengandung unsur karbon yang besar. Dewasa ini karbon aktif yang berasal dari biomasa banyak dikembangkan para peneliti karena bersumber dari bahan yang terbarukan dan lebih murah. Bahkan karbon aktif dapat dibuat dari limbah biomasa seperti kulit kacang-kacangan, limbah padat pengepresan biji-bijian, ampas, kulit buah, dan sebagainya. Proses pembuatan arang aktif dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pengaktifan secara fisika dan secara kimia. Pengaktifan secara fisika pada dasarnya dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku pada suhu yang cukup tinggi ($600\text{--}900\text{C}$) pada kondisi miskin udara (oksigen), kemudian pada suhu tinggi tersebut dialirkan media pengaktif seperti uap air dan CO_2 . Sedangkan pada pengaktifan

⁴⁴ bahkan ada peneliti yang mengklaim luas permukaan karbon aktif yang dikembangkan memiliki luas permukaan melebihi $3.000\text{ m}^2/\text{g}$

⁴⁵ pembagian ukuran pori berdasarkan IUPAC

kimiawi, bahan baku sebelum dipanaskan dicampur dengan bahan kimia tertentu, seperti KOH, NaOH, K₂CO₃, dan sebagainya. Biasanya pengaktifan secara kimiawi tidak membutuhkan suhu tinggi seperti pada pengaktifan secara fisis, namun diperlukan tahap pencucian setelah diaktifkan untuk membuang sisa-sisa bahan kimia yang dipakai. Sekarang ini telah dikembangkan penggabungan antara metode fisika dan kimia untuk mendapatkan sekaligus kelebihan dari kedua tipe pengaktifan tersebut; -- **dioksida**⁴⁶ **1** senyawa karbon dengan oksigen yang berupa gas tanpa warna, lebih berat dari udara, tidak terbakar, dan larut dalam air, (digunakan dalam alat pemadam kebakaran); **2** gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah terbakar yang dihasilkan pada respirasi, dan dilepaskan oleh jaringan ke darah yang kemudian dihembuskan oleh paru-paru dalam pertukaran dengan oksigen; **3** sejenis senyawa kimia yang terdiri atas dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Karbon dioksida berbentuk gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar dan hadir di atmosfer bumi. Rata-rata konsentrasi karbon dioksida di atmosfer bumi ± 387 bpj berdasarkan volume walaupun jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu. Karbon dioksida adalah gas rumah kaca yang penting, karena menyerap gelombang inframerah dengan kuat. Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu, karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Karbon dioksida juga dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil. Karbon dioksida anorganik dikeluarkan dari gunung berapi dan proses geotermal lainnya seperti pada mata air panas. Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan < 5,1 atm, namun langsung menjadi padat pada temperatur < -78°C. Dalam bentuk padat, karbon dioksida umumnya disebut sebagai es kering. Karbon dioksida adalah oksida asam. Larutan karbon dioksida mengubah warna litmus dari bi-

⁴⁶ ditemukan oleh Joseph Black; CO₂; atau zat asam arang

ru menjadi merah muda; -- **monoksida** **1** senyawa antara karbon dan oksigen yang berupa gas tanpa warna, tanpa bau, dan sangat beracun, yang dapat menyebabkan kematian jika dihirup; **2** gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Karbon monoksida terdiri atas satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Karbon monoksida mudah terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida. Walaupun bersifat racun, karbon monoksida memainkan peran yang penting dalam teknologi modern, yakni merupakan pre-kursor banyak senyawa karbon

klorin⁴⁷ **1** unsur halogen yang dipisahkan menjadi gas yang bersifat racun dan berbau menyengat, dipakai sebagai zat pemutih dan pembunuh kuman dalam air, unsur dengan nomor atom 17, ber lambang Cl, dan bobot atom 35,453; **2** Dalam tabel periodik, unsur ini termasuk kelompok halogen atau grup 17 (sistem lama: VII atau VIIA). Dalam bentuk ion klorida, unsur ini adalah pembentuk garam dan senyawa lain yang tersedia di alam dalam jumlah yang sangat berlimpah dan diperlukan untuk pembentukan hampir semua bentuk kehidupan, termasuk manusia. Dalam bentuk gas, klorin berwarna kuning kehijauan, dan sangat beracun. Dalam bentuk cair atau padat, klor sering digunakan sebagai oksidan, pemutih, atau desinfektan; **3** sebuah cincin aromatik heterosiklik yang terdiri atas tiga pirola dan satu pirolina yang bergandengan melalui empat tautan metina. Tidak seperti porfirin, klorin tidak bersifat aromatik pada keseluruhan cincin walaupun memiliki komponen pirola yang aromatik. Klorin yang berikatan dengan magnesium disebut klorofil dan merupakan inti pigmen fotosensitif kloroplas. Senyawa ter-

⁴⁷ dibuktikan oleh Davy (1810), bahwa klorin benar-benar unsur baru, bukan senyawa yang mengandung oksigen; klor

kait dengan dua pirola yang tereduksi disebut bakterioklorin. Oleh karena fotosensitivitasnya, klorin digunakan sebagai agen fotosensitif pada terapi percobaan laser kanker

klorinasi⁴⁸ 1 pemberian klorin pada air minum yang berasal dari air limbah yang bertujuan mematikan bakteri; 2 proses penambahan elemen klorin ke air sebagai metode pemurnian air untuk membuatnya layak dikonsumsi manusia sebagai air minum. Air yang telah diklorinasi efektif dalam mencegah penyebaran penyakit

koagulasi⁴⁹ 1 perihai menjadi keras atau padat, baik seluruh maupun sebagian cairan sebagai akibat perubahan kimiawi, seperti menggumpalnya darah, mengerasnya protoplasma dan zat putih telur apabila dipanaskan; 2 suatu enzim yang dihasilkan oleh stafilokokus patogenik, yang menyebabkan koagulasi plasma darah; 3 menyebabkan menggumpal atau menjadi bergumpal; mengkonversi cairan atau zat dalam larutan menjadi padat atau gel; 4 darah dan mani dapat membeku. Pembekuan darah terjadi karena trombosit pecah, keluar enzim trombokinase, yang mengubah protrombin dalam plasma darah menjadi trombin

kobalt⁵⁰ 1 logam berwarna putih perak, agak merah muda, bersifat mulur, digunakan terutama sebagai logam campuran, unsur dengan nomor atom 27, berlambang Co, dan bobot atom 58,9332; 2 elemen ini biasanya hanya ditemukan dalam bentuk campuran di alam. Elemen bebasnya, diproduksi dari peleburan reduktif, adalah logam berwarna abu-abu perak yang keras dan berkilau. Ketersediaan: unsur kimia kobalt tersedia di dalam banyak formulasi yang mencakup kertas perak, potongan, bedak, tangkai, dan kawat

kohesi 1 pengikatan bersama-sama molekul-molekul yang serupa, seringkali melalui ikatan hidrogen; 2 gaya (kakas) tarik-menarik di

⁴⁸ pengklorinan

⁴⁹ penggumpalan; kata sifat: koagulatif, seperti pada nekrosis koagulatif, yakni jenis nekrosis di mana sel-sel atau jaringan yang terkena dikonversi menjadi massa eosinofilik homogen tanpa inti yang kering dan kusam, sebagai akibat dari koagulasi protein

⁵⁰ berasal dari bahasa Jerman kobalt yang berarti buruk; dan diisolasi kira-kira pada tahun 1753 oleh seorang ahli kimia Swedia, Georg Brandt (1694–1768)

antara molekul sejenis dalam suatu benda; **3** gaya tarik-menarik antarmolekul yang sama. Salah satu aspek yang mempengaruhi daya kohesi adalah kerapatan dan jarak antarmolekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar, maka kohesi yang akan didapatkan semakin besar. Dalam pada ini, benda berbentuk padat memiliki kohesi yang paling besar, dalam bentuk cair lebih lemah, dan dalam bentuk gas yang memiliki kohesi yang paling lemah. Kohesi dan adhesi mempengaruhi bentuk permukaan cairan (meniskus) dalam suatu wadah. Bila cairan tersebut memiliki adhesi yang lebih besar daripada kohesi, maka meniskus yang akan didapatkan adalah meniskus cekung, seperti permukaan air dalam wadah gelas

kolera penyakit perut yang dapat menular disertai buang-buang air dan muntah-muntah disebabkan oleh basil kuman

koloid **1** zat yang berpecah dalam suatu zat pelarut sebagai butir-butir yang lebih besar dari molekul, tetapi tidak dapat dilihat dengan mata (harus dengan mikroskop); **2** zat yang lekat seperti getah atau lem; **3** bagian dari campuran yang memiliki sifat khas karena memiliki ukuran partikel dengan diameter antara 1–100 nm; **4** suatu bahan yang mengandung partikel yang sangat kecil (ukuran antara 10^{-9} – 10^{-5} m). Sol, gel, dan emulsi merupakan contoh koloid

koloidal berkenaan dengan koloid

kondensasi proses perubahan uap air atau benda gas menjadi benda cair pada suhu udara di bawah titik embun

kromium⁵¹ **1** unsur logam berwarna putih perak, bersifat getas dan keras, digunakan sebagai campuran besi dalam penyepuhan, unsur dengan nomor atom 24, berlambang Cr, dan bobot atom 51,996; **2** merupakan logam tahan korosi (tahan karat) dan dapat dipoles menjadi mengkilat. Dengan sifat ini, kromium (krom) banyak digunakan sebagai pelapis pada ornamen-ornamen bangunan, komponen kendaraan, seperti knalpot pada sepeda motor, maupun se-

⁵¹ diambil dari bahasa Yunani *chromos* yang berarti warna; dan ditemukan pada tahun 1797 oleh seorang ahli kimia Perancis, Louis Nicolas Vauquelin

bagai pelapis perhiasan seperti emas, emas yang dilapisi oleh kromium ini lebih dikenal dengan sebutan emas putih. Perpaduan kromium dengan besi dan nikel menghasilkan baja tahan karat

L

laguna 1 danau asin dekat pantai yang dahulu merupakan bagian laut (yang dangkal), yang karena peristiwa geografi terpisah dari laut; 2 danau kecil atau tasik yang terjadi pada laut dangkal yang dikelilingi oleh beting karang atau gosong pasir yang menutup pesisir atau muara sungai

litologi ilmu tentang batu-batuan yang berkenaan dengan sifat fisik, kimia, dan strukturnya

M

magnesium⁵² 1 logam berwarna putih perak yang diperoleh dari elektrolisis, unsur dengan nomor atom 12, berlambang Mg, dan bobot atom 24,305; 2 logam putih lentur yang cukup permanen di udara kering tapi berkarat di udara lembap. Ion magnesium sangat penting untuk semua sel makhluk hidup, di mana > 300 enzim membutuhkan ion magnesium. Magnesium diperlukan untuk pembentukan protein, tulang, asam lemak, sel-sel baru, mengaktifkan vitamin B, merelaksasi otot, membekukan darah, dan membentuk ATP. Produksi dan penggunaan insulin juga membutuhkan magnesium; 3 elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium";
-- **sulfat**⁵³ senyawa laksatif yang bila diambil secara oral digunakan sebagai pencahar, untuk mengobati mulas dan sembelit. Bila

⁵² berasal dari nama Prefektur Magnesia di Thessaly, Yunani; dan disadari pertama kali oleh J. Black pada 1755, namun baru berhasil diisolasikan pertama kali 53 tahun setelah itu oleh H. Davy

⁵³ garam epsom

disuntikkan, untuk mencegah kejang. Dalam mandi garam, magnesium sulfat digunakan untuk menarik racun keluar dari tubuh dan untuk mengurangi peradangan

mangan⁵⁴ logam berwarna putih keabu-abuan, bersifat keras dan getas, mirip besi tetapi tidak magnetis, unsur dengan nomor atom 25, berlambang Mn, dan bobot atom 54,938

membran **1** lapisan pemisah tipis antara dua fase cair yang berbeda, yang mempengaruhi peralihan molekul dan ion; **2** sebuah lapisan tisu sangat tipis yang menutupi permukaan;

-- **sel**⁵⁵ **1** penghalang yang memisahkan isi sel dari lingkungan luar dan mengontrol pergerakan materi masuk dan keluar dari sel. Sebuah membran sel mamalia terdiri atas fosfolipid bilayer dengan protein dan kolesterol; **2** merupakan lapisan yang melindungi inti sel dan sitoplasma. Membran sel membungkus organel-organel dalam sel. Membran sel juga merupakan alat transportasi bagi sel, yakni tempat masuk dan keluarnya zat-zat yang dibutuhkan dan tidak dibutuhkan oleh sel. Struktur membran ialah dua lapis lipid (lipid bilayer) dan memiliki permeabilitas tertentu, sehingga tidak semua molekul dapat melalui membran sel. Salah satu fungsi dari membran sel adalah sebagai lalu lintas molekul dan ion secara dua arah. Molekul yang dapat melewati membran sel, antara lain molekul hidrofobik, dan molekul polar yang sangat kecil (air, etanol); **3** fitur universal yang dimiliki oleh semua jenis sel berupa lapisan antarmuka yang disebut membran plasma, yang memisahkan sel dengan lingkungan di luar sel, terutama untuk melindungi inti sel dan sistem kelangsungan hidup yang bekerja di dalam sitoplasma

merkuri → merkurium

merkurium⁵⁶ unsur logam dengan nomor atom 80, berlambang Hg, dan bobot atom 200,59

mikroba → mikroba

⁵⁴ diambil dari bahasa Latin *magnes* yang berarti bermagnet; pertama kali dikenali oleh Scheele, Bergman, dan ahli lainnya sebagai unsur dan diisolasi oleh Gahn pada tahun 1774, dengan mereduksi mangan dioksida dengan karbon

⁵⁵ juga disebut membran plasma

⁵⁶ air raksa

mikrobe 1 organisme mikroskopik; suatu mikroorganisme; 2 organisme yang sedemikian kecil ukurannya sehingga untuk mengamatnya secara jelas diperlukan mikroskop; 3 organisme kecil (termasuk virus dan bakteri) yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop

mikrobiologi⁵⁷ 1 ilmu tentang seluk-beluk mikrobe (bakteri, virus, protozoa, dan sebagainya) secara umum, baik yang bersifat parasit maupun yang penting bagi industri, pertanian, kesehatan, dan sebagainya; 2 telaah mengenai organisme berukuran mikroskopik (mikroorganisme), termasuk biakannya, kepentingan ekonominya, patogenitasnya, dan sebagainya; 3 ilmu yang mempelajari tentang organisme; 4 studi organisme hidup yang secara individual terlalu kecil untuk dilihat tanpa bantuan mikroskop; 5 cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang kehidupan jasad renik; 6 ilmu yang mempelajari tentang kehidupan mikrobe secara umum, baik yang memiliki sifat sebagai parasit maupun yang berguna bagi kehidupan manusia; 7 sebuah cabang dari ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme. Objek kajiannya biasanya adalah semua makhluk (hidup) yang perlu dilihat dengan mikroskop, khususnya bakteri, fungi, alga mikroskopik, protozoa, dan archaea. Virus sering juga dimasukkan walaupun sebenarnya tidak sepenuhnya dapat dianggap sebagai makhluk hidup

mikroorganisme⁵⁸ 1 organisme berukuran renik; 2 makhluk hidup sederhana yang terbentuk dari satu atau beberapa sel yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop, berupa tumbuhan atau hewan yang biasanya hidup secara parasit atau saprofit, misalnya bakteri,

⁵⁷ dimulai sejak ditemukannya mikroskop dan menjadi bidang yang sangat penting dalam biologi setelah Louis Pasteur dapat menjelaskan proses fermentasi anggur (*wine*) dan membuat vaksin rabies. Perkembangan biologi yang pesat pada abad ke-19 terutama dialami pada bidang ini dan memberikan landasan bagi terbukanya bidang penting lain: biokimia. Penerapan mikrobiologi pada masa kini masuk berbagai bidang dan tidak dapat dipisahkan dari cabang lain karena diperlukan juga dalam bidang farmasi, kedokteran, pertanian, ilmu gizi, teknik kimia, bahkan hingga astrobiologi dan arkeologi

⁵⁸ atau mikrobe; juga disebut organisme mikroskopik. Ilmu yang mempelajari mikroorganisme disebut mikrobiologi. Orang yang bekerja di bidang ini disebut mikrobiolog

kapang, ameba; **3** setiap organisme yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Protozoa, bakteri, jamur, dan virus adalah contoh dari mikroorganisme; **4** organisme yang berukuran sangat kecil, sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat bantuan. Mikroorganisme seringkali bersel tunggal (uniseluler) maupun bersel banyak (multiseluler). Namun, beberapa protista bersel tunggal masih terlihat oleh mata telanjang dan ada beberapa spesies multisel tidak terlihat mata telanjang. Virus juga termasuk ke dalam mikroorganisme meskipun tidak bersifat seluler. Mikroorganisme biasanya dianggap mencakup semua prokariota, protista, dan alga renik. Fungi, terutama yang berukuran kecil dan tidak membentuk hifa, dapat pula dianggap sebagai bagiannya, meskipun banyak yang tidak menyepakatinya. Kebanyakan orang beranggapan bahwa yang dapat dianggap mikroorganisme adalah semua organisme sangat kecil yang dapat dibiakkan dalam cawan petri atau inkubator di dalam laboratorium dan mampu memperbanyak diri secara mitosis. Mikroorganisme berbeda dengan sel makroorganisme. Sel makroorganisme tidak bisa hidup bebas di alam, melainkan menjadi bagian dari struktur multiseluler yang membentuk jaringan, organ, dan sistem organ. Sementara, sebagian besar mikroorganisme dapat menjalankan proses kehidupan dengan mandiri, dapat menghasilkan energi sendiri, dan bereproduksi secara independen tanpa bantuan sel lain;

N

naftalena⁵⁹ hidrokarbon diperoleh dari ter batu bara, berupa zat padat kristal putih dengan bau menusuk, digunakan dalam pembuatan zat celup organik

natrium⁶⁰ **1** logam alkali lunak, berwarna putih perak; unsur dengan nomor atom 11, berlambang Na, dan bobot atom 22,9898; **2** sebuah mineral yang ditemukan dalam tubuh dan dalam banyak ma-

⁵⁹ obat pemusnah ngengat; C₁₀H₈

⁶⁰ atau sodium

kanan⁶¹. Natrium merupakan nutrisi penting untuk mempertahankan volume darah, mengatur keseimbangan air dalam sel, dan menjaga fungsi saraf. Ginjal mengontrol keseimbangan natrium dengan meningkatkan atau menurunkan natrium dalam urin; **3** logam reaktif yang lunak, keperakan, dan seperti lilin, yang termasuk ke logam alkali yang banyak terdapat dalam senyawa alam. Natrium sangat reaktif, apinya berwarna kuning, beroksidasi dalam udara, dan bereaksi kuat dengan air, sehingga harus disimpan dalam minyak. Karena sangat reaktif, natrium hampir tidak pernah ditemukan dalam bentuk unsur murni;

-- **klorida**⁶² senyawa kimia ini adalah garam yang paling mempengaruhi salinitas laut dan cairan ekstraseluler pada banyak organisme multiseluler. Komponen utama pada garam dapur, natrium klorida sering digunakan sebagai bumbu dan pengawet makanan

nikel⁶³ **1** unsur logam, berwarna putih perak, bersifat lentur, unsur dengan nomor atom 28, berlambang Ni, dan bobot atom 58,71; **2** mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom, dan besi menghasilkan baja tahan karat yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok dan peralatan memasak), ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri

nitrat garam dari asam nitrat, dipakai dalam campuran pupuk

nitrogen⁶⁴ **1** gas tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, dan tidak beracun, unsur dengan nomor atom 7, berlambang N, dan bo-

⁶¹ di mana satu sendok teh garam mengandung sekitar 2.300 mg natrium, lebih dari empat kali jumlah yang dibutuhkan tubuh setiap hari. Asupan natrium berlebih merupakan satu faktor yang diketahui mempengaruhi tekanan darah tinggi, namun tidak semua orang memiliki kerentanan yang sama. Sensitivitas thd natrium sangat individual dan biasanya meningkat dengan usia

⁶² juga dikenal dengan garam dapur, atau halit

⁶³ diisolasi pada tahun 1751 dari suatu bijih yang mengandung nikel dan arsen, oleh seorang ahli kimia Swedia, Alex Cronstedt (1722–1765). Bijih nikel tersebut disebutnya dengan *kupfermikel* (Jerman) dan kemudian nama nikel berasal dari nama tersebut

⁶⁴ atau zat lemas. Dinamakan zat lemas karena zat ini bersifat malas, tidak aktif bereaksi dengan unsur lainnya

bot atom 14,0067; **2** merupakan pembentuk protein dan asam nukleat dan hadir di semua sel hidup. Nitrogen tidak mendukung respirasi dan fatal jika dihirup sendirian, karena kekurangan oksigen. Nitrogen larut dalam darah dan cairan tubuh. Jika dilepaskan sebagai gelembung gas, nitrogen dapat memiliki konsekuensi serius atau bahkan fatal; **3** biasanya ditemukan sebagai gas tanpa warna, tanpa bau, tanpa rasa dan merupakan gas diatomik bukan logam yang stabil, sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lainnya. Nitrogen mengisi 78,08% atmosfer bumi dan terdapat dalam banyak jaringan hidup. Zat lemas membentuk banyak senyawa penting, seperti asam amino, amoniak, asam nitrat, dan sianida

O

oksida **1** senyawa oksigen biner, umumnya dengan logam (seperti Na_2O) atau bukan logam (seperti NO_2); **2** senyawa kimia yang sedikitnya mengandung sebuah atom oksigen serta sedikitnya sebuah unsur lain. Sebagian besar kerak bumi terdiri atas oksida. Oksida terbentuk ketika unsur-unsur dioksidasi oleh oksigen di udara. Pembakaran hidariokarbon menghasilkan dua oksida utama karbon, karbon monoksida dan karbon dioksida. Bahkan materi yang dianggap sebagai unsur murni pun seringkali mengandung selubung oksida. Misalnya aluminium foil memiliki kulit tipis Al_2O_3 yang melindungi foil dari korosi

oksidasi **1** proses penggabungan suatu zat dengan oksigen; **2** proses pelepasan elektron dari suatu partikel (molekul, air); **3** proses penguraian mineral yang mengandung logam oleh O_2 dan menimbulkan karat yang merupakan satu bentuk pelapukan kimia

oksigen⁶⁵ **1** gas, tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau, merupakan komponen dari kerak bumi, unsur dengan nomor atom 8,

⁶⁵ zat asam, yang ditemukan oleh Joseph Priestley (1733–1804). Namun sumber lain menyebutkan, bahwa pertama kali ditemukan oleh seorang ahli obat Carl Wilhelm Scheele (1742–1786). Ia menghasilkan gas oksigen dengan memanaskan raksa oksida dan berbagai nitrat sekitar tahun 1772. Scheele menyebut gas ini ‘udara api’ karena ia merupakan satu-satunya gas yang diketahui mendukung pembakaran. Ia menuliskan pengamatannya ke dalam sebuah manuskrip yang berjudul *Treatise on Air*

berlambang O₂, dan bobot atom 19,9994; **2** gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa yang mengisi 20% dari udara yang dihirup⁶⁶. Oksigen bergabung dengan sebagian besar unsur-unsur lain untuk membentuk oksida. Oksigen sangat penting untuk manusia, hewan, dan tumbuhan; **3** merupakan unsur golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya. Pada temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak bumi. Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi. Semua kelompok molekul struktural yang terdapat pada organisme hidup, seperti protein, karbohidrat, dan lemak, mengandung oksigen. Demikian pula senyawa anorganik yang terdapat pada cangkang, gigi, dan tulang hewan. Oksigen dihasilkan dari air oleh sianobakteri, ganggang, dan tumbuhan selama fotosintesis, dan digunakan pada respirasi sel oleh hampir semua makhluk hidup. Oksigen beracun bagi organisme anaerob, yang merupakan bentuk kehidupan paling dominan pada masa-masa awal evolusi kehidupan. Oksigen kemudian mulai berakumulasi pada atmosfer ± 2,5 miliar tahun yang lalu. Terdapat pula alotrop oksigen lainnya, yaitu ozon. Lapisan ozon pada atmosfer membantu melindungi biosfer dari radiasi UV, namun pada permukaan bumi adalah polutan yang merupakan produk samping dari asbut. Oksigen secara industri dihasilkan dengan distilasi bertingkat udara cair, dengan menggunakan zeolit untuk memisahkan karbon dioksida dan nitrogen dari udara, ataupun elektrolisis air, dan lain-lain. Oksigen digunakan dalam produksi baja, plastik, dan tekstil, juga digunakan sebagai propelan roket, untuk terapi oksigen, dan sebagai penyokong kehidupan pada pesawat terbang, kapal selam, penerbangan luar angkasa, dan penyelaman;

and Fire, yang kemudian ia kirimkan ke penerbitnya pada tahun 1775. Namun, dokumen ini tidak dipublikasikan sampai dengan tahun 1777

⁶⁶ dan setidaknya setengah dari berat seluruh kerak bumi yang padat

-- **terlarut (DO)**⁶⁷ 1 jumlah elemen oksigen yang ada dalam larutan; 2 salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Nilai DO yang biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauhmana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Selain itu kemampuan air untuk membersihkan pencemaran juga ditentukan oleh banyaknya oksigen dalam air. Oleh sebab pengukuran parameter ini sangat dianjurkan di samping parameter lain seperti kob dan kod

ozon⁶⁸ 1 gas yang terdapat di atmosfer berasal dari oksigen yang mengalami perubahan akibat adanya aliran listrik setelah petir dan guruh silih berganti atau karena pengaruh sinar UV matahari; 2 udara murni

P

plumbum⁶⁹ 1 logam lunak berwarna abu-abu, terdiri atas isotop-isotop dengan nomor massa 203–210, unsur dengan nomor atom 82, berlambang Pb, dan bobot atom 207,22; 2 logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi. Keberadaan Pb bisa juga berasal dari hasil aktivitas manusia, yang mana jumlahnya 300 kali lebih banyak dibandingkan Pb alami yang terdapat pada kerak bumi. Pb terkonsentrasi dalam deposit bijih logam. Unsur Pb digunakan dalam bidang industri modern sebagai bahan pembuatan pipa air yang tahan korosi, bahan pembuat cat, baterai, dan campuran bahan bakar bensin tetraetil. Pb adalah logam yang mendapat perhatian khusus karena sifatnya yang toksik (beracun) terhadap manusia. Pb dapat masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi makanan, minuman, udara, air, serta debu yang tercemar Pb

⁶⁷ atau sering juga disebut dengan kebutuhan oksigen (*oxyangen demand*)

⁶⁸ O₃

⁶⁹ timbel

presipitasi 1 proses pengendapan, baik dari dalam larutan maupun dari udara permukaan ke permukaan bumi; 2 kandungan kelembapan udara yang berbentuk cairan atau bahan padat, seperti hujan, embun salju

S

sianida 1 zat beracun; 2 senyawa kimia yang mengandung kelompok siano $C\equiv N$, dengan atom karbon terikat-tiga ke atom nitrogen. Kelompok CN dapat ditemukan dalam banyak senyawa. Beberapa adalah gas, dan lainnya adalah padat atau cair. Beberapa, seperti garam, kovalen, molekuler, ionik, dan banyak juga polimerik. Senyawa yang dapat melepaskan ion sianida CN^- sangat beracun

silika 1 bagian terbesar dari pasir/batu pasir; SiO_2 ; 2 kristal hablur

stomata 1 celah-celah pada epidermis tumbuhan, biasanya terdapat dalam jumlah yang banyak, terutama pada daun; 2 suatu pori mikroskopik yang dikelilingi oleh sel pelindung pada epidermis daun dan batang yang memungkinkan pertukaran gas antara lingkungan dan bagian dalam tumbuhan

sulfat 1 garam asam belerang; 2 batuan yang mengandung sulfat

sulfur⁷⁰ 1 massa getas berwarna kuning, tetapi dapat berbentuk lain, misalnya kristal bening, unsur dengan nomor atom 16, berlambang S, dan bobot atom 32,06; 2 unsur non-logam yang tidak berasa. Sulfur dalam bentuk aslinya, adalah sebuah zat padat kristalin kuning. Di alam, sulfur dapat ditemukan sebagai unsur murni atau sebagai mineral sulfida dan sulfat. Sulfur adalah unsur penting untuk kehidupan dan ditemukan dalam 2 asam amino. Salah satu contoh penggunaan sulfur adalah dalam pupuk. Selain itu, digunakan dalam bubuk mesiu, korek api, insektisida, dan fungisida

T

tifus penyakit usus yang sangat menular (disetai demam dengan ruam-ruam pada tubuh dan gangguan atas kesadaran diri)

⁷⁰ belerang

tuba 1 racun ikan (dibuat dari akar tuba); 2 racun dari tumbuhan atau potas

V

virus 1 mikroorganisme yang tidak dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop biasa, hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron, yang menyebabkan dan menularkan penyakit seperti cacar, influenza, dan rabies; 2 suatu mikroorganisme parasit intraseluler obligat yang lebih kecil daripada bakteri. Kebanyakan virus dapat lolos melewati saringan yang dapat menahan bakteri; 3 organisme kecil yang berkembang biak dalam sel dan menyebabkan penyakit seperti cacar air, campak, gondong, rubella, pertusis, dan hepatitis. Virus tidak terpengaruh oleh antibiotik, obat yang digunakan untuk membunuh bakteri; 4 parasit intrasel obligat yang tidak mempunyai⁷¹ komponen-komponen tertentu yang mutlak diperlukan untuk replikasinya sendiri dan harus bergantung kepada sel inang untuk mendapatkan faktor-faktor yang tidak dimilikinya; 5 parasit berukuran mikroskopik yang menginfeksi sel organisme biologis. Virus bersifat parasit obligat, hal tersebut disebabkan karena virus hanya dapat bereproduksi di dalam material hidup dengan menginvasi dan memanfaatkan sel makhluk hidup karena virus tidak memiliki perlengkapan seluler untuk bereproduksi sendiri. Biasanya virus mengandung sejumlah kecil asam nukleat yang diselubungi semacam bahan pelindung yang terdiri atas protein, lipid, glikoprotein, atau kombinasi ketiganya. Genom virus akan diekspresikan, baik protein yang digunakan untuk memuat bahan genetik maupun protein yang dibutuhkan dalam daur hidupnya. Istilah virus biasanya merujuk pada partikel-partikel yang menginfeksi sel-sel eukariota (organisme multisel dan banyak jenis organisme sel tunggal), sementara istilah bakteriofage atau fage digunakan untuk jenis yang menyerang jenis-jenis sel prokariota. Virus sering diperdebatkan statusnya sebagai makhluk hidup, karena tidak dapat menjalankan fungsi biologisnya secara bebas jika tidak

⁷¹ sistem pembangkit ATP dan ribosom untuk sintesis protein

berada dalam sel inang. Karena karakteristik khasnya ini, virus selalu terasosiasi dengan penyakit tertentu, baik pada manusia, hewan, atau tanaman;

-- **hepatitis** beberapa jenis virus yang dapat menyebabkan hepatitis; -- **hepatitis A (HAV)** 1 virus yang menyebabkan hepatitis A; 2 picornavirus dengan genom berupa RNA positif utas tunggal yang berbentuk linear. Virus ini tidak memiliki selubung. Transmisi penyebaran virus ini adalah melalui jalur fekal-oral, sedangkan tempat replikasinya adalah pada sel-sel hati. Pencegahan infeksi dapat dilakukan dengan menjaga kebersihan dan telah tersedia vaksinasi untuk virus ini

Z

zink⁷² 1 unsur logam putih kebiruan dan getas, unsur dengan nomor atom 30, berlambang Zn, dan bobot atom 65,38; 2 sebuah mineral penting dengan berbagai fungsi dalam tubuh manusia. Zink merupakan komponen dari > 300 enzim yang diperlukan untuk memperbaiki luka, mempertahankan kesuburan pada orang dewasa dan pertumbuhan pada anak-anak, mensintesis protein, membantu sel bereproduksi, mempertahankan visi, meningkatkan kekebalan tubuh, dan melindungi terhadap radikal bebas

⁷² berasal bahasa Jerman, yaitu seng dan telah dikenal dengan nama yang beragam sebagai aliase sekurang-kurangnya selama 2.500 tahun. Studi lengkap pertama kali tentang seng (zink) dipublikasikan pada tahun 1746 oleh seorang ahli kimia Jerman, Andreas Marggraf. Zink dapat mengurangi kemampuan tubuh untuk memanfaatkan tembaga, mineral penting lainnya. Kemampuan untuk mengganggu tembaga ini membuat terapi zink penting bagi penderita penyakit Wilson, suatu kondisi genetik yang menyebabkan kelebihan tembaga

A

- Afrika, 17
- Afroz, Rafia, 30
- air,
 - arus – 26, 39
 - atmosfer, 52
 - badan – 25, 28, 34, 80, 110, 125
 - bawah tanah, 16, 27
 - beku, 24
 - cadangan – 17
 - daerah tangkapan – 3, 51
 - danau, 3
 - densitas – 27
 - filosofi – 13
 - got/parit, 39-40
 - infiltrasi – 25, 105
 - kapur, 131, 135
 - kedap – 54
 - ketersediaan – 2-3, 35, 55-56, 71
 - konsumsi – 1, 51-52
 - krisis – 4
 - lahan, 33
 - manfaat – 32, 147
 - massa – 26-27,
 - memurnikan – 24, 71
 - mengalir, 16, 24
 - murni, 22, 134
 - polusi – 49, 148
 - potensi – 2-3, 32, 51, 112
 - raksa, 2, 82, 88, 116
 - rumah tangga, 53, 63, 112
 - saluran – 39, 60, 140
 - siklus – 23-24, 26, 49,
 - sumur, 71, 107, 109
 - tambak, 90
 - tata – 63, 113
 - tekanan – 27
 - tumbuhan – 39, 41, 118
 - uap – 15-16, 23-26, 65, 148
 - volume – 28, 112
 - warna – 81
 - zona – 23
- air asin, 111, 141,
 - adalah semua air yang mempunyai kadar kegaraman yang tinggi, 140
 - intrusi – 140-142
 - menyusupnya – 113
 - penyusupan – 33, 111, 113-114, 141
 - sumber – 111
 - tidak hanya melulu berupa/ berasal dari air laut, 140
- air baku, 54, 59,
 - kualitas – 53
 - penyediaan – 53
 - sumber – 53, 105
- air bersih, 1, 96, 134,
 - dasa warsa – 63
 - dibutuhkan dalam pemenuhan kebutuhan manusia, 96
 - harga jual – 101
 - kapasitas penyediaan – 61
 - kebutuhan – 143
 - kelangkaan – 72
 - ketersediaan – 51
 - kualitas – 53

- menjadi salah satu SDA yang sangat penting, 35
- merupakan air yang layak untuk dikonsumsi, 134
- parameter – 101
- pengadaan – 63, 101
- penyediaan – 101
- produksi – 53
- sistem penyediaan – 53
- sumber – 71
- syarat – 134
 - yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak, 96-97
- air buangan, 128, 130, 132,
 - BOD – 134
 - jenis – 149
 - manusia, 39
 - pengolahan – 129-131, 148
 - teknik pengolahan – 128, 149
- air hujan, 32, 38, 52-53, 56, 90, 97, 108,
 - keberadaan – 55
 - mempunyai pH sedikit di bawah 7 karena adanya CO₂ yang terlarut di dalamnya, 68
 - menampung – 52
 - pemantauan – 68
 - peresapan – 108
 - pH – 68
 - sebenarnya juga merupakan air murni, 134
 - terbawa – 89
 - untuk usaha pertanian, 55
- air industri, 53,
 - jumlah – 60
 - kebutuhan – 56
 - keperluan – 60
 - pasok – 3
 - sebagian besar berasal dari air tanah, 60
 - sumber – 59
 - suplai – 61
- air irigasi, 53-54, 56,
 - keandalan – 55
 - kebutuhan – 56
 - pembuangan – 54
 - penyediaan – 55
- air laut, 17, 32, 52, 54, 142,
 - arus – 26
 - desalinasi – 58
 - intrusi – 140-143
 - muka – 113
 - penyusupan – 62, 106, 113
 - perembesan – 143
 - rembesan – 143
- air limbah, 80, 137,
 - baku, 133
 - debit – 34, 127
 - jumlah – 78
 - masalah – 126
 - memeriksa – 79
 - pembuangan – 105
 - pengumpulan – 127
 - sarana pengolahan – 135-136
 - teknologi pengolahan – 128
- air minum, 21, 34, 54, 69, 85, 97-99, 107-108, 120,
 - baku mutu untuk – 66
 - kualitas – 98-99, 103, 109
 - memerlukan – 97
 - mengandung zat padatan yang terapung di dalam air, 99

- menyimpan – 41
- penyediaan – 103
- produk – 98
- saluran – 61-62
- standar – 76
- sumber – 52, 97, 103, 108
- sumber baku – 53, 95
- syarat sebagai air baku – 97
- untuk keperluan – 1, 62
- air payau, 144,
 - dampak – 144
 - konsumsi – 144
 - menggunakan – 144
 - penggunaan – 144
- air permukaan, 3, 32, 51-53, 55-56, 58, 87, 97, 106,
 - memanfaatkan – 62
 - pengolahan – 63
 - sumber – 55
 - sumberdaya – 50
 - susunan kimia dan sifat fisik – 73
- air rawa, 52,
 - kebanyakan berwarna disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, 52
- air sadah, 84, 135,
 - adalah jika air mengandung garam Ca dan Mg, 135
 - sementara, 135
 - tetap, 135
- air sungai, 1-2, 14, 52, 61, 71, 73, 104, 109,
 - dalam kondisi alami yang belum tercemar memiliki rentangan pH 6,5–8,5 → 43
- debit – 49
- kualitas – 101, 126
- pencemaran – 67
- pengolahan – 62, 135
- peresapan – 107
- rembesan – 106
 - yang tercemar, 107
- air tanah, 3, 25, 32-33, 52-53, 60-63, 74, 80, 87, 97, 106-107, 110-112, 142,
 - adalah air yang berada di bawah permukaan tanah di dalam zona jenuh di mana tekanan hidrostatiknya sama atau lebih besar dari tekanan atmosfer, 52
 - adalah salah satu sumber air bersih yang potensial dan sangat penting artinya bagi kehidupan manusia, 105
 - adalah semua air yang terdapat di bawah permukaan, 105
- akuifer – 106
 - akuifer, 125
- akumulasi – 57, 114
- aliran – 73, 112-113
- bakteri pencemar – 108
 - berasal dari air hujan dan air permukaan yang terkumpul pada zona jenuh air, 105
- besarnya – 62
- cadangan – 57
 - dalam, 105, 116
 - dangkal, 62-63, 105, 108, 112, 142
- debit – 25
 - di perkotaan, 107
- kandungan bahan-bahan kimia organik dan anorganik – 111
- karakteristik – 4
- kegaraman/kadar Cl- – 143

- keseimbangan – 34
- ketersediaan – 3
- komposisi kimia – 110
- kontribusi – 142
- kualitas – 105-106, 109, 111
- lapisan – 62
- limpasan dan aliran – 25
- manfaat – 54
- memanfaatkan – 54, 57
- mengandalkan – 60
- menggunakan – 108
- mutu – 106, 142
 - payau/asin, 140
- pemakaian – 57, 60-61, 63
- pekerjaan – 3, 56, 60
- pembentukan – 105
- pemodelan – 34
- pencemaran – 4, 35, 76, 106-108, 112
- penelitian – 107
- pengambilan – 3, 33, 62, 106, 111-113, 141-142
- permukaan – 4, 55, 62, 106-107, 113-114
- potensi – 3, 61
- resapan – 34
- sampel – 4
- sifat hidrolika dan hidrokimia – 105
- sifat kimia – 109
- sistem – 34
- sumber – 57, 60-61, 112
- sumberdaya – 4, 51, 105
- suplai – 62
- susunan kimia – 73
 - tawar, 140-141
- air tawar, 3, 24-25,
 - dalam, 142
 - dangkal, 142
- aliran – 143
- ketersediaan – 1
- lapisan – 63, 111, 113
- mengandung – 62, 111
- penyediaan – 2
- perekonomian perikanan – 2
- sebaran antar-muka – 141
- sumber – 32
- sumber utama – 26
- toko – 25
- akuifer, 16-17, 27-28, 73, 112, 140-141, 143,
 - daya dukung – 56
 - jenis – 54
 - kelompok – 113-114
 - lapisan – 114
 - mengisi ulang – 25
 - menurunkan – 62
 - pembentukan – 54
 - sistem – 142
- aliran, 25, 51, 113,
 - air, 91, 93, 118
 - air bawah tanah, 27
 - balik, 141
 - bawah permukaan, 23
 - dasar, 50
 - gerak – 73
 - mantap, 3, 50, 56
 - massa air, 27
 - permukaan, 3
 - sistem – 27
 - tahunan rata-rata, 51
 - tidak mantap, 3, 50-51
 - udara ke atas, 129-130
- Amerika,
 - Utara, 68
- Amerika Serikat, 81,
 - Chicago – 21
 - New York City – 21

Texas – 15
Asia,
– Pasifik, 51
– Selatan, 34
Azri, Chafai, 133

B

Bagchi, Suvagata, 90
Bali, 57, 103-104, 111, 126,
Denpasar – 33, 68, 126
Bangladesh, 90, 119,
Kaliakoir – 119
banjir, 14, 73-74, 102,
– bandang, 74
bencana – 72
bentuk – 51
mengakibatkan – 39, 48
munculnya – 41
pengendalian – 3
terjadi – 50-51
timbulnya – 76
Basri K., 70
Belanda, 141,
Rotterdam – 20
bendung(an),
mengancam kelestarian – 39
perencanaan pembangunan – 26
Bengkulu, 68
Bentham, Jeremy, 7
biota air, 39-40, 117, 119,
dampak terhadap kehidupan –
117
jenis – 118
mengganggu kehidupan – 117
menyebabkan kematian – 117
polutan berbahaya bagi – 45
populasi – 118
punahnya – 41

– yang tidak toleran terhadap
kondisi DO rendah akan
mengalami penurunan popu-
lasi, 117

Brich, Charles, 7

C

cair, 23, 28, 39, 65, 135,
bentuk – 15, 18
fase – 18
keadaan – 18
limbah – 34, 127-128
cairan, 17, 21, 83,
akumulasi – 122
– berminyak, 80, 82
karakteristik – 22
kehilangan – 120
– singular, 21
Cambodia, 88
Chandramohan, T., 118
Cilegon, 33, 60, 111
Cina, 51, 67,
Shanghai – 21
Cobb, John B., 8

D

danau, 3, 16-17, 25, 60, 68, 85, 115,
125, 139,
– alam, 3
eutrofikasi – 25
– kawah, 73
Datta, Diptendu, 33
Desiandi, Muhammad, 103, 116

E

Effendi, Supli, 10
Elfithri, Rahmah, 35

Eropa, 38, 68-69

G

Ghyben, Badon, 141
Goodpaster, Kenneth, 8

H

Hargrove, Eugene, 9
Herzberg, 141
hidrologi,
 daur – 23, 52
 informasi – 143
 siklus – 23-25, 65
Hilson, Gavin, 88
Hong Kong, 21
hujan, 24-26, 74, 85, 119,
 alat ukur – 26
 – asam, 38-39, 46, 68-69
 – beku, 26
 curah – 2, 50-51, 54, 63, 65, 118
 data – 26
 – es, 16, 25-26
 – harian, 26
 menjadi – 14, 16, 49
 musim – 33, 50-51, 57, 76, 93
 pH – 68
 – rintik, 26
 tadah – 55
 – turun, 14, 55, 139

I

India, 4, 33, 118,
 Bhutan – 34
 Dhaka – 137
 Hyderabad – 4
 Kerala – 118
 Kolkata – 33

Mumbai – 34

Nagpur – 33

Indonesia, 1-4, 30, 33, 40, 49-51, 53,
 55, 57, 60-63, 68-69, 76-79, 88,
 90, 92, 103, 111, 126, 133, 148

Inggris,

 bahasa – 23, 46

 London – 120

Irian Jaya, 89

 Jayapura – 68

irigasi, 3, 53, 95, 97,

 – air bawah tanah, 54

 – berfungsi mendukung produk-
 tivitas usaha tani, 55

 daerah – 56, 58

 kebijakan operasi dan pemelaha-
 raan – 57

 komisi – 58

 lahan – 141

 pengelolaan – 57-58

 – permukaan, 54

 – pompa, 54

 prasarana – 55

 proyek – 104

 – rawa, 54

 reformasi kebijakan pengelolaan
 – 57-58

 sektor – 50, 148

 sistem – 55, 58

 – tambak, 54

 – teknik, 56

 – teknis, 55

 tujuan – 4, 54

J

Jakarta → DKI Jaya, 33-34, 60-62,
 68-69, 77-79, 104, 108, 111-
 113, 126-127, 141-143,

- Cempaka Putih – 142
 Gambir – 142
 Grogol – 142
 Kapuk – 142
 Mookervart – 102, 127
 Pulo Gadung – 127
 Jawa, Pulau, 2-4, 33, 50-51, 56-57,
 61-62, 67-68, 78-79, 103-104,
 127
 Jawa Barat (Jabar), 33, 51, 60, 63,
 67, 69, 79, 111, 127,
 Cimahi – 60, 127, 137
 Cimahi Selatan – 127
 Dayeuhkolot – 60
 Bandung – 60-62, 68, 78-79,
 108, 126-127
 Bandung Selatan – 127, 137
 Bekasi – 60
 Bogor – 60-61
 Kali Bekasi – 102, 137
 Leuwigajah – 60
 Majalaya – 127
 Tangerang – 60-61, 127, 137
 Ujungberung – 60
 Jawa Tengah (Jateng), 33, 51, 57,
 63, 79, 111, 127,
 Brebes – 57
 Kali Garang – 127
 Klaten – 57
 Pekalongan – 127
 Prembun – 57
 Semarang – 33, 61-62, 111
 Sragen – 57
 Wonosobo – 61
 Jawa Timur (Jatim), 51, 57, 79, 127,
 Banyuwangi – 61
 Gresik – 60
 Jember – 57
 Kali Brantas – 102, 127
 Kali Surabaya – 102, 127, 137
 Kediri – 57
 Lumajang – 57
 Madiun – 57
 Madura – 57
 Malang – 61
 Mojokerto – 60
 Nganjuk – 57
 Ngawi – 57
 Ponorogo – 57
 Probolinggo – 57
 Surabaya – 60-61, 68, 79, 108,
 136
 Sidoarjo – 60
 Tuban – 57
 Jepang, 43, 69,
 Minamata – 43, 69
 Tokyo – 21
 Jerman, 141
 jumlah air, 15, 78,
 – di bumi terlihat konstan secara
 angka, 16
 – yang dibutuhkan manusia, 96
 – yang digunakan untuk permu-
 kiman perkotaan dan pedesa-
 an, 61
 – yang memasuki atmosfer, 24
 – yang selalu tersedia setiap sa-
 at, 50
 – yang terkandung dalam tanah,
 63
 – yang tersedia, 65

K

- Kalimantan, 2, 69
 Kalimantan Barat (Kalbar),
 Pontianak – 61-62, 68
 Kalimantan Selatan (Kalsel),

- Banjarmasin – 62
 - Kalimantan Timur (Kaltim), 70,
 - Samarinda – 61
 - Kanada,
 - Montreal – 20
 - kebutuhan air, 33, 51, 55, 60-61, 65, 97-98,
 - di pedesaan, 63
 - domestik dan non-domestik, 56
 - jumlah – 96
 - memenuhi – 3
 - mencukupi – 54
 - menyediakan – 60
 - perikanan, 56
 - permukiman kota, 62
 - rumah tangga, 98
 - upaya pemenuhan – 97
 - kualitas air, 1, 32, 35, 65, 68, 75, 97-98, 101, 113, 147-148,
 - bagi suatu peruntukan ditentukan oleh sifat fisik, kimia, dan kandungan bakteri di dalamnya, 66
 - berbagai jenis – 34
 - cara penanggulangan – 71
 - dangkal, 108
 - di pusat-pusat perkotaan, 34
 - indeks – 33
 - indikator – 77
 - kegiatan yang mempengaruhi – 65-66
 - kondisi – 4
 - limbah baku, 133
 - memantau – 102
 - memburuknya – 49
 - mempengaruhi – 76, 104
 - mengendalikan – 125
 - mengevaluasi – 33
 - mengubah – 33, 73
 - meningkatkan – 55
 - menurunnya – 4, 33, 105-106
 - nilai – 90
 - parameter – 76, 98
 - pemantauan – 125
 - pemodelan – 126
 - penurunan – 107
 - persyaratan – 98
 - secara umum menunjukkan mutu atau kondisi air yang dikaitkan dengan suatu kegiatan atau keperluan tertentu, 96
 - standar – 98
 - standar fisik – 76
 - studi – 34
 - studi pengelolaan – 126-127
 - terganggu, 39
 - turunnya – 34
- L**
- Lampung – 137
 - Langmuir, Irvin, 20
 - laut, 3, 5, 10, 23-24, 40, 49, 51, 138, 145-146, 148,
 - arus – 26
 - biota – 72
 - burung – 40
 - dasar – 27, 114
 - hewan – 40
 - muka – 141
 - permukaan – 39
 - rumpuk – 20
 - tumbuhan – 20
 - wilayah – 49
 - lautan, 14, 16, 20, 24-28, 49, 148,
 - dasar – 27

- luas, 15
- menggenangi – 40
- permukaan – 15
- salinitas – 25
- limbah, 4, 32, 69, 76, 81, 110, 142, 147,
 - akibat buangan – 33
 - asin, 141
 - baku mutu – 79-80
 - batuan, 87
 - berbahaya, 81
 - binatang peliharaan, 109-110
 - B3, 138
 - buangan – 107
 - cair, 34, 127-128
 - dapur, 109
 - detergen atau sabun, 117
 - domestik, 67, 77, 106-107, 128
 - eutrofikasi – 115
 - hasil pabrik, 106
 - industri, 40, 47, 51, 72, 79, 82, 87, 106, 108, 116, 119, 137
 - industri mengeluarkan – 30
 - kimia beracun dan logam berat, 2
 - manusia, 1
 - MCK, 109
 - melarutkan – 21
 - membuang – 44-45, 78
 - memecah – 21
 - menghasilkan – 77, 107
 - minyak atau lemak, 117
 - pabrik, 45, 69, 71
 - padat, 4, 119, 137-138
 - pembangkit tenaga listrik, 87
 - pembuangan – 34, 45, 113, 135
 - pemukiman, 40
 - penduduk, 4, 77, 127, 136
 - pengendalian – 138
 - penghasil – 78
 - pengolahan – 137
 - pertanian, 39
 - pestisida, 91
 - produksi – 106
 - radioaktif, 116
 - rumah tangga, 2, 4, 21, 30, 39-40, 71, 107-109, 135, 137
 - sarana pengolahan – 78
 - terpusat, 137
 - yang membutuhkan O₂, 117
- Ling, 22
- lingkungan (atau lingkungan hidup), 7, 9-10, 36, 47, 72, 75, 134, 143, 147-148,
 - adab – 10
 - ahli – 9
 - aspek – 11
 - audit – 6
 - dampak – 6
 - etika – 1, 5-10
 - geologi – 138
 - Islami, 10
 - isu – 5
 - isu-isu kerusakan – 4
 - kapasitas – 147
 - kebijakan – 6
 - kelestarian – 128, 146
 - kemampuan – 147-148
 - kerusakan – 10-11, 49, 138, 145-147
 - kesadaran – 10
 - keseimbangan dan kelestarian – 11
 - kinerja – 6
 - komponen – 28
 - kondisi – 138
 - krisis – 5-6, 145

manajemen – 6, 8
mutu – 147
peduli – 5
pelestarian – 10
pemanasan – 24
pemeliharaan – 7
pencemaran – 137
pengelolaan – 48, 147
penyehatan – 136
permasalahan – 10, 145
perubahan – 48
program sanitasi – 136
ramah – 10, 146
risiko – 6
UU – 6
– yang berkelanjutan, 6
– yang lestari, 48

M

Madinah, 11
Maier, Raina M., 81
Malaysia, 30, 35,
 Klang Valley – 30
Maluku, 50
mata air, 17, 25, 51, 53, 61-62, 73,
 – mineral, 72
 – panas, 72
 perlindungan – 63
 sumber – 71
 – yaitu air tanah yang keluar de-
 ngan sendirinya ke permuka-
 an tanah dalam, 53
Meksiko, 25
Mesir, 20,
 Mesopotamia – 20
molekul air, 16-19, 21, 23,
 – dapat diuraikan menjadi un-
 sur-unsur asalnya, 18

densitas – 22
– memiliki sejumlah momen di-
 pol, 18
– mengecil, 14
muatan fraksional – 23
– normal, 22

Murtiyanto, Nawa, 29

N

Nepal, 34,
 Himalaya – 34
Nusa Tenggara, 50
Nusa Tenggara Barat (NTB),
 Lombok – 57
 Sumbawa – 57

P

pantai, 62, 118,
 akuifer – 143
 daerah – 106, 111, 113, 140-141
 endapan aluvium – 114
 garis – 49, 113
 pesisir – 143
 – Probolinggo, 57
 tepi – 143
 – timur Sumut, 63
 – utara Jabar, 33, 63, 111
 – utara Jateng, 33, 57, 63, 111
 – utara Pulau Jawa, 78, 127
Papua, 50, 69
Parsegian, V. Adrian, 20
pelarut, 17, 21, 134,
 – bahan-bahan makanan, 97
 – digunakan sehari-hari untuk
 mencuci, 21
 – obat injeksi, 134
 – universal, 18

- yang kuat, 19
- zat – 20, 22,
- pencemaran air, 13, 30, 39, 41, 44, 66-67, 87, 100, 110,
 - adalah peristiwa masuknya zat, energi, unsur, atau komponen lainnya ke dalam air, sehingga menyebabkan kualitas air terganggu, 39
- akibat – 120
- dampak – 114, 119
- definisi – 35
 - didefinisikan sebagai masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, 34
- eutrofikasi – 117
- indikator – 80
- jenis bahan – 77
- klasifikasi dampak – 115
- komponen – 80, 107
- masalah – 78
- mengurangi bahaya – 71
- meningkatnya – 33, 105
 - oleh buang pemukiman, 33, 105
 - oleh limbah, 117
 - oleh logam Pb, 122
 - oleh lumpur, 67
 - oleh partikel tanah, 66
- pemantauan – 137
- pengendalian – 126, 136
- penyakit menular akibat – 119
- penyebab terjadinya – 80
- proses – 112
- sumber – 39, 77
- teknologi pencegahan dan penanggulangan – 126
- timbulnya – 107
- tingkat – 101
- tipe – 114
- pencemaran lingkungan, 30, 51, 75,
 - adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, 36
 - dampak – 45
 - konteks – 137
 - macam-macam – 36
 - mencegah terjadinya – 41
 - parameter – 43
 - pelaku – 47
 - terjadinya – 47, 66
 - usaha-usaha mencegah – 47
- pengairan, 54, 57,
 - air sumber – 54
 - pengapuran – 68
 - Puslitbang – 102
 - saluran – 89
 - sawah, 84-85, 105
- penggunaan air, 56, 95, 98
 - efisiensi – 56
 - makin meningkat, 97
 - untuk pedesaan, 62
 - untuk permukiman, 61
 - untuk pertanian, 61
 - yang berlebihan, 50
- perairan, 1, 21, 27, 44, 81-82, 100-101, 104, 108, 110, 118-119,
 - arus lambat, 102
 - asidifikasi – 68
 - badan – 107
 - BOD – 117
 - bumi, 20
 - dasar – 41, 44, 81, 117-118
 - dangkal, 20

- DO – 117-118
 ekosistem – 3, 20
 kolom – 20
 kualitas – 61
 lingkungan – 41, 117
 luas – 3
 mencemari – 67
 penggunaan pestisida terhadap
 kehidupan – 93
 rantai makanan – 67
 sanitasi – 89
 suhu – 119
 sumberdaya – 41
 sumber pencemaran – 93
 – tak dapat lagi mendukung ke-
 hidupan organisme yang peka
 pH rendah, 68
 – umum, 100
- Prancis,
 Paris – 21
- R**
- Rabbani, Golam, 119
 Rahman, Mafizur, 137
 Rajankar, PN., 33
 Rusia, 22
- S**
- Sagoff, Mark, 9
 salju, 16, 24-26,
 – padat, 24
 – yang mencair, 24
 Sandrin, Todd R., 81
 Sarkar, Shahjahan Kaisar Alam, 137
 Sekhar, M., 34
 Singer, Peter, 7
 Skandinavia, 68
 Soemarwoto, Otto, 29
- Sotham, Sieng, 88
 Srivani, B., 4
 Subramanian, V., 34
 Sulawesi, 50, 103
 Sulawesi Selatan (Selsel),
 Makassar – 68
 Sulawesi Utara (Sulut), 70,
 Minahasa – 70
 Sumatra, 2, 33, 50, 103
 Sumatra Selatan (Sumsel),
 Palembang – 61-62, 103
 Sumatra Utara (Sumut), 63, 80, 127,
 Belawan – 60
 Langkat – 102-103
 Medan – 33, 60, 62, 67-68, 102-
 103, 111, 136
 Tanjung Balai – 103
 sumber air, 3, 35, 55, 61, 77, 89,
 140,
 ada beberapa – 58
 berbagai jenis – 32
 berhentinya – 49
 – dalam, 58
 – domestik, 51
 hilangnya – 74
 jenis-jenis – 53
 macam-macam – 52
 mencemari – 88
 peradaban manusia berjaya
 mengikuti – 20
 potensi berbagai – 49
 – utama, 58
 sumberdaya air, 49, 72, 98, 105,
 125,
 – adalah kemampuan dan kapa-
 sitas potensi air yang dapat
 dimanfaatkan oleh kegiatan
 manusia untuk kegiatan sosial
 ekonomi, 32

- degradasi – 79
- keberadaan – 1
- kerusakan – 11, 146
- kondisi – 50
- konservasi – 50, 148
- kuantitas – 32-33
- menjaga dan melestarikan – 70-71
- pemanfaatan – 53
- pengelolaan – 35-36
- potensi – 2, 50-51, 61
- program reformasi bidang – 50, 148
- sektor – 50, 148
- tingkat – 51
- total – 51
- sumur, 17, 74, 106-108, 112, 140-141,
 - bor, 57, 60, 62-63, 107, 112
 - dalam, 60, 63, 142
 - dangkal, 63, 142
 - gali, 57, 62-63, 105, 108, 112-113
 - pasak, 57, 63
 - pompa, 105
- sungai, 3, 16-17, 23, 25, 33-34, 39-40, 45, 49, 51-52, 58, 60-62, 67, 69, 71-73, 77-78, 85, 88-89, 95, 102, 113, 115, 118-119, 125, 137, 139-141,
 - aliran – 3, 39, 49, 148
 - anak – 17, 34
 - Angke, 104
 - Asahan, Tanjung Balai, 103
 - badan – 78
 - Banyu Putih, 73
 - Belawan, Sumut, 103
 - biota – 39
 - Chaliyar, India, 118
 - Cikaranggalam, 126
 - Cikedokan, 126
 - Ciliwung, 67, 102-104
 - Citarum, Bandung, 67, 102, 126-127
 - Code, 113
 - daya asimilasi – 4
 - Deli, 102-103
 - Dimembe, Minahasa, 70
 - Dodokan, NTB, 103
 - Hoogly, India, 33-34
 - karakteristik – 3
 - kemampuan – 2
 - kualitas air – 101
 - Maninting, NTB, 103
 - Meenachil, India, 118
 - Mississippi, Amerika Serikat, 25
 - Musi, 103
 - Nil, Mesir, 20
 - perairan – 61, 78
 - pH – 68
 - Putih, 73
 - Rea, NTB, 104
 - Semayang, Langkat, 102-103
 - semenanjung selatan, 34
 - Setangga, NTB, 103
 - strategis, 35
 - Sunter, 104, 127, 142
 - tepiian – 51
 - Tigris, Mesir, 20
 - Tondano-Tondano, Sulut, 103
 - utama, 118
 - Wei Pangubuan, 102
 - Winongo, 113

T

Taylor, Paul, 8

teluk,
– Badung, 103
– Jakarta, 104, 113
– Mati, 103
– Meksiko, 25
– Minamata, 69
terlarut, 68, 73, 83, 106,
air – 135
CO – 59
garam – 25, 115
kadar O₂ – 2
mudah – 110
oksigen – 2, 43-45, 81, 101-102,
109-110
residu – 111
senyawa organik – 129-130
zat – 140
Tian, Yu, 67
Tripathy, DP, 6
Troschin, 22
Tunisia, 133,

U

Unnisa, Syeda Azeem, 4

W

waduk, 1, 3, 51, 58, 95, 125,
– Juanda, 126
sanitasi – 95
Wardhana, Wisnu Arya, 80

Y

Yogyakarta, 57, 61, 112, 127,
Gunung Kidul – 57
Kulon Progo – 88
Wates – 57

Z

Zen, M.T., 32

- , 2001. “*Al-Qur’an dan Terjemahannya* (Transliterasi Arab-Latin Model Kanan Kiri.” Semarang: Penerbit Asy-Syifa’.
- Achmad, Rukaesih. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: Andi, 36.
- Afroz, Rafia., Hassan, Mohd Nasir., Awang, Muhamad., and Ibrahim, Akma. 2006. Impact of air pollution on health in Klang Valley, Malaysia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **3** (1): 27-38.
- Anjayani, Erni, dan Tri Haryono. (2009). *Geografi*. Jakarta: PT Cempaka Putih.
- Anonim. 1984. *Pestisida untuk Pertanian dan Kehutanan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pertanian Tanaman Pangan.
- Ardi, Muhammad. 1992. *Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 1992*. Jakarta: Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup.
- Arif, Saiful. 2007. *Ekologi Manusia dan Kesadaran Individu dalam Pengelolaan Lingkungan*. Jakarta: UI-Press.
- Azri, Chafai; Abida, Habib; and Medhioub, Khaled. 2008. Performance evaluation of the wastewater treatment plant of Sfax City (Tunisia): Influence of intrinsic and extrinsic factors. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **5** (3): 35-47.
- Bagchi, Suvagata., Azad, AK., Alomgir, M., Chowdhury, Z., Uddin, M. Amin., Al-Reza, Sharif M., and Rahman, Atiqur. 2009. Quantitative analysis of pesticide residues in some pond water samples of Bangladesh. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **6** (4): 27-30.
- Baiquni dan Susilawardani. 2002. *Pembangunan yang Tidak Berkelanjutan*. Yogyakarta: Transmedia Global Wacana.
- Basri K. 2005. Pengaruh plumbum (Pb) dari bahan buangan kendaraan bermotor terhadap konsentrasi Pb di dalam darah pedagang kaki lima. *MEDIA EXACTA, Journal of Science and Engineering*, Juli; **6** (2): 768-775.

- Chandramohan, T., Balchand, AN, and Mathew, Samson. 2009. Discharge and sediment transport in the tropical rivers of Kerala, India and their controlling factors. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **6** (4): 1-9.
- Danang, Endarto., Sarwono., dan Singgih Prihadi. 2009. *Geografi 1*. Jakarta: Grahadi.
- Datta, Diptendu; Banerjee, Prasanta Kumar; and Datta, Siddhartha. 2009. Evaluation of water quality along the Bank of River Hoogly (Kolkata Metropolitan Area) using the physico-chemical parameter and water quality index. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **6** (3): 19-26.
- David, Biello. 2011. *Human Population Reaches 7 Billion--How Did This Happen and Can It Go On?*.[http://www/Scientific American/Artikel](http://www/ScientificAmerican/Artikel). Diakses 29/7/2012.
- Desiandi, Muhammad. 2009. Pemeriksaan kualitas air minum pada daerah persiapan Zona Air Minum Prima (ZAMP) PDAM Tirta Mas Palembang Tahun 2009. *Artikel Jurnal*.
- Effendi, Supli. 2008. *Etika Lingkungan dan Perspektif Filsafat*. Rahim Bandara KLLIA.
- Elfithri, Rahmah; Mokhtar, Mazlin B.; and Saad, Nik Mohd Noor Faizul B. 2008. Data and information for integrated water resources management (IWRM): Needs and challenges. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **5** (4): 49-57.
- Elliot, Jennifer. 2006. *An Introduction to Sustainable Development Third Edition*. London and New York.
- Fischetti, Mark. 2011. *World Population Set to Hit 9.1 Billion in 2050*. <http://world population review.com>. Artikel. Diakses 29/7/2012.
- Frank, H. Stillinger and Aneesur, Rahman. 1974. Improved simulation of liquid water by molecular dynamics. *The Journal of Chemical Physics*, February; **60** (4): 1545-1557.
- Harmadi, Sonny H.B dan Tjiptoherijanto, Prijono. 2009. Prediksi ketenagakerjaan dan sektor pertanian di Indonesia tahun 2009 serta antisipasi terhadap ancaman krisis global. *Jurnal Kependudukan Indonesia*, IV (2).

- Hilson, Gavin. 2002. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: identifying problems and possible solutions. *The Geographical Journal*, **167** (1): 57-72.
- Kasman Jaya, 2006. Kependudukan dan sustainable development. *Tabloid Pendidikan Cerdas*, Kopertis Wil.IX Sulawesi, Makassar.
- Keraf, Sonny. 2010. *Etika Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kompas.
- Khudori. 2004. *Neoliberalisme Menumpas Petani*. Yogyakarta: Resist Book.
- Murtiyanto, Nawa. 2011. Lingkungan hidup dan ekologi. *WordPress*.
- Peter, Tyson. 2004. Life's little essential. *NOVA, Origins*, July.
- Rabbani, Golam., Chowdhury, Mehrab., and Khan, Naima A. 2010. Impacts of industrial pollution on human health: empirical evidences from an industrial hotspot (Kaliakoir) in Bangladesh. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **7** (1): 27-33.
- Rajankar, PN., Gulhane, SR., Tambekar, DH., and Wate, SR. 2010. Application of water quality index to monitor groundwater quality in Nagpur City. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **7** (2): 89-92.
- Roosa, Stephen. 2010. *Sustainable Development Second Edition*. The Fairmont Press Inc.
- Saifullah. 2010. *Paradigma Pembangunan Lingkungan Hidup di Indonesia*. <http://opini online.com>. Diakses tanggal 29/7/2012.
- Sandrin, Todd R. and Maier, Raina M. 2003. Impact of metals on the biodegradation of organic pollutants. *Journal Environmental Health Perspectives*, **111** (8): 1093-1101.
- Sarkar, Shahjahan Kaiser Alam and Rahman, Mafizur. 2008. Water supply and sanitation condition of slum areas in Dhaka City. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **5** (1): 13-15.
- Sekhar, M., Rasmi, SN., Sivapullaiah, PV., and Ruiz, L. 2004. Groundwater flow modeling of Gundal sub-basin in Kabini River Basin, India. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **1** (1-2): 65-77.
- Setyawan, Iwan. 2012. *Waspada Bencana Ekologis Bencana*. <http://walhi waspada bencana ekologis.com>. Artikel. Diakses 30/7/2012.

- Soekardi. 2010. *Kualitas Lingkungan di Indonesia*. Jakarta: Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup.
- Soemarwoto, Otto 1991. *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jakarta: Djambatan.
- Soemarwoto, Otto. 2001. *Atur-Diri-Sendiri Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Soemarwoto, Otto. 2003. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sotham, Sieng. 2004. *Small-scale Gold Mining in Cambodia: A Situation Assessment*. Cambodia: Ministry of Industri, Mines and Energy, 37.
- Steiner, Frederick. 2002. *Human Ecology, Following Nature's Lead*. Washington-Covelo-London: Island Press, 3.
- Subramanian, V. 2004. Water quality in South Asia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **1** (1-2): 41-54.
- Surono.2012. *Bonus Demografi; Peluang atau Petaka?*./http//Intisari Online.com. Diakses 25 Juli 2012 .
- Tian, Yu; Zheng, Lei; and Sun, De-zhi. 2006. Functions and behaviors of activated sludge extracellular polymeric substances (EPS): a promising environmental interest. *Journal of Environmental Sciences*, **18** (3): 420-427.
- Tripathy, DP. 2011. Environmental auditing for sustainable development of Indian industries. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **8** (4): 9-20.
- Unnisa, Syeda Azeem and Srivani, B. 2008. Landfill impact on ground water. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **5** (2): 19-22.
- Wali. K Moha, Falih Envrendilek, M., and Siobhan Fennesy, 2009. *The Environment Science, Issue add Solutions*. CRC Press, Taylor & Farcis Group. Boca Raton.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2010. *Dampak Pemanasan Global*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Zen, M.T. 2002. *Menuju Kelestarian Lingkungan Hidup*. Jakarta: Gramedia, 172.