

KIMIA LINGKUNGAN

KIMIA LINGKUNGAN

(Teori, Eksperimen, dan Aplikasi)

Prof. A.K. Prodjosantoso, Ph.D.
Regina Tutik P., Msi.



Universitas Negeri
Yogyakarta



Penerbit Kanisius
Yogyakarta

Kimia Lingkungan

072275

© 2011 Kanisius

PENERBIT KANISIUS (Anggota IKAPI)

Jl. Cempaka 9, Deresan, Yogyakarta 55281, INDONESIA

Kotak Pos 1125/Yk, Yogyakarta 55011, INDONESIA

Telepon (0274) 588783, 565996; Fax (0274) 563349

E-mail : office@kanisiusmedia.com

Website: www.kanisiusmedia.com

Cetakan ke-	3	2	1
Tahun	13	12	11

Layout isi & Cover: V. Jaya Supeno

ISBN 978-979-21-3127-7

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apa pun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari Penerbit

Dicetak oleh Percetakan Kanisius Yogyakarta

Kata Pengantar

Buku KIMIA LINGKUNGAN yang kecil dan sederhana ini berisikan tentang kajian ringkas, pertanyaan-pertanyaan penuntun belajar, dan kegiatan laboratoris maupun kegiatan lapangan, seputar aspek kimiawi udara, air dan tanah. Buku ini ditujukan sebagai pemantik bagi peserta didik untuk mempelajari kimia lingkungan lebih luas dan mendalam, sehingga peserta didik mampu menyadari pentingnya pelestarian lingkungan secara utuh.

Karena sifatnya yang serba ringkas, buku ini tentulah tidak dapat digunakan sebagai rujukan yang komprehensif. Peserta didik diharapkan memahami konsep dan prinsip kimia lingkungan secara mandiri melalui penelusuran referensi lain, misalnya sumber elektronik menggunakan fasilitas ICT.

Banyak informasi penting menyangkut aspek kimia lingkungan yang tidak dapat disajikan secara rinci. Berbagai kekurangan tersebut telah penulis sadari ketika buku ini dalam tahap persiapan. Untuk itu, penulis sangat berterimakasih jika Anda bersedia memberi saran dan kritik demi perbaikan buku ini.

Yogyakarta, 26 Oktober 2011

Prof. A.K. Prodjosantoso, Ph.D.

Daftar Isi

KATA PENGANTAR.....	5
DAFTAR ISI.....	7
DAFTAR GAMBAR.....	8
DAFTAR TABEL.....	10
 BAB 1. UDARA KITA	 11
Pendahuluan.....	11
Tujuan.....	11
Mengapa udara harus dijaga kebersihannya?	12
Beberapa polutan udara	26
Bagaimana cara mendeteksi dan mengukur polutan udara?.....	38
Bagaimana cara menjaga agar udara tetap bersih?	45
 BAB 2 AIR KITA.....	 51
Pendahuluan.....	51
Tujuan.....	51
Bagaimana air terdistribusi?.....	51
Masalah yang ditimbulkan oleh polutan air?.....	59
Bagaimana cara mengukur efek negatif polutan air?.....	73
Cara memperoleh air bersih	87
 BAB 3 TANAH KITA.....	 94
Pendahuluan.....	94
Tujuan.....	95
Bagaimanakah proses terbentuknya tanah?.....	95
Bagaimana mengusahakan agar tanah menjadi produktif.....	110
Struktur tanah dan pertumbuhan tanaman	121
Polusi tanah.....	131
 Daftar Pustaka.....	 145

Daftar Gambar

1. Struktur vertikal atmosfer.....	13
2. Alat penghisap.....	17
3. Reaksi pembakaran.....	22
4. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara.	23
5. Industri pengolahan logam menyebabkan polutan udara melalui cerobong asap.....	24
6. Partikel asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru.	27
7. Distribusi SO ₂ akibat letusan Gunung Merapi tanggal 4 Nopember 2010.	28
8. Mobil sebagai sumber CO.	29
9. Efek ozon pada permukaan daun labu merah.....	31
10. <i>Chrysotile</i>	33
11. Paru-paru terserang tumor <i>mesothelioma</i> akibat menghirup asbes.	34
12. Proses terjadinya hujan asam, dan efek hujan asam bagi tanaman.	35
13. Patung terbuat dari batu rusak oleh hujan asam.....	36
14. Cara menempatkan penampung air hujan.....	37
15. Skema instrumen otomatis.....	45
16. Alur pemecahan masalah polusi udara.....	48
17. Stomata.....	49
18. Stomata membuka memungkinkan CO ₂ masuk dan uap air keluar.....	49
19. Distribusi air.	52
20. Air hujan yang melimpah mengakibatkan banjir.....	53
21. Beberapa jenis polutan tidak dapat diuraikan oleh bakteri.....	56
22. Seorang wanita penderita itai-itai.	65
23. Sindrom bayi biru.	71
24. Alat injeksi dengan jarumnya.	77
25. Yeast.....	79
26. <i>Protozoa paramaecium putrinum</i>	82
27. Cacing <i>tubifex</i>	83
28. Peta alur sungai.....	84

29. Tawas.....	88
30. Corong untuk menyaring padatan dalam air.....	90
31. Algae.....	91
32. Proses pengolahan air.....	92
33. Manfaat tanah.....	94
34. (A) Daerah sampel, dan (B) Cara pengambilan sampel.....	100
35. Gravel.....	100
36. (A) Pengeringan gelas beker, dan (B) pemanasan sampel dan kapas basah di atas pelat kaca.....	102
37. Rangkaian alat untuk pembuktian CO ₂	105
38. Lapisan tanah.....	106
39. Komposisi tanah.....	107
40. Si Kaki seribu.....	108
41. Baron Justus Von Liebig (1803-1873).....	111
42. Rangkaian alat untuk uji gas.....	115
43. Penyaringan larutan tanah.....	117
44. Rangkaian alat pengukur kapasitas penyimpanan air.....	120
45. Agregat tanah.....	122
46. Skala pH.....	124
47. Absorpsi nutrisi oleh akar tanaman.....	127
48. Siklus nitrogen.....	129
49. Posisi botol penampung air rembesan terhadap pot.....	133
50. Pemanasan sampel tanah.....	135
51. Alat untuk melarutkan timbal.....	138
52. <i>Biomagnification of DDT</i>	144

Daftar Tabel

1.	Komposisi udara bersih.....	14
2.	Komposisi larutan pada tabung A, B, dan C.....	18
3.	Data kegiatan #1.....	18
4.	Perkiraan tingkat bahaya polutan.	20
5.	Data pH sampel air hujan.....	37
6.	Beberapa tanaman yang sensitif terhadap polutan.....	39
7.	Pengamatan pada tanaman indikator.....	40
8.	Kerusakan bahan.....	41
9.	Pengamatan pada bangunan.	42
10.	Metode pengukuran polutan di udara.....	44
11.	Standar kualitas udara.....	47
12.	Kadar tertinggi yang diijinkan.	48
13.	Klasifikasi air permukaan.	55
14.	Kadar tertinggi yang diijinkan (KTD) logam-logam berat (mg/L).	65
15.	Jenis-jenis surfaktan.....	67
16.	Indikator kimia kualitas air.....	74
17.	Komposisi campuran.	80
18.	Jenis sampah yang dibuang oleh penduduk.....	85
19.	Komposisi campuran.	88
20.	Data pengamatan kegiatan.....	89
21.	Jenis tanah dan partikelnya.	101
22.	Nutrisi esensial.....	111
23.	Data kegiatan.....	121
24.	Jumlah nutrisi yang terabsorpsi dari dalam tanah oleh berbagai tanaman (kg per hektar).....	131
25.	Beberapa pestisida dan struktur molekulnya.	142

Bab 1

UDARA KITA

Pendahuluan

Udara ada di sekeliling kita. Udara merupakan sumber alam yang paling banyak kita butuhkan. Oksigen di udara diperlukan untuk pernafasan, yang merupakan bagian pokok dari proses hidup. Bandingkan besarnya peranan makanan, air dan udara bagi kehidupan manusia dan hewan!

Tanpa makanan, manusia dan kebanyakan hewan dapat bertahan hidup antara lima sampai delapan minggu. Tanpa air, manusia dan kebanyakan hewan dapat bertahan hidup tidak lebih dari lima hari. Sedangkan tanpa udara, manusia dan kebanyakan hewan hanya mampu bertahan hidup tidak lebih dari lima menit!

Setiap hari kita membutuhkan udara sebanyak tujuh sampai sembilan kali lebih banyak dari pada air dan makanan. Setiap hari kita membutuhkan sekitar 13,6 kg udara, 2 kg air dan 1,4 kg makanan.

Karena setiap saat kita membutuhkan udara untuk hidup, maka kita perlu menjaga agar udara tetap bersih. Kita seharusnya menjaga agar udara yang kita hirup sebersih makanan dan air yang kita konsumsi. Berkaitan dengan hal ini, kita perlu mengetahui tentang seluk-beluk udara, proses terjadinya polusi udara, dan usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk menjaga agar udara tetap bersih.

Tujuan

Setelah mempelajari pokok bahasan ini Anda diharapkan dapat:

1. mengidentifikasi zat-zat yang dapat menyebabkan terjadinya polusi udara,
2. menghitung konsentrasi gas tertentu di udara dalam satuan $\mu\text{g.m}^{-3}$, %, ppm, dan ppb,
3. menjelaskan pengaruh polutan udara terhadap makhluk hidup dan materi tak-hidup,
4. mengidentifikasi sumber polutan udara di sekitar kita,

5. menelusuri alur polutan dari sumber sampai terminal akhir,
6. menggunakan tanaman dan bahan-bahan lainnya sebagai indikator terdapatnya polutan,
7. membuat kesimpulan sementara tentang kualitas udara berdasarkan data pH air hujan,
8. menjelaskan metode-metode yang dapat digunakan untuk mengukur kadar polutan udara, dan
9. menyarankan cara-cara untuk mengurangi terjadinya polusi udara pada masyarakat di sekitar Anda.

Mengapa udara harus dijaga kebersihannya?

Udara merupakan campuran gas yang melingkupi permukaan bumi karena gaya grafitasi. Massa seluruh udara yang ada di muka bumi adalah sekitar $5,2 \cdot 10^{21}$ gram (g), dan udara tersebar pada permukaan bumi seluas $5,1 \cdot 10^{18}$ sentimeter persegi (cm^2). Setiap 1 cm^2 permukaan tanah diselimuti oleh sekitar 1 kilogram (kg) udara.

Sekitar 99,99 % udara berada pada ketinggian sampai 80 kilometer (km) dari permukaan bumi, dan sekitar separuhnya berada pada ketinggian antara 3 sampai 5 km. Udara pada ketinggian sampai 5 km inilah yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup. Massa, kerapatan, dan tekanan menurun secara tajam dengan semakin jauhnya jarak udara dari permukaan bumi. Suhu udara turun menjadi -70°C pada ketinggian sekitar 10 sampai 12 km, kemudian naik lagi secara mencolok hingga mencapai 0°C pada ketinggian 50 km, setelah itu turun drastis menjadi -100°C pada ketinggian 80 km, dan naik terus sejalan dengan semakin jauhnya dari permukaan bumi. Variasi suhu udara terhadap jaraknya dari permukaan bumi membagi atmosfer menjadi 4 lapisan (Gambar 1). Troposfer merupakan lapisan yang secara langsung berpengaruh terhadap perubahan cuaca dan iklim, dan lapisan ini sangat penting bagi kehidupan di bumi.



Gambar 1. Struktur vertikal atmosfer.

Komposisi udara bersih

Komposisi udara bersih dan kering pada permukaan air laut dapat dilihat pada Tabel 1. Konsentrasi uap air di udara berkisar antara 0,1 sampai 5 %, atau rata-rata sekitar 3,1 %. Air juga berisi aerosol, yaitu partikel padat atau cair yang terdiri dari berbagai molekul dengan diameter beberapa mikrometer ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

Pada keadaan normal, udara bermuatan negatif. Secara alami, muatan negatif berasal dari interaksi antara uap air atau butiran air hujan dengan sinar matahari, dan atau halilintar. Oksigen dari proses fotosintesis pada tumbuhan juga bermuatan negatif.

Tabel 1. Komposisi udara bersih.¹

Gas	% volume
Nitrogen (N ₂)	78,09
Oksigen (O ₂)	20,94
Argon (Ar)	0,93
Karbon dioksida (CO ₂)	0,00332
Neon (Ne)	0,0018
Helium (He)	0,00052
Kripton (Kr)	0,0001
Hidrogen (H)	0,00005
Ksenon (Xe)	0,000008
<i>Kategori polutan</i>	
Metana (CH ₄)	0,00015
Dinitrogen oksida (N ₂ O)	0,000033
Karbon monoksida (CO)	0,00001
Ozon (O ₃)	0,000002
Amoniak (NH ₃)	0,000001
Nitrogen dioksida (NO ₂)	0,0000001
Belerang dioksida (SO ₂)	0,00000002

Data dalam Tabel 1. ditampilkan dalam persen volume. Sebanyak 78,09 % nitrogen berarti terdapat 78,09 bagian N₂ dalam 100 bagian udara. Konsentrasi gas juga dapat diekspresikan dalam ppm. Dalam hal ini, 78,09 % setara dengan 780900 ppm N₂.

Pertanyaan #1.

Berapa ppm-kah $2,0 \cdot 10^{-8}$ % volume SO₂?

Udara yang belum terpengaruh oleh kegiatan manusia mengandung sejumlah kecil partikulat, gas-gas organik (misalnya NH₄), dan gas-gas anorganik (misalnya N₂O, NO₂, SO₂, O₃ dan H₂SO₄) yang biasanya dianggap sebagai polutan. Polutan ini selalu dapat ditemukan di udara, karena berasal dari proses alam. Belerang dioksida, misalnya, terbentuk dari oksidasi hidrogen sulfida secara alami. Kilatan halilintar menyebabkan nitrogen dan oksigen bereaksi membentuk oksida nitrogen.^{2,3,4} Aktivitas biologik pada senyawa nitrogen dalam tanah menghasilkan oksida nitrogen juga.

Gunung berapi secara alami menyemburkan partikulat, hidrogen sulfida, dan belerang dioksida.⁵ Gas-gas ini tidak terakumulasi di udara, tetapi akan hilang secara alami. Proses alami ini menyebabkan udara relatif aman bagi kesehatan.

Pertanyaan #2.

Udara di suatu tempat diketahui berturut-turut mengandung SO_2 dan NO_2 dengan konsentrasi sebesar 0,2 dan 0,01 ppm. Dapatkah udara di tempat tersebut dikatakan bersih?

Udara terpolusi

Aktivitas manusia dapat mengganggu proses-proses alam. Proses pembakaran bahan bakar berlangsung cepat dan menghasilkan suhu tinggi. Proses pembusukan dan respirasi merupakan proses alami yang berlangsung lambat dan pada suhu rendah. Gas dan partikulat yang dihasilkan pada proses yang dilakukan manusia dapat mengganggu alam. Bahan-bahan ini akan menjadi polutan jika konsentrasinya relatif tinggi sehingga proses penghilangannya tidak secepat proses pembentukannya.

Senyawa-senyawa yang termasuk sebagai polutan udara diantaranya: partikulat, oksida belerang, karbon monoksida, oksida nitrogen, hidrokarbon, oksidan fotokimia, hidrogen sulfida, logam berat, dan asbes.^{6,7} Setiap polutan mempunyai sifat yang unik, dan berbeda dengan sifat polutan lainnya.

Beberapa polutan dihasilkan oleh industri-industri tertentu, seperti klorin (Cl_2), hidrogen klorida (HCl), hidrogen fluorida (HF), dan asam sulfat (H_2SO_4). Gas-gas tersebut beracun dan korosif. Bau, kebisingan, mikroorganisme, dan radiasi adalah polutan bentuk lainnya, dan tidak akan dibahas dalam buku ini.

Pertanyaan #3.

Gas apa sajakah yang termasuk dalam oksida belerang? Gas oksida belerang manakah yang paling banyak dijumpai di udara?

Pertanyaan #4.

Klasifikasikan polutan-polutan udara yang telah Anda kenali? Tunjukkan dasar pengklasifikasian yang Anda gunakan?

Udara yang terpolusi berpengaruh buruk terhadap lingkungan. Akibat buruk udara kotor dapat dialami manusia, hewan, tanaman, dan material tertentu. Partikulat dapat menyebabkan akibat buruk tambahan, yaitu dapat mengurangi daya tembus sinar matahari yang akan menyebabkan penurunan suhu bumi sebagai akibat pemantulan kembali sinar matahari oleh partikulat.⁸

Secara umum polutan dapat menyebabkan udara bermuatan positif.^{9,10} Ion positif menghambat gerakan bulu getar dan menyebabkan peningkatan viskositas permukaan tenggorokan. Peningkatan viskositas menyebabkan berkurangnya sensitifitas tenggorokan dan menurunnya kemampuan bagian tubuh kita tersebut untuk menolak partikulat sehingga partikulat sulit untuk keluar dari tenggorokan. Ion positif juga dapat menyebabkan kecemasan, depresi, dan lemah mental. Polutan udara tidak hanya bersifat toksik, tetapi juga dapat melemahkan mekanisme daya tahan tubuh.

Kegiatan #1.

Asap tembakau merupakan sumber CO, NO_x, H₂S, dan berbagai senyawa berbahaya lainnya. Dalam kegiatan ini Anda akan mengamati pengaruh asap tembakau terhadap produksi adenosin trifosfat (ATP) dalam sel yeast. Energi kimia yang tersimpan dalam ATP digunakan oleh sel untuk mengendalikan fungsi kerjanya. Ketidak-adaan ATP atau berkurangnya jumlah ATP akan menghambat fungsi sel, dan bahkan menghentikan fungsi sel sama sekali.

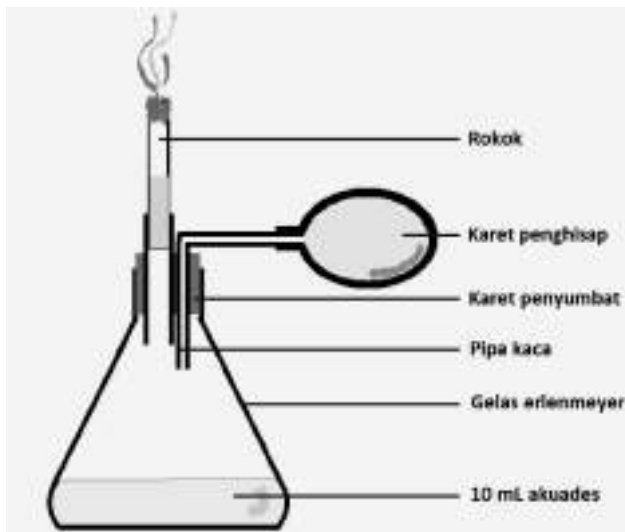
Alat dan bahan yang dibutuhkan:

1. 1 buah gelas erlenmeyer 250 mL (atau botol bermulut lebar).
2. 1 buah karet respirator (penghisap).
3. 2 buah pipa kaca, lurus dan bengkok.
4. 1 buah sumbat karet berlubang gAnda.
5. 1 buah sumbat gabus.
6. 3 buah tabung reaksi.
7. 1 buah gelas beker 10 mL.
8. 1 buah *stopwatch* atau jam digital.
9. Beberapa batang rokok dari berbagai merek.
10. 1 gram gula pasir.

11. 1,5 gram yeast.
12. 20 mL akuades.
13. Larutan metilen biru 0,3%.
14. Kertas saring yang telah ditimbang.
15. 1 buah spatula.
16. Neraca.

Cara kerja:

1. Buatlah rangkaian alat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat penghisap.

2. Siapkan beberapa batang rokok dari berbagai merek.
3. Masukkan 10 mL akuades ke dalam gelas erlenmeyer. Tutup erlenmeyer dengan sumbat karet rapat-rapat. *Hisaplah* sebatang rokok dengan cara menekan dan mengendorkan tekanan pada karet penghisap berulang-ulang dengan selisih waktu sekitar 10 sampai 15 detik. Ambil batang rokok apabila panjangnya kira-kira tinggal 1 cm. Ambil sumbat karet dan tutuplah erlenmeyer dengan gabus. Gojoklah erlenmeyer sampai semua asap yang ada larut dalam air. Dinginkan larutan asap dengan cara merendam sekitar 1 cm bagian dasar erlenmeyer dalam akuades hingga suhunya sama dengan suhu ruang.

4. Berilah tanda pada tiga buah tabung reaksi dengan huruf A, B, dan C. Masukkan 0,25 gram gula dan 0,5 gram yeast kering ke dalam setiap tabung reaksi. Pada tabung A dan B tambahkan 4 mL akuades. Pada tabung C tambahkan 4 mL larutan asap (Tabel 2.). Gojoklah ketiga tabung reaksi sampai gula larut. Kemudian pada tabung reaksi B dan C tambahkan satu tetes larutan metilen biru. Peganglah kedua tabung reaksi dengan satu tangan dan gojoklah secara bersamaan. Tekan *stopwatch* untuk menandai dimulainya penggojokan. Biarkan ketiga tabung reaksi berdampingan dan lakukan pengamatan. Catatlah waktu pada saat warna larutan pada tabung A telah sama dengan warna larutan pada tabung B dan C.

Tabel 2. Komposisi larutan pada tabung A, B, dan C.

Bahan	Tabung A (larutan blanko)	Tabung B (larutan kontrol)	Tabung C (larutan asap)
Gula (g)	0,25	0,25	0,25
Yeast (g)	0,50	0,50	0,50
Akuades (mL)	4,00	4,00	-
Larutan asap (mL)	-	-	4,00
Pewarna metilen biru (mL)	-	1,00	1,00

5. Kumpulkan data dari semua kelompok untuk masing-masing merek rokok. Isilah kolom-kolom pada Tabel 3.

Tabel 3. Data kegiatan #1.

	Rokok #1	Rokok #2	Dst.
Waktu B (menit) Jumlah waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan warna larutan kontrol.			
Waktu C (menit) Jumlah waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan warna larutan asap.			

Pertanyaan #5.

Bandingkan waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan warna pada tabung B dan C. Buatlah suatu kesimpulan umum berdasarkan hasil pengamatan Anda tersebut!

Pertanyaan #6.

Bagaimanakah pengaruh asap tembakau pada sel yeast?

Pewarna metilen biru berubah dari biru tua menjadi tidak berwarna karena terjadinya reaksi reduksi. Pewarna tersebut mengambil elektron selama proses produksi ATP. Waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan warna pada larutan B menunjukkan gerakan elektron dan kecepatan sintesis ATP oleh sel yeast. Kecepatan pembentukan ATP bervariasi tergantung pada aliran elektron. Waktu pada C menunjukkan gerakan elektron yang lebih lambat.^{11,12} Pengaruh asap tembakau pada sel yeast juga dapat terjadi pada sel dalam tubuh manusia.¹³

Toksisitas terhadap manusia hanya merupakan salah satu aspek dari masalah polusi lingkungan. Aspek lain yang mungkin lebih penting adalah kemampuan polutan dalam hal perubahan iklim global.¹⁴

Polusi udara oleh oksida belerang, misalnya, dapat berpengaruh buruk terhadap tanaman yang peka terhadap SO_x , yaitu menyebabkan kematian, atau kekeringan pada batang dan daun tanaman.¹⁵ Perubahan ini menyebabkan berkurangnya jumlah dan jenis nutrisi untuk hewan dan organisme yang hidup di daerah tertentu. Akhirnya, ekosistem yang kompleks kehilangan beberapa spesies tanaman dan hewan sehingga ekosistem menjadi lebih sederhana.

Oksida belerang dan nitrogen dapat berubah menjadi asam yang secara langsung dapat berpengaruh buruk terhadap kehidupan tanaman dan hewan. Sejumlah asam tersebut dapat hilang dari udara karena larut oleh air hujan yang kemudian turun dan meresap ke dalam tanah atau masuk dalam sistem perairan. Hal ini dapat menyebabkan keasaman air sungai dan danau meningkat, yang kemudian dapat menyebabkan kematian pada beberapa jenis ikan dan hewan air lainnya. Kemampuan air hujan yang bersifat asam melarutkan mineral dalam tanah dan menyebabkan tanah menjadi kurang subur.^{16,17,18}

Polutan manakah yang paling berbahaya? Faktor apakah yang berpengaruh terhadap tingkat bahaya suatu polutan? Terdapat 4 faktor yang berpengaruh terhadap tingkat bahaya suatu polutan, yaitu:¹⁹

1. jumlah polutan di lingkungan,
2. tingkat toleransi, yaitu konsentrasi maksimum polutan yang dapat berada di udara tanpa menimbulkan efek negatif,
3. lamanya polutan di udara, yaitu waktu rata-rata suatu polutan dapat berada di lingkungan, dan
4. interaksi antarpolutan, yaitu suatu polutan meningkatkan atau menurunkan atau tidak mempengaruhi efek negatif polutan lainnya.

Besarnya tingkat toleransi karbon monoksida adalah $3,5 \cdot 10^4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, sedangkan toleransi partikulat besarnya $3,5 \cdot 10^4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$. Berdasarkan angka tersebut dapat dikatakan bahwa partikulat lebih berbahaya daripada karbon monoksida. Karbon monoksida tidak mempunyai efek terhadap polutan lain, sedangkan partikulat dapat meningkatkan kerusakan yang disebabkan oleh gas SO_2 .

Dengan mempelajari karakteristik berbagai polutan, para ahli mendapatkan perkiraan tingkat bahaya polutan (Tabel 4). Beberapa ahli lainnya mendapatkan harga persentasi yang berbeda dengan harga yang tercantum dalam Tabel 4., namun pada umumnya para ahli setuju jika partikulat diklasifikasikan sebagai polutan dengan tingkat bahaya yang tertinggi. Sampai saat ini belum diketahui tingkat bahaya beberapa polutan lainnya, seperti oksidan fotokimia dan logam berat.

Tabel 4. Perkiraan tingkat bahaya polutan.

Polutan	Partikulat	SO_2	NO_x	Hidrokarbon	CO	Total
Tingkat bahaya (%)	50	27	12	7	4	100

Selain dalam % dan ppm, konsentrasi polutan juga dinyatakan dalam mikrogram per meter kubik atau $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Konversi satuan dapat dilakukan menggunakan rumus berikut (pada 20°C dan 1 atmosfer):

$$\mu\text{g.m}^{-3} = \text{ppm} \times \text{massa molekul relatif} \times 40,9$$

$$\text{ppm} = \mu\text{g.m}^{-3} \times \frac{2,445 \cdot 10^{-2}}{\text{massa_molekul}}$$

Tingkat toleransi CO adalah $3,5 \cdot 10^4 \mu\text{g.m}^{-3}$. Berapakah konsentrasi CO dalam ppm? Massa molekul relatif CO = 28.

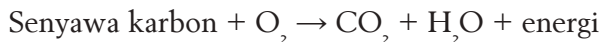
$$\text{ppm} = 3,5 \cdot 10^4 \times \frac{2,445 \cdot 10^{-2}}{28} = 31 \text{ ppm}$$

Pertanyaan #7.

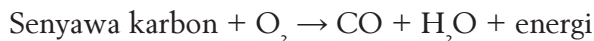
Berapakah konsentrasi 0,0002 ppm SO_x dalam $\mu\text{g.m}^{-3}$?

Bagaimanakah proses pengotoran udara?

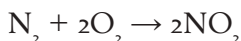
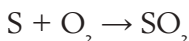
Sumber utama polutan udara adalah proses pembakaran, yaitu reaksi antara oksigen dengan senyawa karbon, yang berlangsung dengan cepat, menghasilkan energi (Gambar 3). Bila senyawa karbon terbakar secara sempurna akan dihasilkan karbon dioksida dan uap air.



Bila pembakaran berlangsung dengan oksigen terbatas akan dihasilkan gas karbon monoksida.



Belerang yang merupakan pengotor dalam batubara dan minyak bila terbakar akan menghasilkan SO_2 . Jika pembakaran berlangsung pada suhu tinggi, selain terbentuk oksida belerang, juga akan terbentuk oksida nitrogen. Nitrogen yang terbakar berasal dari udara.²⁰





Gambar 3. Reaksi pembakaran.²¹

Pertanyaan #8.

Apakah kegiatan Anda sehari-hari dapat meningkatkan konsentrasi polutan udara? Jelaskan?

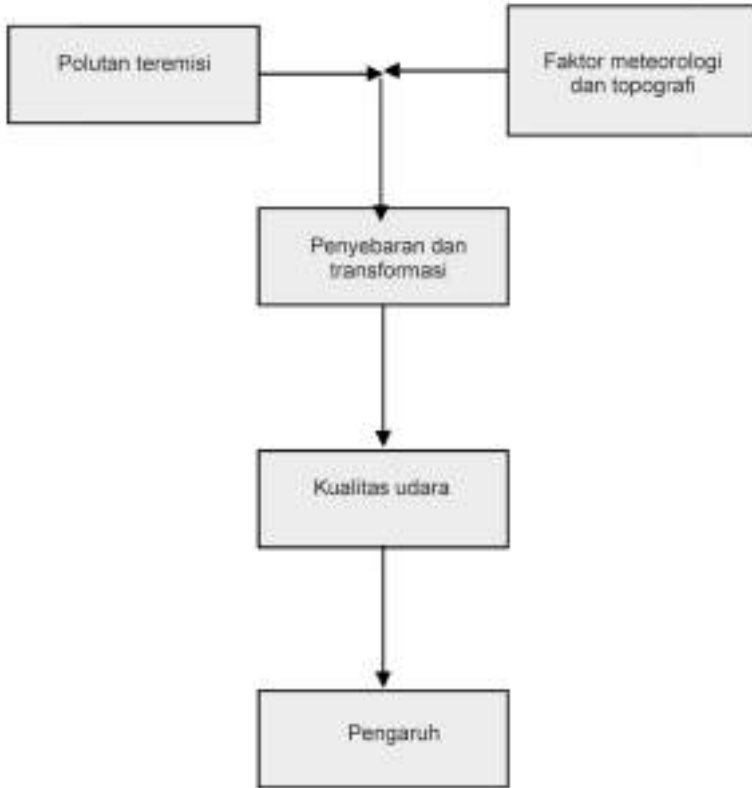
Keberadaan sumber polutan tidak langsung dapat menimbulkan masalah polusi udara. Kualitas udara berubah secara kontinyu tergantung pada aktivitas yang dilakukan manusia dan kondisi alam. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara dan interaksinya dapat dilihat pada Gambar 4.

Penyebaran polutan udara

Apa yang terjadi setelah polutan berada di udara? Kemana polutan menyebar? Terdapat tiga kemungkinan perilaku polutan di udara:

1. bergerak terus di udara dan berpenyebaran sebagai akibat angin dan perbedaan suhu,
2. berinteraksi antarpolutan atau polutan dengan senyawa lain baik secara kimia maupun fisika, dan

3. mengendap/hilang dari udara, misalnya ke dalam laut, tanah, atau masuk dalam sistem metabolisme manusia, hewan dan tumbuhan.



Gambar 4. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polusi udara.²²

Dua faktor yang sangat berpengaruh terhadap penyebaran polutan, yaitu suhu pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah dan gerakan udara (Gambar 4.). Polutan yang keluar dari cerobong asap pabrik biasanya bersuhu sedikit lebih panas daripada suhu lingkungan. Karena kerapatan polutan ini relatif lebih kecil dari udara di sekelilingnya, maka polutan akan bergerak ke atas sambil memancarkan panas ke lingkungan, yaitu udara yang bersuhu relatif lebih dingin. Tanpa adanya angin, polutan udara akan bergerak terus ke atas sampai kerapatannya sama dengan udara sekitarnya. Dengan adanya angin, suhu asap akan segera turun dan bergerak sesuai dengan arah angin. Polutan dapat juga bergerak sesuai dengan arah sumbernya, mencapai tanah dan terdistribusi dengan konsentrasi yang relatif tinggi.

Industri dan pembangkit tenaga listrik dilengkapi dengan cerobong asap yang tinggi untuk membuang polutan ke udara (Gambar 5). Usaha ini dilakukan untuk mengurangi tingkat bahaya polutan dengan cara menyebarkan polutan seluas mungkin sehingga saat polutan ini mencapai tanah konsentrasinya sudah relatif kecil dan tidak berbahaya. Namun demikian, cara demikian tidak begitu praktis. Alasan pertama, pelarutan polutan dari cerobong asap tergantung pada suhu rata-rata lingkungan dan angin. Pada saat angin bertiup pelan atau tidak ada tiupan angin sama sekali akan terjadi peningkatan konsentrasi polutan di udara sekitar. Kedua, kemampuan atmosfer untuk menampung polutan relatif kecil. Pembentukan dan penyebaran polutan dapat menyebabkan masalah lokal, regional, atau bahkan global.



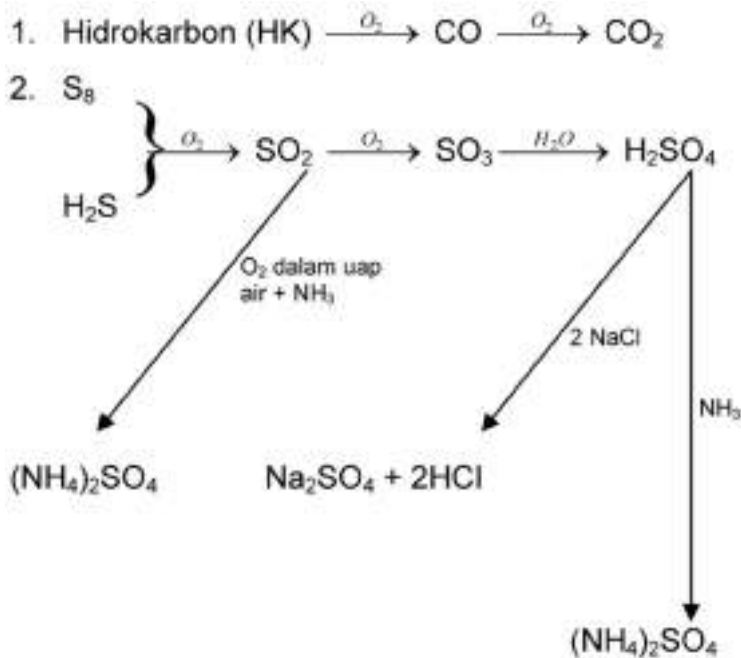
Gambar 5. Industri pengolahan logam menyebarkan polutan udara melalui cerobong asap.²³

Pertanyaan #9.

Atmosfer bagian manakah yang relatif paling banyak mengandung polutan?

Perubahan dan proses menghilangnya polutan dari udara²⁴

Selama berada di udara, polutan dapat mengalami perubahan dengan kecepatan yang berbeda-beda, dan membentuk berbagai macam produk. Sebagai contoh:



Berbagai perubahan bisa terjadi pada polutan maupun udara itu sendiri pada proses pembersihan udara. Kadang-kadang beberapa senyawa berubah menjadi lebih berbahaya daripada senyawa aslinya. Namun satu hal yang perlu dicatat ialah bahwa reaksi kimia akan menghasilkan komponen baru yang secara alami dapat hilang dari udara. Pengetahuan tentang umur suatu komponen berada di udara sangat terbatas.

Pertanyaan #10.

Apakah jumlah gas beracun, seperti NO₂ dan CO di udara dapat berubah?

Kegiatan #2.

Diskusikan tentang jenis dan sumber polutan yang ada di daerah Anda. Buatlah peta sumber polutan tersebut. Tandailah polutan utama yang terbentuk dan efeknya pada Anda dan lingkungan. Pelajarilah alur polutan

dari sumber sampai pada tubuh Anda atau sampai hilangnya dari udara. Interviuilah beberapa ahli kesehatan dan tentang polusi udara lingkungan di daerah Anda. Masalah polusi udara apakah yang paling buruk yang terjadi pada masyarakat di daerah Anda? Apa yang dapat Anda lakukan untuk mengurangi efek negatif polusi tersebut?

Beberapa polutan udara²⁵

Polutan udara utama dengan jumlah total > 90% di banyak negara meliputi: karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HK), belerang oksida (SO_x), dan partikulat (Part.). Polutan manakah yang mendominasi udara di daerah Anda? Proses-proses apakah yang menghasilkan polutan tertentu dalam jumlah relatif banyak? Jawaban kedua pertanyaan tersebut dapat menjadikan dasar pengambilan keputusan dalam mencegah terjadinya polusi udara oleh polutan tertentu.

Partikulat

Partikulat merupakan suspensi padatan dalam udara. Beberapa jenis partikulat diantaranya asap, debu, jelaga dan abu. Diameter partikulat adalah sekitar 10^{-7} cm sampai beberapa sentimeter. Partikulat berperan sebagai inti dalam proses kondensasi dan mempunyai kemampuan untuk menyerap dan memantulkan cahaya.

Secara alami partikulat dihasilkan pada proses letusan gunung berapi, erosi, kebakaran hutan dan penguapan air laut yang mengandung garam. Selain itu partikulat dihasilkan oleh proses yang dilakukan manusia (Gambar 6). Polutan dalam bentuk partikulat dihasilkan pada proses pembakaran dan proses mekanis, seperti penyemprotan, penghalusan dan penumbukan. Proses ini banyak terjadi pada industri peleburan tembaga, pengolahan biji besi, penyulingan minyak, pembangkit tenaga listrik, pabrik gula, dan proses pengolahan kayu.

Partikulat berbahaya bagi saluran pernafasan, menaikkan tingkat bahaya SO₂ terhadap paru-paru, dan menghambat sirkulasi CO₂ dan O₂ pada permukaan daun. Partikulat dapat pula menyebabkan pudarnya warna cat dan mempercepat proses korosi, terutama jika partikulat bersifat asam. Selain itu partikulat dapat menurunkan jarak pandang dan menurunkan jumlah radiasi matahari yang dapat mencapai permukaan bumi.

Sampai saat ini belum dapat diketahui dengan pasti proses terjadinya interaksi antarpartikel dan partikulat dengan polutan jenis lainnya. Konsentrasi suatu partikulat di udara dapat mengalami penurunan dengan adanya proses pengendapan, penempelan dan atau interaksi dengan daun suatu tanaman dan bangunan atau bahan lainnya, serta terbawa oleh air hujan.

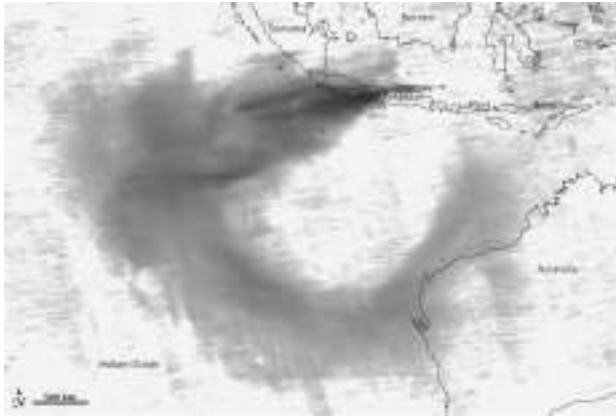


Gambar 6. Partikel asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru.²⁶

Belerang oksida (SO_x)

Belerang oksida meliputi belerang dioksida (SO_2) dan belerang trioksida (SO_3). Belerang dioksida merupakan gas yang berbau sangat menyengat. Gas ini dapat bereaksi dengan oksigen, amoniak, dan senyawa lainnya, misalnya uap air, membentuk embun dan larutan asam sulfat serta senyawa sulfat lainnya. Polutan senyawaan belerang yang paling dominan di daerah perkotaan adalah gas SO_2 dan embun asam sulfat.

Secara alami belerang dioksida di udara banyak dihasilkan oleh proses letusan gunung berapi (Gambar 7) dan oksidasi gas H_2S . Sumber lain yang berkaitan dengan kegiatan manusia adalah proses pembakaran batubara dan minyak serta proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Proses-proses tersebut banyak terjadi pada peleburan bijih logam nonbesi, pembangkit tenaga listrik, penyulingan minyak bumi, pembuatan kertas, semen, tekstil, plastik dan pembuatan karet.



Gambar 7. Distribusi SO_2 akibat letusan Gunung Merapi tanggal 4 Nopember 2010.²⁷

Oksida belerang dapat menyebabkan iritasi pada mata, tenggorokan dan saluran pernafasan lainnya. Kondisi pasien asma, bronkitis, dan emfisema dapat menjadi semakin parah dengan adanya oksida belerang. Oksida belerang dapat juga menyebabkan daun tanaman mengalami klorosis. Selain itu, oksida belerang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada logam dan bahan bangunan, merusak (mudah sobek) barang-barang yang terbuat dari kulit, kertas dan tekstil, serta memudarkan warna cat dan pewarna lainnya.

Belerang dioksida hanya dapat bertahan di udara selama 4 hari, sedangkan aerosol belerang oksida dapat bertahan sampai beberapa minggu. Belerang dioksida tidak dapat bertahan lama di udara karena terjadinya reaksi oksidasi menghasilkan SO_3 yang dengan segera bereaksi dengan uap air menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) dan mungkin akan bereaksi lebih lanjut membentuk amonium sulfat dan garam lainnya. Asam dan garam sulfat berada dalam bentuk aerosol. Bila terjadi hujan, aerosol akan terbawa oleh air hujan dan terjadi kontak dengan tanah, bangunan dan bahan lainnya, serta terserap ke dalam tanaman.

Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Secara alami karbon monoksida dihasilkan pada proses kebakaran hutan, reaksi di dasar laut, reaksi terpena, oksidasi metana (CH_4),

dan degradasi klorofil. Sumber CO lainnya yang berkaitan dengan kegiatan manusia adalah pembakaran tidak sempurna bahan bakar kendaraan bermotor (Gambar 8), dan asap rokok. Pembakaran bahan bakar secara tidak sempurna banyak terjadi pada kendaraan bermotor, dan penyulingan minyak. Karbon monoksida juga banyak dihasilkan pada proses pengolahan bijih besi dan pembuatan kertas.



Gambar 8. Mobil sebagai sumber CO.²⁸

Karbon monoksida dapat menurunkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Sebagai akibatnya, kebutuhan tubuh akan oksigen tidak terpenuhi dengan baik. Akibat lebih lanjut yang ditimbulkan adalah terganggunya fungsi koordinasi dan mental. Secara berurutan gejala yang ditimbulkan CO, dengan semakin meningkatnya konsentrasi, adalah sakit kepala, pusing, badan lemah, telinga berdengung, mabuk, muntah-muntah, sulit bernafas, lemah otot, tidak sadar, pingsan, dan mati.

Gas CO dapat bertahan di udara selama kurang lebih satu bulan. Oleh radikal hidroksil, CO teroksidasi menjadi CO₂.²⁹ Gas CO di udara juga dapat berkurang jumlahnya karena adanya proses biologi dalam tanah, dan pindah ke lapisan stratosfer yang kemudian diikuti dengan oksidasi menjadi CO₂.

Oksida nitrogen (NO_x)

Oksida nitrogen meliputi nitrogen oksida (NO), dinitrogen oksida (N₂O), dan nitrogen dioksida (NO₂). Gas NO dan N₂O tidak berwarna,

sedangkan NO_2 berwarna coklat kemerahan. Gas N_2O berbau tajam. Oksida nitrogen berada di udara sebagai akibat terjadinya reaksi oksidasi nitrogen (N_2) dengan adanya loncatan api/listrik dari halilintar, aktifitas bakteri tanah, dan berbagai reaksi yang terjadi dalam laut.

Gas nitrogen oksida banyak dihasilkan pada pembakaran minyak, kayu, batu bara, dan juga banyak didapatkan pada asap rokok. Gas tersebut juga banyak dihasilkan sebagai buangan pada industri bahan peledak (TNT = trinitro toluena), penyulingan minyak, dan industri semen.

Gas NO seperti juga CO dapat menurunkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Gas NO_2 dapat mengiritasi mata, hidung, tenggorokan, dan paru-paru. Daya rusak gas NO_2 terhadap daun pada tanaman meningkat dengan adanya gas SO_2 .

Secara umum oksida nitrogen dapat menyebabkan korosi pada logam dan bahan-bahan lain dengan cepat. Oksida nitrogen juga dapat menjadi pencetus terjadinya reaksi fotokimia, yang pada akhirnya menghasilkan *smog*³⁰ (kabut).

Gas NO dan NO_2 dapat bertahan di udara selama 5 hari, sedangkan N_2O dapat bertahan relatif lebih lama, yaitu antara 4 sampai 8 tahun. Gas NO dapat teroksidasi menjadi NO_2 , yang kemudian dapat bereaksi dengan air hujan atau uap air membentuk asam nitrat (HNO_3). Gas N_2O bergerak ke atas dan dapat mencapai lapisan stratosfer, serta mengalami oksidasi menjadi NO. Gas NO berperan besar dalam menjaga kestabilan jumlah ozon di stratosfer. Di udara, oksida nitrogen dapat pula mengalami pengurangan jumlah sebagai akibat larut dalam air hujan, kontak dengan tanah, bangunan dan batuan, terserap oleh air dan tanaman.

Hidrokarbon (HK)

Hidrokarbon merupakan salah satu polutan udara yang senyawanya terdiri dari unsur karbon (C) dan hidrogen (H). Biasanya HK sebagai polutan udara berbentuk gas pada suhu ruang. Senyawa HK dapat berinteraksi dengan nitrogen oksida menghasilkan *smog* yang berwarna gelap.

Senyawa HK banyak dihasilkan pada proses kebakaran hutan, pembakaran bahan bakar (misalnya minyak, kayu, dan batu bara) secara tidak sempurna, penyulingan minyak, pabrik petrokimia, penguapan pelarut organik, peruraian senyawa organik (terbentuk CH_4), dan proses lain pada tanaman yang belum dapat diketahui dengan jelas.

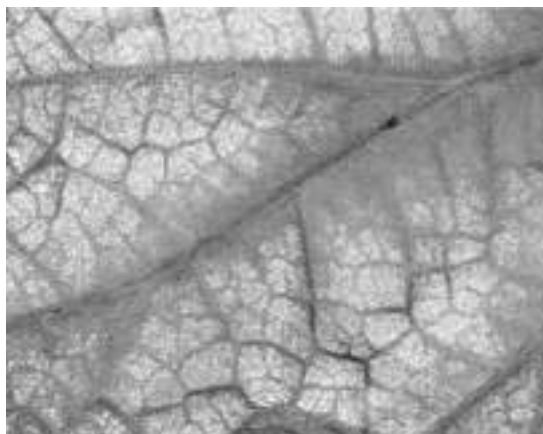
Senyawa HK aromatik, seperti benzena dan benzopirena dapat menyebabkan kanker pada hewan dan bersifat karsinogenik terhadap manusia. Senyawa HK berperan besar pada reaksi fotokimia. Pada reaksi fotokimia, HK bersama dengan NO_x dan O_2 membentuk *smog*.

Di udara gas metana (CH_4) dapat teroksidasi oleh radikal hidroksil menghasilkan gas CO. Gas CH_4 dapat bertahan selama 1 sampai 2 tahun di udara.

Oksidan fotokimia

Oksidan fotokimia meliputi ozon (O_3) (Gambar 9), peroksiasetil nitrat (PAN), peroksibenzoil nitrat (PBzN) dan gas-gas lain yang merupakan turunan hidrokarbon. Secara umum oksidan fotokimia di udara dihasilkan dari reaksi antara nitrogen oksida dan hidrokarbon. Dengan adanya sinar matahari, oksidan fotokimia mengoksidasi senyawa lain yang tidak dapat teroksidasi oleh oksigen di udara.

Pada konsentrasi rendah, peroksiasetil nitrat (PAN) dan peroksibenzoil nitrat (PBzN) dapat menyebabkan sesak nafas, batuk, dan iritasi pada mata. Paparan dengan senyawa ini dalam waktu lama dapat meningkatkan kepekaan tubuh terhadap infeksi oleh bakteri. Pada konsentrasi tinggi, PAN dan PBzN dapat menyebabkan kematian pada tumbuhan dan hewan, serta dapat menyebabkan kain mudah sobek, menurunkan elastisitas karet, dan memudahkan warna cat. Peroksiasetil nitrat dan peroksibenzoil nitrat dapat berada di udara dalam jangka waktu satu hari.



Gambar 9. Efek ozon pada permukaan daun labu merah.³¹

Hidrogen sulfida (H_2S)

Gas hidrogen sulfida merupakan gas yang tidak berwarna dan berbau tidak enak, seperti bau telur busuk. Gas ini banyak dihasilkan pada proses letusan gunung berapi, peruraian senyawa organik oleh bakteri anaerob, dan gas alam yang keluar bersama-sama dengan uap air panas dari perut bumi. Selain itu, gas ini juga dihasilkan pada proses industri (misalnya pabrik kertas) dan pengolahan limbah.

Pada konsentrasi yang relatif rendah gas H_2S dapat menyebabkan iritasi pada sel-sel sensorik, sedangkan pada konsentrasi yang tinggi gas tersebut dapat merusak syaraf pusat. Selain itu, gas H_2S dapat memudahkan warna cat, dan memudahkan warna paduan logam kuningan serta logam perak.

Di udara, gas H_2S mudah teroksidasi menghasilkan gas SO_2 , sehingga gas H_2S hanya berumur antara satu sampai dua hari saja.

Logam berat

Logam berat meliputi timbal (Pb), berilium (Be), kadmium (Cd), air raksa (Hg), dan nikel (Ni). Logam-logam ini perlu dipelajari secara khusus karena toksisitasnya yang tinggi terhadap manusia dan organisme lainnya.

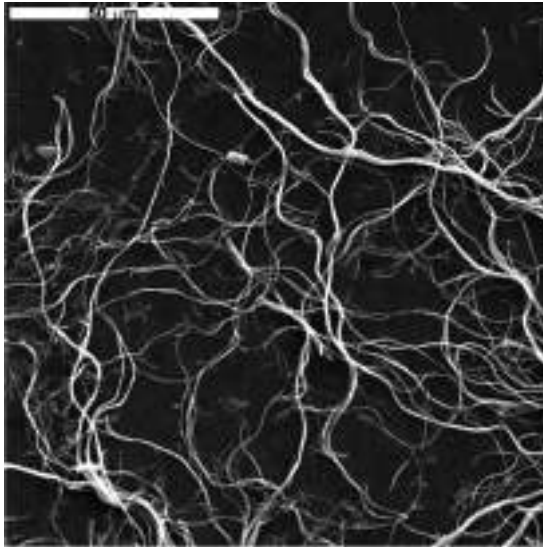
Timbal di udara secara alami diakibatkan oleh sebaran debu dari tanah yang mengandung timbal (sekitar 16 ppm) ke udara. Logam Pb di udara juga berasal dari buangan pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, pembakaran batu bara, dan industri cat. Logam Cd dihasilkan oleh industri pupuk, cat, dan plastik. Air raksa terdapat dalam limbah pembakaran batu bara dan arang. Logam Be dan Ni dihasilkan pada berbagai proses industri dan pembakaran batu bara.

Logam Pb dapat menyebabkan kerusakan otak, perubahan tingkah laku, dan kematian pada manusia. Berilium dapat menyebabkan kerusakan pada paru-paru, pembengkakan limpa, dan badan menjadi kurus. Kadmium dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan paru-paru. Air raksa dapat menyebabkan tremor, kulit terkelupas, dan halusinasi. Nikel dapat menyebabkan dermatitis, pusing, sakit kepala, mabuk, dan kanker.

Logam berat dapat berada di udara selama beberapa hari, tergantung dari ukuran partikelnya. Logam berat relatif tidak bereaksi selama di udara. Pengurangan kadar logam berat di udara disebabkan adanya pengendapan akibat air hujan dan grafitasi.

Asbes

Asbes adalah mineral yang berbentuk seperti benang yang biasanya digunakan untuk isolator panas dan produk-produk tahan gesekan. Asbes secara praktis tidak mudah rusak dan strukturnya sangat rumit. *Chrysotile*³² merupakan salah satu bahan yang umum terdapat dalam asbes mengandung sekitar 40% silika, 40% magnesium oksida, 14% air, sejumlah kecil besi, aluminium oksida, dan kalsium (Gambar 10).



Gambar 10. *Chrysotile*¹⁹

Asbes di udara berasal dari proses pembuatan berbagai produk seperti kampas rem kendaraan, isolator panas, semen, keramik, dan pada proses pelapisan dinding tahan api.

Serat asbes dapat menyebabkan iritasi mekanis dalam jaringan paru-paru, yang kemudian dapat menyebabkan tumor yang sering disebut *mesothelioma* (Gambar 11) dan kanker paru-paru.



Gambar 11. Paru-paru terserang tumor *mesothelioma* akibat menghirup asbes.³³

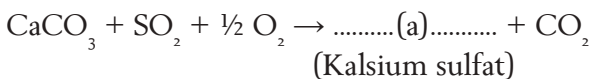
Asbes dapat berada di udara dalam waktu yang sulit ditentukan. Asbes tidak mengalami perubahan selama di udara. Serat asbes sangat stabil dan tidak dapat bergabung satu sama lain membentuk partikel yang lebih besar. Oleh karena itu asbes dapat kembali melayang-layang di udara meskipun sebelumnya telah diendapkan oleh air hujan.

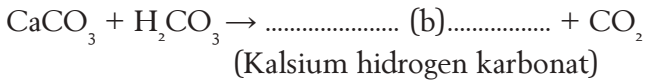
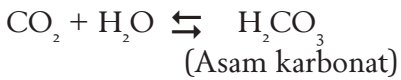
Hujan asam^{34,35}

Air hujan mempunyai pH sekitar 5,6. Harga pH dalam air hujan relatif stabil karena adanya kesetimbangan antara CO_2 dalam air dan udara. Asam sulfat, asam klorida, asam nitrat, dan hidrolisis garam sulfat dan nitrat dalam air dapat menyebabkan turunnya pH air hujan.

Pertanyaan #II.

Lengkapi persamaan reaksi berikut dengan memperhatikan arah reaksi?





Senyawa (a) dan (b) larut dalam air dan dapat terbawa oleh air hujan, lepas dari strukturnya.

Hujan asam berbahaya bagi lingkungan (Gambar 12). Naiknya tingkat keasaman air hujan menyebabkan meningkatnya keasaman air sungai dan danau, yang menyebabkan kematian ikan dan organisme lainnya. Keseimbangan makanan dan unsur perunut dalam tanah dapat terusik oleh air hujan. Tanah yang sedikit mengandung buffer, seperti tanah berbatu, menjadi kurang subur akibat air hujan asam. Beberapa jenis tanaman rusak, bahkan tanaman jenis tertentu bisa mengalami kepunahan. Hujan asam mempercepat terjadinya korosi pada logam dan lapuknya berbagai bahan bangunan.



Gambar 12. Proses terjadinya hujan asam, dan efek hujan asam bagi tanaman.³⁶

Marmer (kalsium karbonat) dapat berumur lama di udara H_2O yang bersih. Sebaliknya, dalam udara terpolusi marmer akan cepat rusak (Gambar 13).



Gambar 13. Patung terbuat dari batu (marmer?) rusak oleh hujan asam.³⁷

Kegiatan #3.

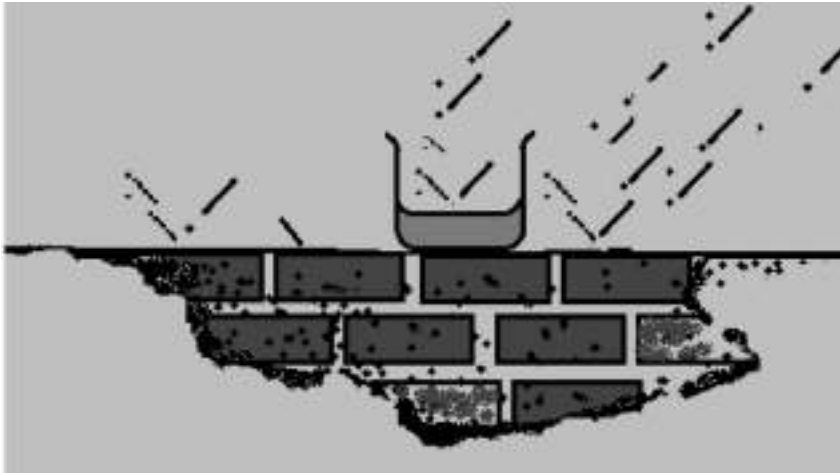
Apakah hujan asam menjadi masalah di daerah Anda? Anda dan teman-teman dapat menjawab pertanyaan tersebut dengan melakukan kegiatan berikut.

Bahan dan alat yang dibutuhkan:

1. Peta daerah tempat tinggal Anda.
2. Botol bermulut lebar beserta tutupnya.
3. Tabung reaksi.
4. Karet penyumbat.
5. Kertas lakmus dan skala pembandingnya.
6. Label.

Cara kerja:

1. Carilah lokasi-lokasi pabrik, pembangkit tenaga listrik, dan jalan-jalan yang padat lalu lintasnya dalam peta Anda.
2. Pilihlah beberapa tempat untuk pengambilan sampel. Pastikan pada tempat tersebut air hujan dapat langsung masuk ke dalam botol sampel (Gambar 14).
3. Sebanyak mungkin tempatkan botol sampel pada tempat-tempat yang diduga akan segera turun hujan dan ambillah segera setelah hujan berhenti. Hal ini dimaksudkan agar sampel tidak terkontaminasi oleh polutan.



Gambar 14. Cara menempatkan penampung air hujan.

4. Tentukan pH sampel air hujan dengan cara menempatkan beberapa tetes sampel ke dalam tabung reaksi yang berisi indikator kertas pH universal. Tutup dan gojoklah tabung reaksi selama beberapa menit. Bandingkan warna kertas pH dengan tabel warna pH.
5. Tabulasikanlah data Anda (Tabel 5). Buatlah pola dan identifikasi tempat-tempat dengan air hujan ber-pH rendah. Data ini akan menjadi lebih berarti bila dikumpulkan sepanjang musim hujan selama beberapa tahun.

Follow-up

Bandingkan pH air hujan yang Anda amati dengan pH air telaga, kolam, atau air sungai di daerah Anda.

Tabel 5. Data pH sampel air hujan.

Tempat sampel	pH				
	Tanggal	Tanggal	Tanggal	Tanggal	
A					
B					
C					
.....					

Amati populasi dan jenis tanaman yang dapat hidup pada kondisi keasaman yang berbeda. Apakah tanaman yang sensitif terhadap asam dapat ditemukan pada air dengan pH rendah?

Bagaimana cara mendeteksi dan mengukur polutan udara?

Keberadaan polutan udara dapat dikenali dari gejala-gejala berikut: ditemukan banyak penderita saluran pernafasan, kerusakan pada tanaman, kotor atau rusaknya dinding bangunan, adanya *smog*, dan minimnya jarak pandang di udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa iritasi saluran pernafasan dan perubahan jaringan otak, lever, serta ginjal dapat terjadi pada manusia dan hewan sebagai akibat negatif dari polutan. Pada tanaman, sebagian besar polutan udara dapat merusak klorofil yang mengakibatkan turunnya kemampuan fotosintesis. Polutan udara dapat menyebabkan kerugian ekonomis pada pertanian, karena polutan dapat menyebabkan tanaman berbuah terlalu awal dan lambatnya pertumbuhan, serta menurunkan produksi. Bahan-bahan seperti semen, batu bata, logam karet, gelas, tekstil, kulit dan cat dapat dirusak secara abrasif atau reaksi kimiawi oleh polutan udara.

Tanaman sebagai indikator³⁸

Beberapa tanaman tumbuh secara karakteristik bila terpapar oleh polutan tertentu. Terjadinya warna cokelat atau kuning pada daun kapas sebagai tanda rusaknya klorofil merupakan akibat terpaparnya tanaman tersebut oleh udara yang mengandung gas SO_2 dengan konsentrasi sekitar 0,2 ppm. Beberapa bercak atau bintik-bintik putih yang terjadi pada daun kacang-kacangan dan tomat merupakan akibat 10 sampai 12 ppm O_3 di udara dengan masa kontak selama 2 jam. Kenampakan yang lebih terang pada bagian bawah daun slada dan kacang-kacangan merupakan akibat adanya 15 sampai 25 ppm PAN dengan masa kontak selama 4 jam. Tabel 6 menunjukkan beberapa tanaman yang sensitif terhadap polutan udara.

Pertanyaan #12.

Waktu merupakan variabel yang berpengaruh terhadap tingkat efek polutan terhadap tanaman. Jelaskan!

Pengamatan terhadap luka pada tanaman merupakan salah satu cara mengetahui adanya polutan di udara. Polutan dapat mengalami perubahan setelah kontak dengan tanaman, sehingga gejala-gejala yang teramati dapat digunakan untuk menduga jenis polutan. Gejala merupakan dasar utama untuk melakukan diagnosa. Luka karakteristik pada tanaman tertentu dapat digunakan untuk menduga jenis polutan dan besar konsentrasi di udara. Pendiagnosaan polutan yang menyebabkan luka pada tanaman melalui gejala yang teramati dengan mata telanjang perlu dilakukan dengan cermat. Luka pada daun dapat disebabkan oleh kelebihan air, mineral, tiupan angin yang keras, serangga, dan penyakit tanaman.

Tabel 6. Beberapa tanaman yang sensitif terhadap polutan.

Tanaman	Gejala teramati	Konsentrasi polutan	Waktu kontak
Labu dan slada	Warna kuning atau pucat, cokelat dan akhirnya kekeringan pada daun muda.	0,5 ppm SO ₂	6 jam
Buncis dan tomat	Bintik kecil, kering dan berwarna cokelat pada daerah antara tulang daun, dan kekeringan pada tepi daun.	6 ppm NO ₂	2 jam
Bawang merah dan bayam	Bintik atau bercak pada permukaan atas, dan kekeringan dengan warna cokelat pada ujung dan tepi daun.	5 sd. 12 ppm O ₃	2 sd. 4 jam
Slada, buncis dan bayam	Lapisan lilin yang mengkilap pada bagian atas dan bawah daun, yang diikuti dengan perubahan warna menjadi kuning kecokelatan.	15 sd. 20 ppm PAN	4 jam
Bawang merah dan jagung	Warna cokelat pada bagian ujung daun, atau guratan kecokelatan pada daun.	0,1 sd. 0,25 ppm Cl ₂	4 jam
Mawar	Daun muda mengelinting.	0,05 ppm etilena	6 jam

Kegiatan #4.

Buatlah kebun percobaan. Tanamlah beberapa tanaman, seperti yang tercantum dalam Tabel 6. Jika Anda tinggal dekat daerah industri, tanamlah tanaman yang sensitif terhadap SO_2 dan NO_2 . Jika Anda tinggal dekat jalan raya, pilihlah tanaman yang sensitif terhadap NO_2 , O_3 , PAN, etilena, dan SO_2 . Tanam pula tanaman yang sama pada kebun di daerah yang tidak terpolusi, sebagai pembanding.

Amatilah secara teratur. Catat secara teliti gejala-gejala perubahan atau tanda-tanda karakteristik yang nampak pada daun dan kemungkinan polutan yang menyebabkannya. Isikan hasil pengamatan Anda pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengamatan pada tanaman indikator.

Tanaman	Pengamatan			Kemungkinan polutan
	Gejala yang nampak*	% luka tiap tanaman*	% tanaman tiap spesies*	

Keterangan:

- Termasuk umur daun yang terpolusi (muda, sedang, tua), pola penyebaran gejala pada daun, dan permukaan daun yang terluka (atas atau bawah).

$$\bullet \% \text{ luka tiap tanaman} = \frac{\text{Jumlah daun yang terluka}}{\text{Jumlah total daun}} \times 100 \%$$

$$\bullet \% \text{ tanaman yang terluka} = \frac{\text{Jumlah daun yang terluka}}{\text{Jumlah total daun}} \times 100\%$$

Kerusakan pada bahan³⁹

Beberapa bahan dapat rusak karena terpapar pada polutan dengan cara abrasi atau reaksi kimia. Abrasi dapat disebabkan oleh partikel yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Beberapa polutan dapat bereaksi dengan bahan menyebabkan kerusakan, seperti goresan pada logam oleh asam

atau buramnya permukaan logam perak oleh hidrogen sulfida. Kerusakan-kerusakan tersebut didahului oleh adsorpsi polutan oleh bahan, yang diikuti dengan kerusakan jika polutan mengalami perubahan secara kimia. Sebagai contoh, adsorpsi SO_2 oleh kulit pada kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan terbentuknya asam sulfat yang dapat merusak kulit. Proses elektrokimia terjadi pada pengkaratan logam di udara. Pengkaratan berjalan lebih cepat bila terdapat uap air yang mengandung polutan udara. Tabel 8 memuat daftar bahan, polutan udara dan jenis kerusakan yang dapat terjadi pada bahan.

Tabel 8. Kerusakan bahan.

Bahan	Polutan	Jenis kerusakan
Logam	Partikulat SO_2 , HF, Cl_2 H_2S	Abrasi dan korosi (bila kontak dengan polutan yang berbentuk gas). Korosi. Warna buram.
Bahan bangunan (semen, batu bata, keramik, batu, kapur)	Partikulat SO_2 , NO_2	Erosi fisis dan pelapisan permukaan oleh endapan minyak atau partikulat. Reaksi kimia, seperti reaksi dengan asam.
Lapisan cat	Partikulat	Abrasi dan reaksi kimia (bila kontak dengan polutan yang berbentuk gas).
Tekstil	Partikulat SO_2	Abrasi dan reaksi kimia (bila kontak dengan polutan yang berbentuk gas). Mudah robek.
Karet	O_3	Mudah putus, elastisitas menurun.
Zat warna (pigmen)	O_3 , NO_2	Pemucatan/pemudaran warna.
Kertas	SO_2	Mudah robek.
Gelas	HF	Tergores.
Cat berbahan Pb	H_2S	Warna menjadi kelam.

Pertanyaan #13.

Mengapa korosi pada logam berlangsung relatif lebih cepat dengan adanya polutan di udara?

Kegiatan #4.

Amatilah beberapa bangunan, seperti gedung, jembatan atau patung dan monumen, yang ada di sekitar tempat tinggal Anda. Amatilah secara periodik dan tuliskan hasil pengamatan Anda pada kolom, seperti pada Tabel 9. Jika memungkinkan, lengkapi hasil pengamatan dengan foto. Sebagai pembanding, amati pula bangunan lain yang ada di daerah yang tidak terpolusi.

Tabel 9. Pengamatan pada bangunan.

Lokasi : _____ Tanggal : _____

Bahan	Bentuk dan lokasi	Pengamatan	Kemungkinan polutan
Semen Batu Batu bata Marmer Logam Karet Gelas Kertas Tekstil Lapisan cat Lain-lain			

Pengukuran polutan⁴⁰

Smog, bau, dan suara dapat digunakan sebagai indikator kualitas lingkungan. Namun demikian, analisis kimia dan fisika perlu dilakukan untuk memperoleh data yang sangat diperlukan dalam mengidentifikasi sumber polutan, tingkat kontaminasi, efek negatif polutan, dan perubahan kimia maupun fisika polutan selama berada di lingkungan.

Proses pengukuran kuantitatif polutan di udara sangat rumit. Terdapat berbagai metode pengukuran, yang beberapa diantaranya memiliki kemiripan. Namun, masing-masing metode tersebut pada dasarnya terdiri dari tiga langkah utama, yaitu: (1) pengumpulan sampel dari sejumlah volume udara, (2) pemisahan polutan dari komponen lainnya dalam sampel, dan (3) mengukur jumlah polutan. Langkah pertama meliputi dua pengerjaan

fisik, yaitu pengambilan sampel dari lingkungan dan menyimpannya dalam kontainer yang sesuai, serta mengukur banyaknya sampel. Langkah kedua mencakup penggunaan teknik pemisahan polutan berdasarkan sifat-sifatnya. Langkah ketiga meliputi beberapa teknik penentuan massa partikulat, analisis kimia untuk gas, serta metode fisika yang digunakan pada instrumen otomatis. Beberapa analisis polutan di udara dapat dilihat dalam Tabel 10.

Hakekat pengukuran polutan sama dengan metode analisis bahan kimia lainnya. Misalnya, jumlah SO_2 diukur dengan metode West dan Gaeke⁴¹ yang telah dimodifikasi. Sampel udara yang telah diketahui volumenya dilewatkan penggelembung gas yang berisi larutan natrium tetrakloromercurat. Senyawa ini dapat menangkap SO_2 dan menyimpannya dalam waktu relatif lama sehingga memungkinkan untuk dianalisis di laboratorium. Penambahan formaldehid dan pewarna pararosanilin ke dalam larutan tersebut akan menimbulkan suatu reaksi yang menghasilkan pararosanilin metilsulfonat yang berwarna merah tua. Intensitas warna larutan diukur dengan spektrometer dan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari SO_2 standar.

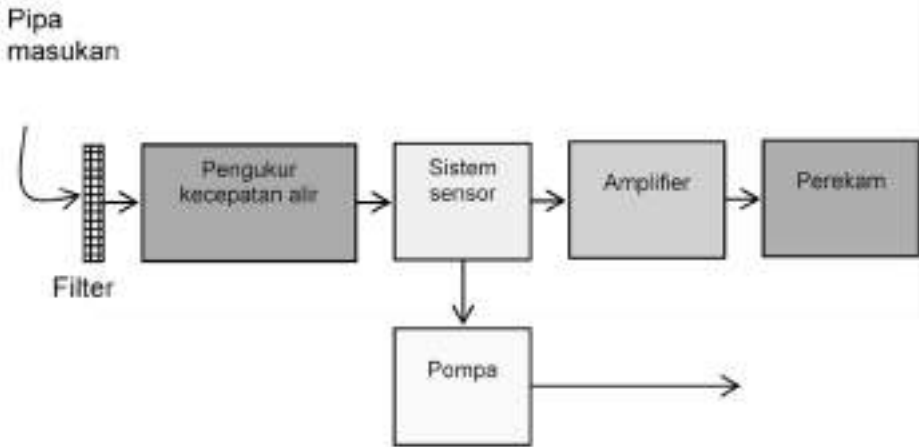
Metode kimia basah, seperti metode West dan Gaeke, relatif sulit dilakukan. Metode lain yang relatif lebih mudah adalah metode sampel otomatis, namun metode ini membutuhkan peralatan yang mahal harganya. Skema instrumen otomatis dapat dilihat pada Gambar 15. Sampel udara dilewatkan pipa masukan, filter, dan pengukur kecepatan alir. Instrumen kecepatan alir dimaksudkan untuk mengetahui jumlah sampel udara. Sistem sensor menghasilkan sinyal elektrik yang sebanding dengan konsentrasi polutan yang ada dalam udara yang dilewatkan. Sinyal dikuatkan oleh amplifier, sehingga akan dihasilkan sinyal yang cukup kuat untuk dibaca oleh alat perekam.

Tabel 10. Metode pengukuran polutan di udara.

Metode	Prosedur	Pengukuran kuantitatif
Gravimetri	Cara langsung Cara tak langsung	Massa udara yang mengandung polutan. Hilangnya massa spesies yang mudah menguap, pelarutan, dll.
Volumetri	Cara titrasi Analisis gas	Volume larutan yang secara kimia ekuivalen dengan spesies yang diukur. Volume gas yang terserap atau dilepaskan.
Optik	Spektroskopi emisi Spektroskopi serapan, termasuk kolorimetri. Turbidimetri & nefelometri	Radiasi yang diemisikan spesies. Radiasi yang diserap spesies. Penghamburan cahaya oleh spesies.
Elektroanalitik	Potensiometri Konduktometri Polarografi	Potensial elektrode dalam kesetimbangan dengan spesies. Konduktifitas larutan spesies, jumlah arus yang ekuivalen dengan spesies. Arus yang berhubungan dengan reaksi spesies pada elektrode yang dapat terpolarisasi.
Kromatografi	Gas, cair, lapis tipis, ion	Pemisahan spesies dalam beberapa tingkat, cara arus balik yang berdasarkan pada perbedaan perbandingan distribusi komponen campuran antara fase bergerak dan tidak bergerak.
Lain-lain	Spektroskopi massa Radiokimia Entalpi reaksi	Perbandingan massa muatan dan peruraian spesies. Peluruhan radioaktif suatu spesies. Panas reaksi spesies.

Pertanyaan #14.

Adsorpsi dan absorpsi adalah dua metode yang dapat digunakan untuk memisahkan gas dari udara. Metode yang manakah yang digunakan dalam prosedur West dan Gaeke? Jelaskan jawaban Anda.



Gambar 15. Skema instrumen otomatis.

Kuantitas gas SO_2 di udara dapat diukur dengan sistem deteksi fotometri nyala. Detektor mencatat kuantitas total belerang, sehingga analisis dilakukan setelah senyawa belerang selain SO_2 harus dihilangkan lebih dahulu.

Bagaimana cara menjaga agar udara tetap bersih?⁴²

Banyak diantara kita telah memperlakukan atmosfer sebagai tempat sampah. Walau pun atmosfer mampu melarutkan dan menghancurkan berbagai macam spesies yang dibuang ke udara, namun kecepatan masuknya senyawa tersebut ke udara relatif lebih besar dari pada kecepatan hilangnya senyawa tersebut dari udara. Polusi akan terjadi karena proses alamiah tidak mampu mengimbangi jumlah dan kecepatan masuknya polutan ke udara.

Terdapat beberapa cara untuk menurunkan intensitas terjadinya polusi udara, diantaranya adalah:

1. Pencegahan terjadinya polusi, bukan pengontrolan.

Agar udara tetap bersih, perlu dilakukan pencegahan agar tidak terjadi polusi, bukan pengontrolan. Udara yang telah terpolusi tidak dapat

dibersihkan lagi, berbeda dengan lantai yang kotor. Kita tidak dapat mengumpulkan udara, kemudian dilewatkan sistem pembersih; tidak seperti air yang kotor.

Dalam industri, pencegahan polusi dilakukan pada sumber pencemar, bukan dilakukan melalui instalasi alat pengontrol polutan. Pencegahan juga meliputi pengubahan proses atau penggunaan energi yang bebas polutan.

Secara individual, kita harus mempunyai rasa tanggung jawab yang besar untuk menjaga kualitas udara di lingkungan. Usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk menjaga agar udara tetap bersih antara lain adalah berjalan kaki atau bersepeda sebagai pengganti penggunaan transportasi kendaraan bermotor, membuat kompos dari sampah⁴³ yang dihasilkan rumah tangga setiap hari dan bukan membakar sampah, dan tidak merokok. Kita harus mewujudkan usaha kita bersama-sama dengan pemerintah dan masyarakat.

2. Strategi pengontrolan

Jika pembentukan polutan tidak dapat dicegah lagi, maka alternatif yang dapat dilakukan untuk menjaga agar udara tetap bersih untuk dikonsumsi adalah melakukan pengontrolan kecepatan dan jumlah polutan yang dibuang ke udara. Jangan sampai polutan yang dibuang ke udara melewati nilai ambang batas. Berkaitan dengan hal tersebut, perlu diketahui besarnya tingkat maksimum polutan yang dapat diijinkan berada di udara. Toksisitas polutan perlu diukur tidak dalam arti tingkat bahaya polutan secara langsung, namun juga efek sampingan atau akibat tidak langsung polutan terhadap lingkungan. Dengan demikian standarisasi kualitas udara sangatlah penting artinya.

Standar kualitas udara (Tabel 11 dan Tabel 12) merupakan batasan-batasan yang ditentukan suatu lembaga yang berwenang, dan memuat tentang konsentrasi polutan yang diijinkan berada di udara dalam waktu tertentu. Standar kualitas udara tidak hanya didasarkan pada data ilmiah, namun juga didasarkan aspek-aspek ekonomi, sosial, teknologi, dan politik. Standar kualitas udara suatu negara dapat berbeda dengan standar yang berlaku negara lain, tergantung pada waktu kontak antara polutan dengan lingkungan, sosio-ekonomi, dan hal lain yang berkaitan dengan masalah kesehatan.

Standar kualitas udara tidak mudah untuk dirumuskan dan juga sangat sukar untuk dilaksanakan. Setiap orang berkewajiban mengetahui dan mematuhi standar tersebut. Pemilik pabrik harus memasang alat pengontrol polutan. Pemilik kendaraan bermotor harus mengontrol mesin kendaraannya sehingga tidak menghasilkan polutan dalam jumlah relatif banyak, dan mengendarai kendaraan dengan benar. Setiap anggota masyarakat seharusnya tidak membakar sampah.

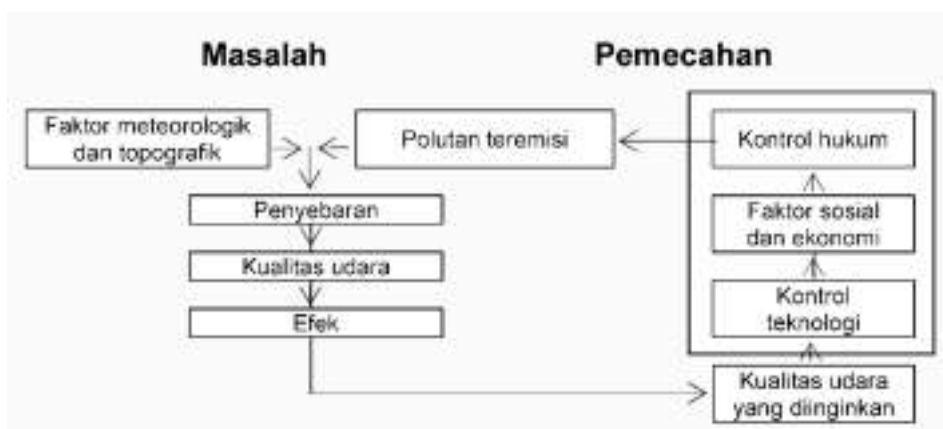
Tabel 11. Standar kualitas udara.⁴⁴

Polutan	Konsentrasi		Lama kontak (jam)
	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm	
Partikulat	180	-	24
	250		1
Oksida belerang	369	0,14	24
	850	0,30	1
Oksidan fotokimia	120	0,06	1
Oksida nitrogen	190	0,10	1
Karbon monoksida	0,01	9	8
	0,035	30	1

Tabel 12. Kadar tertinggi yang diijinkan.⁴⁵

Polutan	Konsentrasi	
	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm
Amonia	0,2	0,28
Antimon	0,02	-
Arsen	0,02	-
Asbes	$2,10^3$ partikel/ m^3	-
Kadmium	0,01	-
Karbon disulfida	0,03	0,01
Tembaga	0,01	-
Klorin	0,3	0,1
Formaldehid	0,035	0,029
Asam klorida	0,2	0,14
Asam sulfida	0,03	0,02
Timbal	0,02	-
Nitrogen dioksida	0,3	0,18
Asam nitrit	0,4	0,15
Oksidan (sebagai O_3)	0,2	0,1
Fenol	0,1	0,026
Karbon, jelaga	0,02	-
Asam sulfat	0,3	-

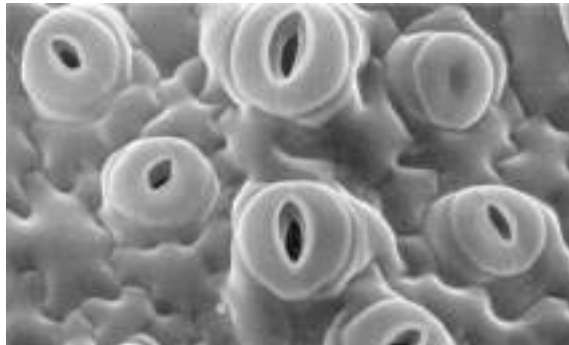
Alur pemecahan masalah polusi udara dapat dilihat pada Gambar 16. Aspek teknik, sosio-ekonomi, dan hukum dari berbagai pendekatan yang sesuai dapat digunakan untuk memecahkan masalah polusi udara.



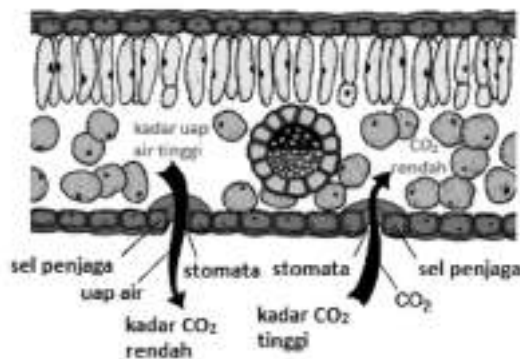
Gambar 16. Alur pemecahan masalah polusi udara.

3. Membuat sebanyak mungkin sarana yang dapat mengeliminasi polutan udara secara alami.

Pada bagian terdahulu, beberapa proses yang ber kaitan dengan eliminasi polutan dari udara telah dijelaskan. Tanaman dapat mengabsorbsi polutan udara dengan baik dan murah. Proses fotosintesis, transpirasi, dan respirasi melibatkan pertukaran gas antara tanaman dan udara. Gas masuk ke dalam daun melalui stomata pada permukaan daun bagian atas atau bawah (Gambar 17 dan Gambar 18). Gas kontak dengan sel tanaman bagian dalam (mesofil). Dengan membuka dan menutup stomata, tanaman dapat mengontrol keluarnya air ke atmosfer (transpirasi), penukaran CO_2 dan O_2 (fotosintesis dan respirasi), dan mengabsorbsi polutan beracun dari lingkungan. Penomena penukaran ini memungkinkan tanaman dapat mengabsorbsi polutan dari udara.



Gambar 17. Stomata.⁴⁶



Gambar 18. Stomata membuka memungkinkan CO_2 masuk dan uap air keluar.⁴⁷

Tanaman mengabsorpsi polutan dari udara secara fisika dan kimia, dengan urutan sebagai berikut:

- (1) Gerakan polutan dari udara ke stomata yang terbuka.
- (2) Polutan masuk ke dalam daun melalui stomata.
- (3) Absorpsi dan asimilasi oleh tanaman.

Kecepatan absorpsi polutan dipengaruhi oleh perbedaan antara konsentrasi polutan di udara dan dalam sel tanaman. Kemampuan tanaman untuk mengabsorpsi polutan juga tergantung pada kemampuan tanaman tersebut memetabolis, menstranslokasi, atau melarutkan polutan.

Bab 2

AIR KITA

Pendahuluan

Air dapat ditemukan di seluruh penjuru bumi, namun tidak semua orang dapat terpenuhi kebutuhannya akan air. Salah satu alasannya adalah distribusi air yang tidak merata. Alasan lain yang tidak kalah pentingnya adalah kualitas air yang tidak memenuhi syarat untuk keperluan sehari-hari.

Tujuan

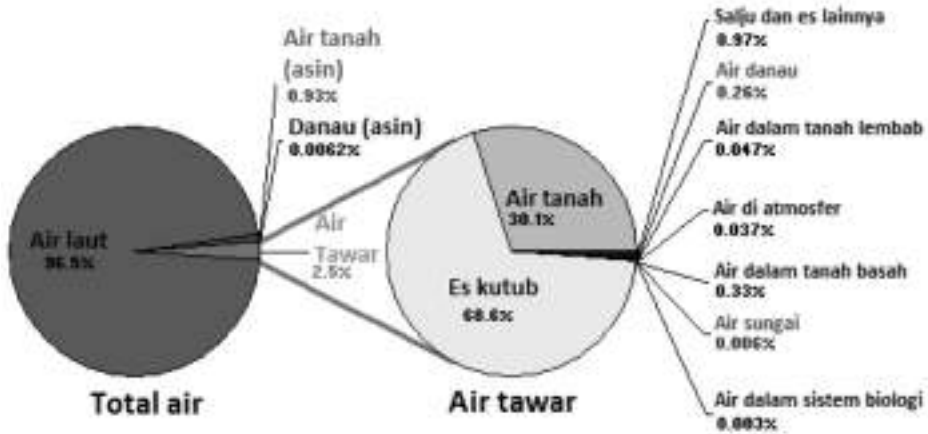
Setelah mempelajari pokok bahasan ini Anda diharapkan dapat:

1. menyatakan secara lisan sistem distribusi air di suatu negara.
2. mengklasifikasi jenis polutan air.
3. mendiskusikan efek polutan terhadap organisme air, manusia, dan lingkungan.
4. mengidentifikasi sumber utama polutan air di masyarakat.
5. menjelaskan metode pengukuran efek polutan air.
6. mengidentifikasi polutan dalam badan air.
7. menyarankan pada masyarakat cara mengurangi jumlah polutan dalam air.
8. menjelaskan usaha yang telah dilakukan oleh pemerintah dalam mengurangi jumlah polutan air.
9. merunut aliran air dari sumbernya ke rumah tangga, dan dari rumah tangga ke badan air.
10. membersihkan air yang telah terpolusi.

Bagaimana air terdistribusi?⁴⁸

Hidrosfer bumi terdiri dari sekitar 134 milyar meter kubik air. Sekitar 97% dari jumlah air tersebut berupa air laut yang asin. Air laut tidak dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari, kecuali jika dilakukan desalinasi terlebih dahulu. Sebanyak $\frac{2}{3}$ bagian dari 3 % air lainnya terdapat sebagai salju

dan glasier. Secara kasar hanya terdapat 1 % air yang berupa air permukaan dan air tanah, yaitu air yang dapat digunakan untuk kebutuhan hidup sehari-hari. Bagian yang relatif kecil ini terdistribusi secara tidak merata pada daratan di seluruh muka bumi. Beberapa daerah hanya memiliki sedikit air, sedang daerah lainnya memiliki air yang berlebihan. Gambar 19 menunjukkan distribusi air di bumi.



Gambar 19. Distribusi air.⁴⁹

Di suatu negara, jumlah air bervariasi pada berbagai tempat. Beberapa tempat mempunyai persediaan air permukaan, seperti air sungai dan danau, serta air tanah yang melimpah. Beberapa tempat lainnya hanya tersedia air dalam jumlah yang sangat terbatas, bahkan tempat-tempat tertentu selalu kering sepanjang tahun. Di beberapa tempat lainnya tersedia air dengan kandungan mineral yang sangat tinggi. Dalam beberapa hal, jumlah air mencukupi untuk kebutuhan sehari-hari, namun penggunaannya sangat berlebihan atau salah dalam menggunakannya.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ketersediaan air untuk keperluan sehari-hari. Persediaan air dipengaruhi oleh tingkat curah hujan, kecepatan aliran air, daya serap tanah, kapasitas penyimpanan air, transportasi dan penyebaran persediaan air, dan kecepatan hilangnya air melalui penguapan serta transpirasi. Air tanah, sungai dan danau dapat terisi lagi oleh air hujan (Gambar 20). Sekitar 64 % air hujan menguap dan tertranspirasi.

Pertanyaan #15.

Sungai apa sajakah yang mengalir di tempat tinggal Anda?.

Pertanyaan #16.

Dari manakah Anda mendapatkan air untuk keperluan sehari-hari?.



Gambar 20. Air hujan yang melimpah mengakibatkan banjir.⁵⁰

Siapa sajakah yang memerlukan air untuk keperluan sehari-hari?⁵¹

Karena sifatnya yang unik air dapat dipakai untuk berbagai keperluan. Secara umum, air dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti untuk keperluan rumah tangga, pertanian, dan industri. Tidak satu pun keluarga yang tidak memerlukan air untuk keperluan rumah tangga dan keperluan lainnya. Kantor, sekolah dan rumah sakit juga sangat memerlukan air.

Pertanian banyak membutuhkan air. Beberapa industri juga membutuhkan air yang relatif banyak. Dalam industri air digunakan sebagai bahan dasar, pencuci, atau sebagai media dalam proses industri makanan, minuman, tekstil, dan industri pelapisan logam. Air juga digunakan sebagai pendingin dan bahan untuk mentransfer panas dalam unit pembangkit tenaga listrik. Air permukaan mendukung berkembangnya industri perkapalan.

Gerakan air dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pembangkit tenaga listrik hidro mendasarkan pada transformasi energi potensial dari gerakan air ke energi listrik. Air juga sangat berperan pada pembangkit tenaga listrik panas bumi. Air dalam bentuk uap membawa energi dari dalam perut bumi untuk dikonversikan menjadi energi listrik.

Pertanyaan #17.

Apakah air yang biasa Anda gunakan telah memenuhi syarat air bersih?

Kemana air limbah dibuang?⁵²

Air limbah dari rumah tangga, pertanian, dan industri dapat bercampur dengan air permukaan. Hal ini menyebabkan air permukaan terkontaminasi. Air yang telah terkontaminasi dapat digunakan lagi hanya jika telah diproses, yang tentu saja membutuhkan biaya yang relatif mahal.

Idealnya, air limbah harus diolah lebih dahulu pada unit pengolahan air limbah sebelum dibuang ke saluran air. Tetapi, hal ini jarang dilakukan oleh pengguna air. Apa yang terjadi jika air limbah yang dibuang oleh pengguna air tanpa melalui pengolahan lebih dahulu?

Beberapa pengguna air telah memiliki sumur resapan. Air limbah yang dialirkan ke dalam sumur resapan akan mengalami peruraian secara alami. Bagaimanakah Anda membuang air limbah yang berasal dari rumah Anda?

Bagaimana klasifikasi air permukaan?⁵³

Air yang digunakan untuk keperluan yang berbeda mempunyai standar kualitas yang berbeda pula. Berdasarkan penggunaannya air dapat diklasifikasikan menjadi lima (Tabel 13).

Tabel 13. Klasifikasi air permukaan.

Kategori	Penggunaan
Kelas A	Untuk keperluan sehari-hari. Air yang termasuk dalam kelas ini adalah air tanah yang tidak terpolusi, atau jika air yang hanya memerlukan proses penambahan desinfektan saja sebelum dapat digunakan sebagai air minum.
Kelas A	Untuk keperluan sehari-hari, namun memerlukan pengolahan (koagulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi) dahulu sebelum digunakan.
Kelas B	Untuk rekreasi, seperti renang.
Kelas C	Untuk perikanan dan kebutuhan organisme lainnya.
Kelas D	Untuk pertanian, irigrasi, pendinginan pada industri dan berbagai proses.
Kelas E	Untuk transportasi air.

Kapan air dinyatakan telah terpolusi?⁵⁴

Air alami tidak bebas dari bahan pengotor. Hanya saja biasanya konsentrasi bahan pengotor dalam air yang ada di alam masih dapat ditolerir. Tingkat toleransi bahan pengotor tergantung pada tujuan penggunaan air. Sebagai contoh, rasa segar air mineral dari daerah pegunungan disebabkan oleh adanya berbagai mineral yang terkandung dalam air. Air murni tidak disukai oleh banyak orang karena tidak berasa. Air dengan kandungan berbagai mineral mungkin sangat baik untuk kebutuhan minum, namun tidak baik untuk keperluan pembuatan aki kendaraan bermotor atau sebagai pendingin. Mineral yang terdapat dalam air dapat mengendap pada permukaan elektrode dalam aki atau pada dinding ketel.

Pertanyaan #18.

Jelaskan mengapa air cocok untuk suatu keperluan tetapi mungkin tidak cocok untuk keperluan lainnya? Berikan contoh.

Sungai dapat memproses sejumlah kecil limbah yang terhanyut dalam aliran airnya. Setelah beberapa waktu, air sungai akan kembali pada kualitasnya semula. Sebagai contoh, beberapa jenis limbah dapat terurai oleh oksidasi kimia atau bakteri. Bakteri memanfaatkan limbah sebagai sumber makanannya. Sungai dapat melarutkan limbah yang dibuang ke dalamnya,

sehingga limbah menjadi tidak begitu berbahaya. Dengan bantuan panas dan sinar matahari, pembentukan warna yang disebabkan oleh limbah tidak terjadi. Proses pembersihan limbah secara alami berlangsung dengan kecepatan relatif lambat.

Pada kenyataannya, kita telah membuang limbah ke sungai dalam jumlah banyak sehingga air sungai tidak mampu membersihkannya. Beberapa limbah tidak termakan oleh bakteri, dan terlibat dalam berbagai proses alam lainnya dalam air, yang mengakibatkan tidak layaknnya air untuk kebutuhan manusia dan berbagai organisme air (Gambar 21). Air dikatakan telah terpolusi bila sifat normalnya telah berubah karena adanya limbah di dalamnya sehingga menjadikan air berbahaya bagi makhluk hidup.

Pertanyaan #19.

Perubahan sifat yang bagaimanakah jika limbah berada dalam air?.



Gambar 21. Beberapa jenis polutan tidak dapat diuraikan oleh bakteri.⁵⁵

Bahan apa sajakah yang dapat mencemari air?⁵⁶

Sebagian besar polutan air dihasilkan oleh manusia. Bertambahnya penduduk dan meningkatnya kegiatan industri menyebabkan meningkatnya jumlah limbah. Sebagian besar limbah tersebut dibuang ke badan air dalam keadaan mentah atau belum diproses sama sekali. Beberapa jenis polutan, sumber-sumbernya, serta efeknya bagi lingkungan dapat dipelajari pada uraian berikut ini.

1. Limbah organik atau limbah yang dalam peruraiannya membutuhkan oksigen.

Limbah yang termasuk dalam kategori ini antara lain limbah yang berupa sisa makanan, kotoran manusia dan binatang, serta tanaman yang telah mati. Sumber utama limbah organik adalah rumah tangga, rumah pemotongan hewan, industri makanan, pulp dan kertas, penyamakan kulit, zat warna, gula dan pabrik alkohol.

Limbah organik dalam peruraiannya membutuhkan oksigen. Sebagai akibat peruraian tersebut diantaranya adalah bau yang tidak sedap dari dalam air dan terjadinya perubahan warna air. Semakin banyak kandungan senyawa organik dalam air semakin cepat pula perkembangan bakteri pengurai dalam air.

2. Limbah penyebab penyakit.

Limbah penyebab penyakit diantaranya meliputi bakteri patogen, protozoa, fungi, virus dan cacing parasit. Sumber limbah penyebab penyakit adalah peruraian tinja, limbah rumah tangga dan limbah industri, seperti industri makanan dan penyamakan kulit, serta rumah sakit.

Efek yang ditimbulkan oleh limbah penyebab penyakit adalah terjangkitnya penyakit pada manusia atau binatang yang mengkonsumsi air yang mengandung bibit penyakit.

3. Nutrisi.

Ada kalanya limbah yang dibuang ke dalam air bermanfaat bagi tanaman. Limbah jenis ini mengandung unsur-unsur yang merupakan nutrisi bagi tanaman. Unsur-unsur tersebut antara lain N, P, dan K. Biasanya

unsur tersebut terdapat dalam pupuk, deterjen, dan limbah rumah tangga. Sumber limbah yang banyak mengandung nutrisi adalah limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah dari industri tertentu.

Limbah yang mengandung nutrisi dapat menyebabkan perkembangan dan pertumbuhan alga yang sangat cepat sehingga sampai memenuhi permukaan air. Selain itu, jika tumbuhan air tersebut mati, maka akan dibutuhkan oksigen terlarut dalam air dalam jumlah relatif besar untuk peruaiannya.

4. Bahan kimia beracun.

Bahan kimia beracun meliputi logam-logam berat seperti Hg, Pb, Cd, As, Be, Co, Ni, Ti, dan Cr dalam CrO_4^{2-} , dan logam-logam yang terdapat dalam batu bara dan minyak. Sumber bahan kimia beracun antara lain limbah industri pertambangan dan logam, pengeboran dan penyulingan, transportasi dan pembakaran minyak serta batu bara.

Bahan kimia beracun menyebabkan efek negatif pada manusia karena pengaruhnya pada reaksi katalisis enzim dan sifatnya yang karsinogenik.

5. Senyawa persisten.

Limbah yang termasuk dalam kategori senyawa persisten diantaranya adalah plastik, pestisida, dan deterjen sintetik. Sumber utama limbah jenis ini adalah rumah tangga, industri pengemasan, dan deterjen sintetik. Limbah yang bersifat persisten dapat bertahan lama di lingkungan dan beberapa jenis limbah ini dapat masuk dalam sistem biologis.

6. Senyawa radioaktif.

Senyawa atau bahan radioaktif yang sering ditemukan dalam air adalah U, Ra, Sr, serta beberapa bahan radioaktif lainnya. Bahan-bahan ini dalam air dapat berasal dari penambangan dan pengolahan biji logam radioaktif, limbah dari lembaga penelitian atau industri obat-obatan, limbah dari pengujian atom, dan limbah dari reaktor nuklir.

Bahan radioaktif dapat mematikan atau dapat menyebabkan efek mutagenik pada konsentrasi yang relatif sangat rendah. Biasanya efek yang disebabkan oleh bahan radioaktif tidak nampak dengan segera. Efek ini baru akan nampak setelah jangka waktu yang lama.

7. Senyawa anorganik.

Beberapa bahan kimia yang termasuk dalam polutan air adalah asam-asam mineral, garam-garam, dan logam-logam. Asam-asam mineral banyak berasal dari air yang mengalir melalui daerah pertambangan dan intrusi air laut.

Efek negatif dari senyawa anorganik antara lain adalah produktifnya tanah pertanian (nilai positif?), kekeruhan pada air, dan kematian organisme air.

8. Panas.

Panas dalam sistem air dapat berasal dari limbah industri yang menggunakan air sebagai pendingin atau industri yang menggunakan air dalam proses-prosesnya. Panas dalam air dapat berasal dari reaktor nuklir, pembangkit tenaga listrik, penyulingan minyak, pengolahan bijih besi, dan sebagainya.

Panas berakibat buruk pada organisme air terutama pada organisme yang tidak dapat bertahan hidup dalam air panas. Selain itu panas juga dapat menurunkan kelarutan oksigen dalam air dan juga menurunkan kerapatan dan viskositas air, sehingga berakibatnya meningkatnya kelarutan beberapa padatan dalam air.⁵⁷

9. Sedimen.

Sedimen dapat berupa tanah, pasir, dan mineral. Sedimen dalam air dapat merupakan akibat adanya industri pertambangan terbuka, penggundulan hutan, dan pembangunan perumahan. Sedimen dapat menyebabkan kekeruhan air, menurunnya kemampuan air meneruskan sinar, dan kematian pada telur (apa) dan ikan kecil.

Masalah yang ditimbulkan oleh polutan air?

Beberapa masalah yang ditimbulkan polutan air perlu mendapatkan perhatian dengan segera. Masalah tersebut menyangkut perubahan bentuk fisik, aktifitas biologi, dan kimia.

Bahan kimia persisten⁵⁸

Pestisida dapat berada dalam air karena adanya penggunaan pestisida dalam pertanian dan pembuangan limbah industri pestisida. Pestisida berbahaya bagi lingkungan, karena:

1. pestisida mudah larut dalam lemak dan dapat terakumulasi dalam lemak sampai mencapai konsentrasi yang tinggi, hingga menyebabkan kerusakan jaringan,
2. pestisida mempunyai kecenderungan *biomagnification*, dan
3. pestisida terdegradasi secara lambat atau tidak terdegradasi sama sekali.

DDT (diklorodifeniltrikloretana) dan endrin adalah dua jenis pestisida yang saat ini penggunaannya telah dilarang. Pestisida ini termasuk bahan kimia sintetik, yang bersifat tidak larut dalam air tetapi mudah larut dalam lemak.

Jumlah DDT dapat ditemukan berlipat ganda dalam rantai makanan. Gejala ini sering disebut dengan *biomagnification*. Konsentrasi DDT dalam air laut sekitar $1 \cdot 10^{-6}$ ppm. DDT dalam phytoplankton $3 \cdot 10^{-3}$ ppm, dalam zooplankton $1 \cdot 10^{-3}$ ppm, dan dalam tanaman air sekitar $1 \cdot 10^{-2}$ ppm. Dalam tubuh ikan ditemukan DDT dengan konsentrasi antara 0,5 sampai 20 ppm. Burung pemakan ikan mengandung DDT sampai 70 ppm, dan dalam tubuh manusia yang berlemak dapat mengandung DDT sampai 12 ppm.

Dalam tubuh manusia, DDT dapat ditemukan pada bagian hati, kelenjar adrenalin, testis, tiroid, dan ginjal. DDT dapat mengganggu kerja enzim jika konsentrasinya mencapai 3 ppm, dan mengganggu kerja hati jika konsentrasinya mencapai 5 ppm.

DDT dapat bertahan lama di lingkungan, dan secara perlahan-lahan dapat terurai oleh bakteri. Kecepatan peruraian DDT tergantung pada berbagai kondisi. Dalam tanah yang kering dan kurang subur DDT dapat bertahan dalam waktu relatif lama. Setelah 10 tahun, DDT masih dapat ditemukan sekitar 50 %-nya. Sedang pada tanah yang lembab dan basah DDT relatif lebih mudah terurai. Setelah 10 tahun, DDT dapat terurai sebanyak 80 sampai 90%-nya.

Pertanyaan #20.

Mengapa pestisida disebut sebagai senyawa kimia yang persisten?

Pertanyaan #21.

Apa yang dimaksud dengan *biomagnification*?

Pertanyaan #22.

Mengapa pestisida dapat larut dalam lemak?

Seperti DDT, endrin dapat masuk dalam rantai makanan dan akhirnya masuk dalam tubuh manusia. Pestisida ini sangat toksik bagi manusia. Manusia dengan berat badan 50 kg hanya mampu bertahan hidup selama 50% dari usia harapan hidup jika dalam tubuhnya terdapat 0,25 g endrin. Endrin dapat menghentikan kerja jantung dan hati dengan cara merusak jaringan lemak. Dalam air, endrin dapat menghambat kerja alat pernafasan ikan dan binatang air lainnya.

Pertanyaan #23.

Mikrogram setara dengan $1 \cdot 10^{-6}$ g. Berapa konsentrasi dalam ppm residu DDT yang terdapat dalam air sungai yang mengandung 0,02 µg/L DDT?

Pertanyaan #24.

Apakah air sungai di tempat tinggal Anda mengandung DDT atau pestisida lainnya?

Suatu peristiwa tragis yang terjadi di Bhopal, India, pada bulan Desember 1984 menunjukkan betapa berbahayanya pestisida. Metil isosianat yang merupakan bahan dasar pembuatan pestisida karbamat terhambur ke lingkungan dari pabrik Union Carbide. Peristiwa ini menyebabkan kematian 2.500 orang dan melukai 50.000 orang. Lebih dari 100.000 penduduk India terpaksa diungsikan dari tempat tinggalnya. Banyak orang yang tidak meninggal atau cacat fisik tetapi menunjukkan gejala cacat mental yang serius. Peristiwa Bhopal juga dirasakan oleh binatang. Banyak binatang yang mati, luka-luka, dan mengalami gangguan fungsi biologisnya. Bahkan setelah beberapa bulan banyak dijumpai bayi yang terlahir dengan fisik yang cacat sebagai akibat ibunya yang terpapar metil isosianat selama mengandung.

Logam beracun⁵⁹

Unsur berdasarkan pengaruhnya terhadap tubuh kita dapat dibagi menjadi unsur esensial dan non-esensial. Unsur esensial adalah unsur yang dibutuhkan oleh tubuh untuk memacu aktifitas biologis tertentu, misalnya pertumbuhan badan. Beberapa unsur dibutuhkan hanya dalam jumlah yang sangat sedikit. Bila jumlah unsur melebihi batas toleransinya dapat menjadi toksik. Beberapa unsur tidak boleh melewati batas toleransi, karena anggota tubuh tertentu dapat terganggu fungsi kerjanya. Unsur-unsur lainnya dapat terakumulasi dalam tubuh karena tidak adanya mekanisme yang dapat mengeluarkannya dari tubuh. Jika jumlah unsur ini melewati batas toleransinya dapat menimbulkan bahaya.

Di antara unsur-unsur yang sangat berbahaya bagi tubuh adalah unsur logam berat, seperti Hg, Cd, Pb, Cr(VI), Ni, Co dan As. Sebagian besar logam berat berpengaruh negatif terhadap tubuh karena logam ini dapat menyebabkan enzim tidak aktif. Logam dapat berkombinasi dengan gugus aktif dalam enzim, memutuskan ikatan-ikatan yang penting, atau menggantikan posisi logam esensial dalam enzim.

Pertanyaan #25.

Apakah fungsi enzim dalam tubuh kita?

1 Air raksa

Air raksa (Hg) adalah satu-satunya logam yang berfasa cair pada suhu ruang. Cairan Hg mempunyai tekanan uap yang relatif sangat rendah sehingga mudah menguap. Uap Hg dapat mengiritasi dan bahkan merusak jaringan paru-paru bila terhirup. Uap Hg yang terhirup melalui darah dapat mencapai otak. Sistem syaraf pusat dapat mengalami kerusakan. Depresi dan iritasi merupakan gejala keracunan Hg. Beberapa efek negatif Hg diantaranya adalah paralisis, kebutaan, lupa ingatan, kerusakan kromosom, dan cacat sejak lahir.

Air raksa biasanya digunakan sebagai katode dalam elektrolisis air garam, katalis dalam industri PVC dan plastik uretan, konduktor alat-alat listrik, dan juga fungisida.

Pertanyaan #26.

Industri peralatan listrik, alat ukur, obat-obatan dan cat sering menggunakan Hg dalam prosesnya. Berikan contoh industri lainnya?

Air raksa dapat berada di lingkungan melalui beberapa cara, yaitu terbuangnya Hg pada industri yang menggunakan Hg, pembakaran bahan bakar fosil, dan pada penambangan logam.

Diduga dalam air laut terdapat sekitar 23.000 kg Hg. Logam ini tidak larut dalam air. Logam Hg dapat larut dalam air karena aktifitas bakteri anaerobik atau pembentukan senyawa kompleksnya dengan molekul organik dari limbah atau tumbuhan yang telah mati. Metil air raksa(II) $[\text{CH}_3(\text{Hg})^+]$ dan dimetil air raksa(II) $[(\text{CH}_3)_2\text{Hg}]$ adalah senyawa yang sangat berbahaya. Karena kelarutannya dalam pelarut organik relatif besar, Hg mudah menerobos membran lemak, saluran plasenta, dan saluran darah-otak. Logam Hg menyerang sel otak, dan menyebabkan kerusakan yang permanen seperti kebutaan, tuli, lupa ingatan, dan juga kematian.

Peristiwa minamata yang mengerikan di Kyushu, Jepang pada tahun 1959 dan terulang pada tahun 1965 disebabkan oleh metil air raksa(II). Senyawa ini terdapat pada tubuh ikan yang ditangkap para nelayan di teluk Minamata. Sehubungan dengan hal tersebut, penyakit yang ditimbulkannya disebut dengan *Minamata disease*. Pada saat itu telah dilaporkan korban akibat *Minamata disease*, yaitu 43 kematian dari 111 kasus yang ada. Juga sekitar 19 bayi menderita berbagai gejala sakit seperti lemah mental, ayun, dan kejang-kejang. Tingginya konsentrasi Hg di teluk Minamata diketahui setelah 8 tahun berdirinya pabrik klorida air raksa atau raksa(II)klorida? yang membuang limbahnya menuju teluk.

Pertanyaan #27.

Hewan apa sajakah yang mempunyai kemungkinan mengandung Hg dalam tubuhnya dalam konsentrasi yang relatif tinggi?

Air raksa seperti juga senyawa beracun lainnya mempunyai kecenderungan terhadap *biological magnification*. Terdapat kecenderungan peningkatan konsentrasi pada saat terjadi perpindahan dari suatu konsumen ke konsumen lainnya. Dalam tubuh Hg termetabolisis secara pelan-pelan.

Senyawa Hg mempunyai waktu paruh sekitar 70 hari. Ini berarti bahwa diperlukan 70 hari agar satu bagian senyawa Hg berubah menjadi tinggal separuhnya. Bila konsentrasi senyawa Hg dalam organisme cukup tinggi dan menumpuk dalam tubuh dapat menyebabkan kematian.

2. Timbal

Timbal (Pb) termasuk logam yang bersifat toksik. Logam ini dapat berasal dari berbagai sumber. Balita dapat keracunan Pb melalui mainan yang digigitnya. Karyawan pabrik pembuatan baterai, pipa, dan cat mempunyai resiko yang tinggi terhadap keracunan Pb. Tetraetil timbal biasa ditambahkan dalam bensin sebagai bahan *antiknock*. Hal ini menyebabkan Pb dapat berada dalam asap kendaraan bermotor. Kaleng timah dipateri menggunakan Pb. Debu Pb terbawa oleh air hujan dari atmosfer. Timbal di daerah pertambangan dapat terbawa oleh air hujan ke saluran air, seperti sungai. Seperti Hg, Pb juga dapat masuk dalam rantai makanan.

Masuknya Pb dalam sistem pencernaan dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf, saluran pencernaan, dan ginjal. Gejala keracunan Pb bervariasi, dari badan lemah dan sakit kepala sampai kejang-kejang, ayu, kebutaan, dan lemah mental. Sifat kimia Pb hampir sama dengan kalsium. Timbal dapat tertimbun dalam tulang, dan juga jaringan lunak. Salah satu efek negatif dari Pb adalah dapat menghambat pembentukan hema sehingga menyebabkan anemia. Pada konsentrasi yang tinggi Pb menyebabkan kerusakan syaraf permanen dan kematian. Bila dalam darah terdapat Pb antara 0,5 sampai 0,8 µg/L dapat dikatakan telah terjadi keracunan akut.

3. Kadmium

Kadmium (Cd) berbahaya bagi tubuh karena kemampuannya dalam menggantikan zink (Zn). Zink adalah unsur esensial yang bertugas membantu pencernaan lemak. Beberapa lemak yang tidak tercerna akan tertimbun dalam tubuh, termasuk dalam sistem peredaran darah yang dapat menyebabkan tekanan darah tinggi dan gangguan fungsi jantung. Keracunan Cd kronik yang menyebabkan penyakit *itai-itai* pada penduduk wanita umur 40 tahun keatas di sepanjang sungai Jinzu, daerah Toyama, di Jepang, telah dilaporkan pada tahun 1912 (Gambar 22).

Kadmium dapat ditemukan pada makanan yang berasal dari laut, seperti kerang, yang mengandung logam Cd sampai 1.200 kali lebih banyak dari pada jenis makanan lainnya. Jenis makanan lain yang juga mengandung Cd adalah beras, gandum, dan gula. Pipa air (logam) juga mengandung Cd selain Zn. Logam ini dapat terlarut secara perlahan dalam air yang melewatinya.



Gambar 22. Seorang wanita penderita itai-itai.⁶⁰

Konsentrasi maksimum logam berat yang diijinkan dalam air dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Kadar tertinggi yang diijinkan (KTD) logam-logam berat (mg/L).

Logam berat	Kategori air permukaan		
	Kelas A	Kelas B	Kelas C
Ag	0,05	0,05	
As	0,05	0,05	0,05
Ba			0,05
Cd		0,01	0,01
Cr(VI)		0,05	0,05
Cu			0,02
Fe			5,0
Hg	0,002	0,0002	0,0002
Pb	0,05	0,05	0,05
Ni			0,2
Se	0,05	0,05	0,05
Zn			2,0

Limbah nutrisi⁶¹

Bahan-bahan yang mempunyai kandungan nutrisi yang dibuang ke badan air dapat menimbulkan masalah lingkungan. Berdasarkan studi yang dilakukan *Food and Agriculture Organisation* (FAO) bahan yang mengandung nutrisi dalam badan air sebagian besar berasal dari deterjen, dan sampah organik yang berasal dari rumah tangga dan berbagai industri. Pupuk hanya memberikan andil yang relatif kecil terhadap keberadaan nutrisi dalam air.

Sabun dan deterjen mempunyai struktur yang hampir sama. Keduanya terdiri dari bagian yang bersifat polar dan nonpolar. Sabun adalah garam logam dari rantai panjang asam organik yang terdiri dari sekitar 10 sampai 18 atom karbon. Salah satu contoh sabun adalah natrium stearat $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COO}^-\text{Na}^+]$.

Daya bersih sabun tergantung pada panjangnya rantai karbon. Semakin panjang rantai karbon, semakin besar pula daya bersihnya. Namun, sabun dengan rantai karbon lebih besar dari 18 sukar larut dalam air.

Bahan dasar utama pembuatan sabun adalah minyak kelapa. Komponen minyak kelapa diantaranya adalah asam laurat (12 atom C), asam kaprilat (8 atom C), dan asam miristat (14 atom C), yang terdapat sebagai ester dari gliserol. Gliserol adalah hasil samping pembuatan sabun.

'Deterjen' yang dijual di pasaran mempunyai komposisi yang lebih kompleks. Bahan aktif dalam deterjen yang mempunyai daya pembersih adalah surfaktan. Tabel 15. menunjukkan beberapa jenis surfaktan yang biasanya digunakan untuk membuat deterjen.

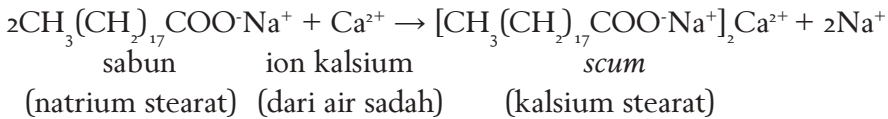
Tabel 15. Jenis-jenis surfaktan.

Jenis	Contoh
Anionik	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{S}-\text{O}^- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ Alkil sulfonat $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{S}-\text{O}^- \quad \text{Na}^+ \\ \\ \text{n} \end{array}$ Alkil sulfat
Kationik	$\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NH}_3\text{Cl}$ Amina primer $\begin{array}{c} \text{C}_{17}\text{H}_{35} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{N}^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} \quad \text{Cl}^-$ Amina kuarter
Non-ionik	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \diagdown \\ \text{O}-\text{C}_2\text{H}_4(\text{OCH}_2)_x-\text{OH} \end{array}$ Ester $\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_4(\text{OCH}_2)_x-\text{OH} \end{array}$ Eter

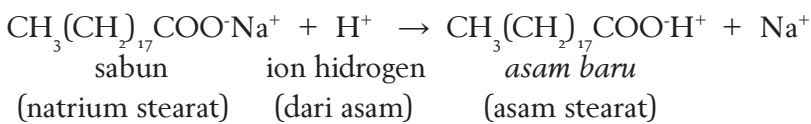
Baik sabun maupun deterjen adalah bahan yang digunakan sebagai pembersih. Namun, lebih banyak pengguna deterjen dari pada sabun. Beberapa alasan mengapa ibu rumah tangga lebih menyukai deterjen dari pada sabun adalah:

1. Sabun lebih sukar membuih dibandingkan deterjen.
2. Sabun menyebabkan *scum*⁶² bila digunakan untuk mencuci menggunakan air sadah. Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air sadah bereaksi dengan molekul sabun dan membentuk endapan yang tak larut atau *scum*. Kadang-

kadang *scum* mengambang atau menempel di dinding ember sehingga air nampak kotor.



3. Asam yang berasal dari *perspiration*⁶³ yang menempel pada pakaian bereaksi dengan sabun membentuk asam lain yang sukar larut dalam air dan dapat mengurangi daya pembersih dari sabun.



Ke dalam deterjen sering ditambahkan bahan pemutih [misalnya natrium hipoklorit (NaClO)], penghambat korosi [misalnya natrium silikat ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$)], *anticacking*⁶⁴ [misalnya natrium sulfat (Na_2SO_4)], pengemulsi (misalnya karboksimetilselulosa), dan bahan pelunak (misalnya fiksanol C.). Bahan lain yang juga dapat ditambahkan pada deterjen adalah natrium tripolifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Bahan ini ditambahkan dengan tujuan untuk: (1) mencegah pembentukan *scum* dengan mengikat ion Ca^{2+} menghasilkan ion kompleks, dan (2) untuk menjaga pH tetap tinggi sehingga asam-asam yang ada pada kotoran atau tanah dapat larut. Selain itu penambahan bahan tersebut juga dimaksudkan sebagai *filler* (bahan pengisi) agar ongkos produksi menjadi lebih murah.

Deterjen dan bahan aditif yang ada dalam deterjen dapat menyebabkan masalah lingkungan. Apa yang terjadi bila deterjen dalam jumlah relatif besar berada di lingkungan? Pelajarilah hal ini melalui kegiatan berikut.

Kegiatan #6.

Efek deterjen pada pertumbuhan kacang-kacangan.

Dalam kegiatan ini Anda akan mengamati dan mempelajari efek larutan deterjen pada pertumbuhan kacang-kacangan.

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Biji kacang hijau
2. Deterjen
3. 250 mL akuades
4. 3 buah cawan petri
5. 2 buah gelas beker 250 mL
6. 1 buah gelas ukur 100 mL

Cara kerja:

1. Siapkan dua jenis larutan deterjen. Larutan A dibuat dengan cara melarutkan 1 mL atau 0,36 g deterjen ke dalam 99 mL akuades. Larutan ini setara dengan larutan deterjen 1%. Larutan B dibuat dengan cara melarutkan 5 mL atau 1,8 g deterjen ke dalam 95 mL akuades. Larutan ini setara dengan larutan deterjen 5%.
2. Berilah label 1, 2 dan 3 pada cawan petri. Tuangkan 10 mL akuades ke dalam cawan petri 1, 10 mL larutan deterjen 1% pada cawan 2, dan 10 mL larutan deterjen 5% pada cawan 3. Masukkan 10 bijih kacang hijau masing-masing pada cawan 1, 2 dan 3. Aturlah bijih kacang hijau dalam cawan sehingga masing-masing saling berjauhan. Tutup dan simpanlah cawan-cawan tersebut.
3. Amati perubahan-perubahan yang terjadi pada bijih kacang hijau setiap hari selama 3 sampai 4 hari. Juga catat jumlah bijih yang mengalami perubahan tiap harinya.

Pertanyaan #28.

Apakah terdapat hubungan antara konsentrasi larutan deterjen dengan pertumbuhan bijih kacang hijau?

Pertanyaan #29.

Apa yang terjadi pada tanaman jika dalam air terdapat deterjen dalam jumlah yang relatif banyak?

Pertanyaan #30.

Apa efek tanaman yang mati terhadap tanaman lainnya?

Pertanyaan #31.

Bahan kimia apakah yang terdapat dalam deterjen yang merupakan nutrisi bagi tanaman?

Apakah hasil pengamatan Anda pada Kegiatan #6 hampir sama dengan gejala yang ada di lingkungan air di sekitar tempat tinggal Anda? Sejumlah besar nutrisi menyebabkan cepatnya dan tidak terkontrolnya pertumbuhan tanaman air atau *algal bloom*. *Algal bloom* hanya merupakan tahap awal proses terjadinya pendangkalan badan air. Apakah efek dari *algal bloom*?⁶⁵

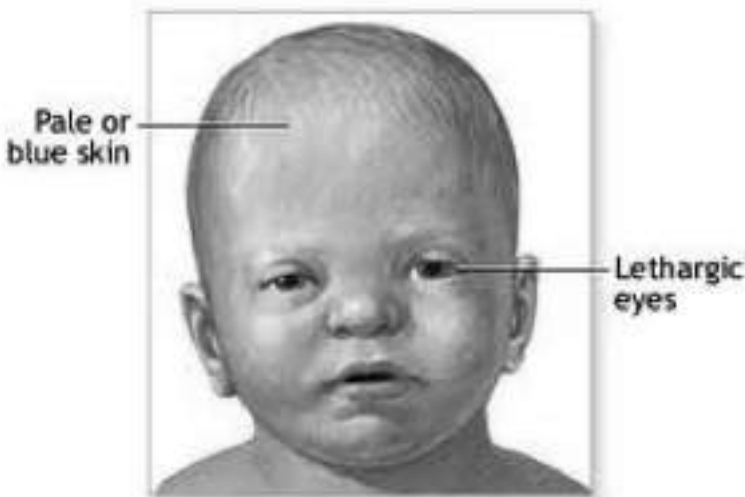
1. Lapisan tanaman pada permukaan air menghambat sinar matahari mencapai dasar badan air dan lapisan tanaman yang hidup di bawahnya. Akibatnya fotosintesis terhambat dan dapat menyebabkan kematian pada tanaman tersebut. Pembusukan tanaman yang mati membutuhkan banyak oksigen terlarut, atau dengan kata lain hal ini akan meningkatkan BOD air.
2. Tanaman yang mati dan tenggelam pada dasar badan air menyebabkan terbentuknya endapan lumpur dan terjadinya pendangkalan. Endapan lumpur dapat menutupi dan menimbun telur atau larva berbagai binatang air.
3. Beberapa jenis ikan akan terhambat pertumbuhan dan perkembangannya, dan bahkan sebagian ikan tidak mampu bertahan hidup dalam air dengan konsentrasi oksigen yang rendah.
4. Terpengaruhnya bau, warna, dan rasa air.

Ke-empat hal tersebut sering disebut sebagai gejala eutrofikasi. Eutrofikasi merupakan gejala alami, yang dapat menyebabkan pendangkalan suatu badan air. Nutrisi dalam air dapat mempercepat terjadinya eutrofikasi.

Selain dapat mempercepat terjadinya eutrofikasi, deterjen juga menunjukkan efek yang tidak baik lainnya terhadap lingkungan air. Beberapa jenis deterjen tidak dapat terurai oleh bakteri (misalnya senyawa alkil benzena sulfonat yang bercabang), dan beberapa lainnya terurai dengan sangat lambat (alkil benzena linear). Alkil sulfat yang diperoleh dari minyak kelapa dapat terurai oleh bakteri. Sebagian besar buih deterjen yang tidak terurai oleh bakteri mengapung dan menutup permukaan air. Buih ini

menghambat oksigen dan sinar matahari masuk ke dalam air.

Limbah pertanian merupakan sumber nutrisi, seperti fosfat dan nitrat, yang juga dapat menyebabkan eutrofikasi. Ion nitrat (NO_3^-) dalam air tidak begitu berbahaya, namun bakteri dapat merubahnya menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang bersifat lebih berbahaya bagi manusia. Bila nitrit terabsorpsi oleh darah akan mengoksidasi Fe(II) dalam hemoglobin menjadi Fe(III), menghasilkan metemoglobin [HbFe(III)]. Ion Fe(III) dalam metemoglobin dalam darah tidak mempunyai kemampuan mengikat oksigen. Hal ini dapat menyebabkan jaringan dalam tubuh kekurangan oksigen dan dapat menyebabkan kematian. Keadaan kelebihan metemoglobin disebut metemoglobinemia. Sindrom bayi biru yang banyak terjadi pada bayi di bawah umur 6 bulan disebabkan oleh metemoglobinemia (Gambar 23). Kulit bayi berubah menjadi biru karena tubuhnya kekurangan oksigen. Kondisi dalam perut bayi sangat kondusif bagi terjadinya perubahan nitrat menjadi nitrit.



Gambar 23. Sindrom bayi biru.⁶⁶

Pertanyaan #32.

Apakah fungsi hemoglobin dalam darah?

Limbah panas

Sejumlah air panas dibuang oleh pembangkit tenaga listrik ke badan air. Beberapa jenis ikan dapat beradaptasi pada perubahan suhu tertentu, dan suhu air yang tinggi telah merubah pola kehidupan organisme air. Sebagai

contoh, pada suhu yang relatif tinggi hemoglobin ikan menunjukkan afinitas terhadap oksigen yang rendah.

Suhu air yang tinggi menyebabkan berbagai macam perubahan. Reaksi-reaksi kimia umumnya berlangsung lebih cepat. Air menjadi berlapis-lapis sesuai dengan tinggi rendahnya suhu air.

Pertanyaan #33.

Bagaimanakah pengaruh suhu terhadap kelarutan oksigen dalam air? Bagaimana efek suhu terhadap kehidupan organisme air?

Organisme patogen

Air merupakan media yang sangat baik bagi perkembangan bakteri patogen yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Bila masuk dalam sistem pencernaan manusia bakteri patogen dapat menginfeksi saluran pencernaan (tipus, para-tipus, kolera, desentri) dan juga dapat menyebabkan folio dan hepatitis.

Alasan paling utama dalam pencegahan polusi air adalah karena kemungkinan terdapatnya mikroorganisme penyebab penyakit dalam air terpolusi. Mikroorganisme dalam air dimungkinkan oleh beberapa aktifitas manusia, seperti pembuangan faeses atau urin penderita sakit ke dalam saluran air. Air yang telah terpolusi oleh mikroorganisme patogen seharusnya tidak digunakan untuk air minum. Mikroorganisme patogen masuk dalam air secara sporadis, namun dalam air tidak dapat bertahan lama. Pemeriksaan terhadap keberadaan mikroorganisme ini biasanya kurang berhasil jika jumlah bakteri dalam air relatif sedikit. Paling tidak, dibutuhkan waktu inkubasi 24 jam untuk mendapatkan hasil analisis yang baik.

Bakteri koliform merupakan indikator yang dapat dipakai untuk mendeteksi keberadaan bakteri patogen dalam air. Bakteri ini hidup dalam usus dan menyerap sari makanan yang ada di sekitarnya. Bakteri ini tidak berbahaya dan selalu terdapat dalam faeses. Keberadaannya dalam air menunjukkan adanya faeses yang dibuang ke dalam air. Bakteri ini dapat berkembang dengan baik dalam air. Menurut perkiraan, setiap orang mengeluarkan bakteri koliform beberapa juta setiap harinya. Jika tidak berada dalam lingkungan air yang tepat, bakteri ini tidak dapat berkembang dengan baik bahkan dapat mengalami kematian. Jika dalam air terdapat

bakteri koliform dapat dipastikan bahwa dalam air tersebut juga terdapat bakteri patogen.

Perlu diketahui bahwa bakteri pengurai senyawa organik tidak (juga?) terdapat dalam perut manusia dan binatang, dan bakteri ini tidak patogen.

Pertanyaan #34.

Sebutkan beberapa cara masuknya organisme dalam air minum?

Sedimen

Sedimen merupakan padatan inert dengan ukuran yang bervariasi yang tererosi dari permukaan tanah oleh tiupan angin, banjir, dan air irigasi. Keberadaannya dalam air dapat menyebabkan polusi air dan tanah. Sedimen yang berasal dari erosi tanah pertanian kadang-kadang mengandung pupuk dan insektisida, sehingga konsentrasi kedua zat tersebut dalam air dapat meningkatkan.

Senyawa halogen

Sintesis senyawa kloroform, bromodiklorometana, dibromoklorometana, dan bromoform mendasarkan pada reaksi klorinasi. Selain itu, metode klorinasi juga digunakan untuk membunuh bakteri dalam air. Klorinasi pada air minum berkaitan erat dengan timbulnya penyakit kanker pada konsumen air yang telah diklorinasi.⁶⁷ Namun, penelitian di laboratorium belum dapat menjelaskan mekanisme timbulnya kanker sebagai akibat konsumsi air terklorinasi.

Bagaimana cara mengukur efek negatif polutan air?

Jumlah polutan yang tertimbun dalam tubuh sangat sulit untuk ditentukan. Identifikasi dan penentuan komposisi kimia polutan tersebut jauh lebih sulit untuk dilakukan. Efek suatu polutan relatif mudah dipelajari. Biasanya, efek negatif suatu polutan dipelajari dengan cara membandingkan antara data pengamatan dengan data standar. Hal-hal yang bisa dibandingkan diantaranya adalah rasa, warna, bau, pH, dan jumlah polutan yang terlarut dalam air. Tabel 16. menunjukkan indikator kimiawi kualitas air. Penyimpangan terhadap indikator ini mengindikasikan bahwa air telah terpolusi.

Beberapa polutan dapat menimbulkan efek sinergistik.⁶⁸ Polutan tersebut menunjukkan efek yang semakin besar jika berkombinasi dengan polutan lainnya. Sebagai contoh, sianida dalam air bersifat toksik bagi organisme air, dan menjadi sangat mematikan jika dalam air juga terdapat logam Cd. Begitu pula, Cd juga menunjukkan sifat toksik yang lebih besar jika bersama-sama dengan sianida berada dalam air. Dengan demikian menjadi sangat sulit untuk mengukur efek negatif suatu polutan dalam air.

Tabel 16. Indikator kimia kualitas air.

Parameter	Makna	Tingkat
Oksigen terlarut (DO)	Indikator umum kualitas air. Sumber oksigen untuk respirasi.	Konsentrasi minimum 4-5 mg/L
Biological Oxygen Demand (BOD)	Jumlah oksigen terlarut yang hilang selama peruraian senyawa organik dalam waktu tertentu. Merupakan indikator polusi yang disebabkan oleh senyawa organik yang dapat terurai secara biologi.	BOD (mg/L)
		Keadaan air
		1 Sangat bersih
		2 Bersih
		3 Cukup bersih
		5 Tidak bersih
		10 Terpolusi
Chemical Oxygen Demand (COD)	Indikator konsentrasi polutan yang dapat teroksidasi secara kimia.	Sangat bersih = 0-0,5 mg/L
pH	Menunjukkan sifat asam atau basa.	Tergantung pada penggunaan air. pH=7, air murni. pH=6,7-7,8 air untuk perikanan.
Total Dissolved Solid (TDS)	Menunjukkan jumlah total mineral toksik maupun nontoksik yang terlarut dalam air.	Untuk perikanan, 500 mg/L. Danau 'miskin garam', TDS <50 mg/L. Danau ini mengandung sedikit nutrisi bagi populasi organisme air.
Nitrat	Menunjukkan adanya tanaman yang mengandung nutrisi nitrogen. Dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan tanaman tumbuh terlalu cepat.	Maksimum 0,3 mg/L untuk mencegah terlalu suburnya air.
Fosfat	Menunjukkan adanya tanaman yang mengandung nutrisi fosfor. Dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan tanaman tumbuh terlalu cepat.	Maksimum 0,03-0,04 mg/L total fosfat anorganik.

Besi	Menunjukkan aliran air yang membawa sedimen dari daerah pertambangan, industri besi.	Maksimum 0.7 mg/L untuk perikanan.
Tembaga	Menunjukkan aliran air yang membawa sedimen dari daerah pertambangan, pelapisan logam, industri lainnya.	Maksimum 0.027 mg/L untuk keperluan umum.
Air raksa, kadmium, timbal, nikel, zink, kromium, kobalt	Saluran buangan industri pertambangan dan industri lainnya.	Maksimum 0.01-0.02 mg/L untuk keperluan umum.
CO ₂ (bebas)		<10 mg/L, lebih dari 25 mg/L mematikan beberapa organisme.
Kesadahan	Menunjukkan jumlah ion kalsium dan magnesium yang berkombinasi dengan sulfat, klorida, dan bikarbonat. Kesadahan pada air alam umumnya disebabkan oleh kalsium karbonat.	Tingkat kesadahan (mg/L)
		Lunak 0-60
		Sedang 61-120
		Kuat 121-180
		Sangat kuat >180
		Kesadahan total (mg/L)
		Diperbolehkan <25
		Berbahaya bagi kesadahan >500
Suhu	Penyimpangan dari suhu optimum dapat menyebabkan kematian atau migrasi organisme air.	Kenaikan suhu sebesar 5 °C dapat memusnahkan kehidupan air.
Kejernihan	Menunjukkan jumlah zat tersuspensi dalam air dan dapat tertembus cahaya.	Daya tembus cahaya (cm)
		Baik >60
		Sedang ~30
		Tidak baik <10

Pertanyaan #35.

Sebutkan hubungan antara BOD dengan jumlah bahan organik dalam air?

Pertanyaan #36.

Apa manfaat oksigen dalam air?

Pengukuran kadar oksigen

Konsentrasi oksigen dalam air dapat dijadikan petunjuk tingkat polusi yang disebabkan oleh limbah organik.⁶⁹ Konsentrasi oksigen dalam air dapat diukur sebagai (a) oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO), (b) banyaknya oksigen yang dibutuhkan dalam peruraian bahan organik secara

biologi (*Biological Oxygen Demand* = BOD) , dan (c) banyaknya oksigen yang dibutuhkan dalam peruraian bahan organik secara kimia (*Chemical Oxygen Demand* = COD).

BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan organisme anaerobik untuk menguraikan bahan organik dalam air. Di lain pihak, COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi oksidasi bahan organik secara kimia dalam air menghasilkan H_2O dan CO_2 . COD dan BOD biasanya dinyatakan dalam satuan mg/L.

Kelarutan oksigen dalam air pada suhu 25 °C dan tekanan udara 1 atmosfer adalah 8,32 mg/L. Air dengan kandungan oksigen kurang dari 5 mg/L tidak mendukung kelangsungan hidup organisme yang terbiasa hidup pada suhu sedang. Jumlah dan jenis populasi organisme dapat digunakan sebagai indikator biologi terhadap polusi air.⁷⁰

Kegiatan #7.

Penentuan jumlah oksigen dalam air relatif sulit dilakukan dan menuntut peralatan dan bahan kimia yang mahal harganya.

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Alat injeksi 30 mL
2. Jarum injeksi
3. 3 buah tabung reaksi 25 mL
4. 5 buah batu ($\varnothing$ 5 mm) atau landasan datar
5. larutan asam fosfat pekat
6. larutan mangan sulfat 40%
7. larutan alkali-iod (larutan NaOH 32% dan KI 10%)
8. 3 jenis sampel air (akuades sebagai air bersih, air kolam atau air sungai sebagai air yang terpolusi tingkat sedang, dan air comberan sebagai air yang terpolusi)

Catatan: Usahakan sampel diperlakukan secara sama, terutama jika jumlah alat injeksi memungkinkan.

Cara kerja:

1. Bukalah sumbat alat injeksi. Tempatkan batu kecil yang bersih dalam tabung injeksi dan kemudian kembalikan sumbatnya. Tekan sumbat alat

injeksi sampai sumbat tersebut mencapai ujung bagian lain alat injeksi. Lihat Gambar 24. Pasangkan jarum pada alat injeksi.



Gambar 24. Alat injeksi dengan jarumnya.

2. Benamkan ujung jarum ke dalam larutan MnSO_4 dan hisaplah larutan sebanyak 10 mL. Posisikanlah alat injeksi pada posisi tegak dengan bagian jarum menghadap ke atas.
3. Tekanlah penyumbat pelan-pelan hingga batu mencapai ujung lain dari alat ini. Hal ini dilakukan agar udara dapat keluar dari tabung injeksi sebanyak mungkin. Udara dapat menyebabkan oksigen terlarut dalam air menjadi lebih tinggi dari yang semestinya. Alat injeksi masih berisi sekitar 1 mL larutan MnSO_4 .
4. Benamkan ujung jarum ke dalam akuades dan ambil 18 mL akuades. Peganglah alat injeksi dalam posisi mendatar dan pelan-pelan gojoklah larutan yang ada di dalamnya. Batu akan menggelinding dan mencampur larutan dalam alat injeksi. Usahakan agar tidak ada larutan yang keluar dari bagian penyumbat atau ujung jarum dan tidak ada udara yang masuk ke dalam alat injeksi selama penggojokan.
5. Sedot lagi 0,5 mL larutan alkali-iodida. Pegang alat injeksi dalam posisi mendatar. Sekali lagi lakukan penggojokan larutan secara pelahan dengan cara memutar posisi alat injeksi. Amati larutan yang ada dalam alat injeksi.
- 6 Letakkan alat injeksi di atas meja selama 5 menit agar endapan mempunyai kesempatan untuk mengabsorpsi oksigen terlarut.

7. Dengan posisi yang tetap mendatar sedot lagi 0,5 mL asam fosfat. Gojoklah alat injeksi dengan baik dan amati perubahan yang terjadi.
8. Pindahkan campuran yang ada dalam alat injeksi ke dalam tabung reaksi dan tutuplah rapat-rapat. Amati larutan ini dengan baik. Larutan ini akan digunakan sebagai pembanding.
9. Cucilah alat injeksi dan lakukan pengerjaan 1 s.d. 8 untuk sampel air lainnya. Catatlah hasil pengamatan Anda.
10. Urutkanlah tabung reaksi berdasarkan intensitas warna larutan di dalamnya. Warna larutan sebanding dengan jumlah oksigen terlarut dan tingkat polutan dalam sampel.

Pada percobaan ini, NaOH bereaksi dengan MnSO_4 menghasilkan Mn(OH)_2 , yang kemudian akan bereaksi dengan O_2 dalam larutan menghasilkan MnO(OH)_2 . Senyawa MnO(OH)_2 bereaksi dengan alkali-iodida menghasilkan iodin. Jumlah iodin yang dihasilkan sebanding dengan jumlah oksigen dalam larutan. Intensitas warna larutan menunjukkan jumlah iodin.

Pertanyaan #37.

Larutan manakah yang paling gelap dan mana yang paling terang?

Pertanyaan #38.

Sampel air manakah yang mengandung polutan paling banyak?

Pertanyaan #39.

Apa hubungan antara tingkat oksigen terlarut dengan tingkat polutan dalam air?

Biological oxygen demand (BOD)

Kegiatan #8.

Dalam kegiatan ini Anda diminta untuk menyediakan model air terpolusi. Yeast akan digunakan sebagai pengganti peran mikroorganisme dalam air. Bahan dan alat yang digunakan:

1. 6 buah tabung reaksi 25 mL

2. 2 buah gelas beker atau botol susu 100 mL
 3. gelas ukur
 4. batang pengaduk
 5. pipet tetes
 6. *stopwatch*
 7. 60 mL akuades
 8. 1 sendok susu bubuk
 9. 1 sendok yeast (Gambar 25)
 10. metilen biru
- II. *ballpoint*



Gambar 25. Yeast.⁷¹

Catatan: Usahakan alat-alat yang digunakan dalam kondisi bersih.

Cara kerja:

1. Ujilah keberadaan oksigen dalam akuades dengan cara menambahkan 10 mL metilen biru pada 3 mL akuades dalam sebuah tabung reaksi. Warna akuades akan berwarna biru jika di dalamnya terdapat oksigen, dan nampak pucat jika tidak terdapat oksigen.
2. Tuanglah 20 mL akuades dalam sebuah gelas beker. Tambahkan 1 sendok teh susu bubuk ke dalam akuades tersebut. Aduk baik-baik sehingga

susu tercampur sempurna. Dalam hal ini susu bubuk dianggap sebagai polutan. Tandailah gelas beker dengan A.

3. Tuang 20 mL akuades ke gelas beker B, dan tambahkan satu sendok teh yeast kering ke dalamnya, serta aduk baik-baik. Biarkan selama sekitar 2 menit dan kemudian aduk kembali campuran beberapa menit. Campuran ini merupakan model dari organisme pengurai.
4. Ambil 3 buah tabung dan tandai dengan nomor 1, 2 dan 3. Tuangkan 5,5 mL akuades ke dalam tabung 1, dan 3 mL akuades ke dalam tabung 2. Tabung ke 3 dibiarkan kosong tanpa akuades. Tambahkan larutan susu dari gelas beker A ke dalam ketiga tabung reaksi: 0,5 mL ke dalam tabung 1, 3 mL ke dalam tabung B, dan 6 mL ke dalam tabung 3. Anda dapat menggunakan Tabel 17 sebagai penuntun.

Pertanyaan #40.

Berdasarkan model ini, tabung reaksi manakah yang berisi air paling terpolusi?

Tabel 17. Komposisi campuran.

	Tabung reaksi	Akuades (mL)	Susu (mL)	Metilen biru (tetes)	Yeast (mL)
Uji	1	5,5	0,5	20	3
	2	3	3	20	3
	3	0	6	20	3
Kontrol	4	5,5	0,5	0	0
	5	3	3	0	0
	6	0	6	0	0

1. Tandailah ketiga tabung yang lain dengan nomor 4, 5 dan 6, dan kemudian ulangi pengerjaan f atau 4?. Ketiga tabung ini merupakan kontrol terhadap tabung 1, 2 dan 3. Teteskan 20 tetes metilen biru ke dalam tabung reaksi 1, 2, dan 3. Campur larutan dalam tabung dengan cara menutup mulut tabung rapat-rapat dan membalikkan posisinya berkali-kali.

Pertanyaan #41.

Apakah oksigen ada dalam setiap tabung reaksi?

2. Tuang 3 mL campuran yeast dari beker 2 ke dalam tabung reaksi 1 dan aduklah dengan baik. Segera catatlah waktu yang dibutuhkan sampai terjadinya perubahan. Tambahkan sejumlah yang sama yeast pada tabung 2 dan 3, dan catat pula waktunya. Amatilah apa yang terjadi pada setiap tabung dan catatlah waktunya. Bandingkan hasilnya dengan tabung reaksi kontrol.

Pertanyaan #42.

Jelaskan hasil pengamatan Anda?

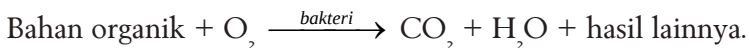
Pertanyaan #43.

Campuran dalam tabung reaksi yang manakah yang mengalami perubahan warna paling awal?

Kegiatan tersebut termasuk dalam uji kualitatif untuk BOD sampel air. Semakin cepat perubahan warna larutan, semakin besar nilai BOD-nya.

Di alam, bahan organik dalam air mungkin akan diuraikan oleh bakteri aerobik dan anaerobik.⁷² Bakteri aerobik membutuhkan oksigen dalam aktifitasnya, sedangkan bakteri anaerobik tidak membutuhkan oksigen. Bakteri anaerobik membutuhkan bahan lain, seperti sulfida, nitrit, dan nitrat.

Pada awal penguraian senyawa organik, bakteri aerobik menggunakan oksigen terlarut dalam air menghasilkan senyawa yang lebih sederhana, seperti CO_2 , H_2O , PO_4^{3-} , NO_3^- , dan SO_4^{2-} . Spesies tersebut dimanfaatkan oleh tanaman dan organisme lainnya untuk pertumbuhan.



Penguraian bahan organik oleh bakteri aerobik membutuhkan sejumlah tertentu oksigen. Semakin banyak bahan organik yang akan diuraikan, semakin banyak pula oksigen yang diperlukan. Hal ini juga menunjukkan semakin tingginya BOD.

Pertanyaan #44.

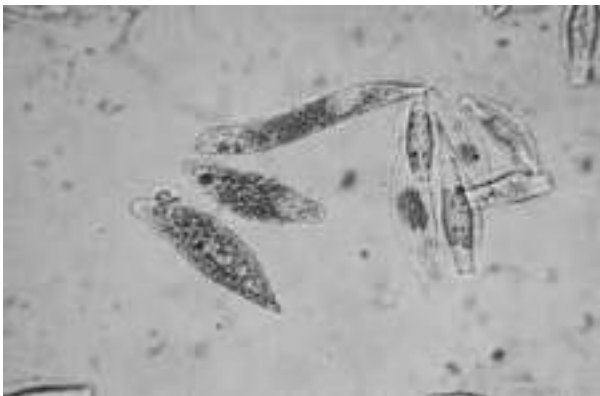
Apa yang terjadi dengan DO jika harga BOD air tinggi?

Pertanyaan #45.

Sampel manakah yang mempunyai harga BOD paling tinggi?

Harga DO yang rendah dan BOD yang tinggi mengindikasikan tingginya jumlah bahan organik dalam air. Jika bahan organik masuk ke dalam badan air dalam berlangsung dalam waktu yang lama, oksigen terlarut akan cenderung terus menurun sampai kondisi air memungkinkan bagi bakteri anaerob tumbuh dan berkembang menggantikan bakteri aerob. Bakteri anaerob melanjutkan proses peruraian bahan organik, tetapi dengan menghasilkan produk reaksi yang berlainan; yaitu gas-gas yang berbau busuk, berbahaya bagi kesehatan dan berupa gas yang mudah menyala. Gas-gas tersebut adalah gas hidrogen sulfida (H_2S) yang berbau seperti telur busuk, metana (CH_4) atau gas rawa yang mudah menyala, fosfin (PH_3) yang berbau amis, dan amoniak (NH_3).

Pada kondisi anaerob, tumbuhan dan organisme aerob akan mati dan digantikan oleh organisme anaerob. Organisme anaerob diantaranya meliputi jamur sampah, *protozoa paramecium putrinum* (Gambar 26), dan cacing *turbifex* (Gambar 27). Ikan tidak memanfaatkan organisme anaerobik sebagai sumber makanan, sehingga beberapa jenis ikan dapat mengalami kematian atau bila kondisi memungkinkan, ikan akan pindah ke tempat lain yang mempunyai DO relatif tinggi.



Gambar 26. *Protozoa paramecium putrinum*.⁷³



Gambar 27. Cacing *tubifex*.⁷⁴

Bagaimana proses terpolusinya sungai?

Sepertiga penduduk dunia tinggal di daerah perkotaan. Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan industri di perkotaan yang berlangsung dengan pesat menyebabkan semakin banyak sampah yang dihasilkan. Tanpa adanya sistem pengolahan sampah yang baik, lambat laun sampah akan menumpuk dan dapat memasuki badan air, seperti sungai dan laut.

Pertanyaan #46.

Sebutkan beberapa faktor yang menyebabkan kualitas air menurun?

Pertanyaan #47.

Apakah di dekat tempat tinggal Anda terdapat sungai, danau atau laut?

Pertanyaan #48.

Apakah keluarga Anda memiliki *septic tank*?

Pertanyaan #49.

Runutlah air limbah dari rumah tangga Anda, sampai ke parit, sungai, danau, atau ke laut?

Kerja lapangan

Dalam kegiatan ini Anda mempelajari perbandingan kualitas air sebelum dan sesudah terpolusi, atau menentukan tingkat kemurnian air.

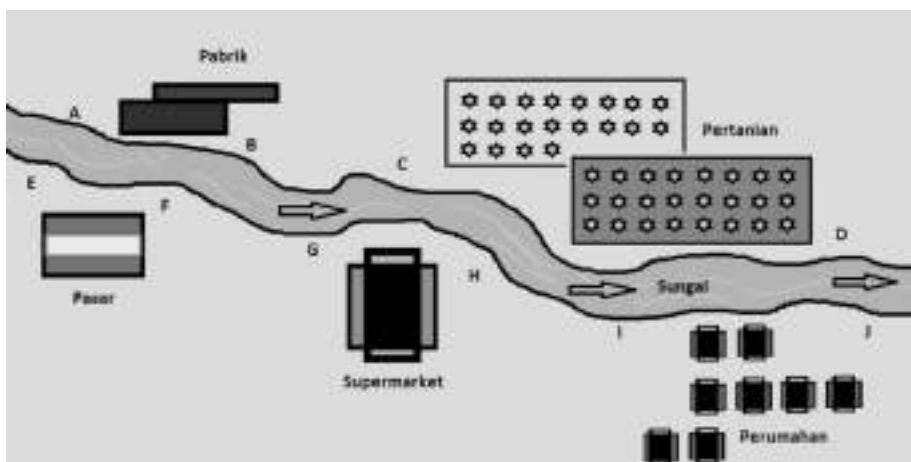
Langkah pendahuluan:

1. Bekerjalah dalam kelompok. Setiap kelompok mempelajari keadaan dekat saluran air. Hati-hatilah dalam menentukan tempat. Pilihlah tempat yang berarus lemah dan berkedalaman sekitar setinggi lutut.
2. Siapkan peta lingkungan.
3. Buatlah daftar peralatan dan bahan yang diperlukan, dan siapkan sebelum perjalanan ke lokasi dimulai. Jika peralatan dan bahan kurang mencukupi, lakukan satu kegiatan untuk satu kelompok.

Kegiatan #9.

Anda dapat melakukan kegiatan pada alur sungai yang ada di dekat sekolah atau tempat tinggal.

1. Pelajari peta lokasi alur sungai. Tentukan beberapa tempat, seperti tempat dekat pasar, perumahan penduduk, pabrik, perkantoran, rumah sakit, rumah pemotongan hewan, peternakan, pertambangan, dan stasiun pengisian bahan bakar minyak.
2. Pelajarilah peta alur sungai dan catatlah tempat-tempat yang akan diamati. Untuk mempermudah kerja Anda, buatlah peta seperti Gambar 28.



Gambar 28. Peta alur sungai

3. Setiap kelompok bekerja pada satu lokasi, seperti yang ditunjukkan dengan HURUF KAPITAL.
4. Pergilah ke lokasi dan identifikasikan lokasi Anda terhadap sumber air (misalnya: jarak dari air sungai), dan jenis sampah yang dibuang oleh penduduk(Tabel 18).

Tabel 18. Jenis sampah yang dibuang oleh penduduk.

Sumber polutan	Sampah yang dibuang	Klasifikasi polutan
Perumahan penduduk		
Daerah komersial		
1. Pertokoan		
2. Supermarket		
3. Rumah pemotongan hewan		
4. Lain-lain		
Pertanian		
1. Ternak sapi		
2. Ternak ayam		
3. Persawahan		
4. Perkebunan		
5. Lain-lain		
Industri		
1. Cat		
2. Penyulingan minyak		
3. Pengolahan makanan		
4. Tekstil		
5. Lain-lain		

Kegiatan #10. Menentukan efek polutan terhadap air

Pada setiap lokasi (Gambar #), lakukan pengerjaan berikut:

1. Pelajarilah sifat fisik air. Amati warna, suhu, kejernihan, bau, dan kecepatan arus air. Jika pengamatan tidak bisa dilakukan secara langsung, ambilah sebagian air sebagai sampel dan simpanlah dalam botol yang berwarna gelap, bersih dan kering, dan kemudian tutuplah botol rapat-rapat. Ambilah sampel air dari kedalaman kira-kira separuh kedalaman seluruhnya, serta pada bagian yang arusnya tidak terlalu deras.

Penutupan botol sebaiknya dilakukan saat mulut botol masih di dalam air. Hindarkan guncangan dan pengendapan sampai sampel dianalisis.

2. Tentukan BOD, DO, pH dan kandungan garam terlarut.
3. Diskusikan hasil yang Anda peroleh dengan hasil dari kelompok lain.

Pertanyaan #50. Untuk keperluan apa masyarakat di lokasi menggunakan air?

Pertanyaan #51. Dari manakah mereka mendapatkan air untuk keperluan sehari-hari?

Pertanyaan #52. Apakah masyarakat di sekitar lokasi membuang sampah ke sungai?

Pertanyaan #53. Buatlah daftar jenis sampah dan klasifikasikan menurut keadaannya. Tabulasikan hasil Anda pada Tabel #?

Pertanyaan #54. Apakah yang menjadi sumber utama polusi air di lokasi tersebut?

Pertanyaan #55. Apa kaitan antara perumahan penduduk dan polusi air sungai?

Selamatkan air kita!

Polusi air pada hakekatnya disebabkan oleh penggunaannya sendiri. Kita harus mengusahakan agar air kita tetap bersih. Air bersih berarti sehat untuk diminum, mempunyai daya dukung bagi kehidupan organisme air (misalnya: ikan), mempunyai nilai estetika yang tinggi, baik untuk keperluan sehari-hari, tidak membutuhkan pengolahan lebih dahulu jika akan digunakan, dan tersedia dalam jumlah yang cukup untuk jangka waktu yang relatif lama. Anda sudah memahami tentang pentingnya air bersih, oleh karena itu Anda harus sadar untuk tidak mencemari air.

Cara memperoleh air bersih

Sampai saat ini air yang banyak kita gunakan berasal dari air permukaan (sungai dan danau) dan air tanah. Penggunaan air sangat tergantung pada kualitasnya. Air untuk keperluan minum harus memenuhi syarat kesehatan, dan harus mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi. Air tersebut harus bersih dan jernih, tidak bersedimen, berwarna, berbau, berasa, dan tidak mengandung bakteri, virus, dan bahan-bahan kimia berbahaya, serta mengandung sejumlah mineral dan garam-garam tertentu. Untuk pertanian dan industri, air yang bebas dari garam dan bahan-bahan kimia beracun sangat diperlukan. Namun, kualitas air untuk industri pengolahan makanan samadengan kualitas air minum.

Proses apa sajakah yang dilakukan dalam pengolahan air?

Proses pengolahan primer, sekunder, dan tersier dilakukan berdasarkan pada tujuan penggunaan air dan kualitas air dari sumbernya.⁷⁵ Pengolahan primer dilakukan berdasarkan pada penghilangan padatan dalam air. Proses ini meliputi penghilangan lumpur, penggumpalan, dan sedimentasi. Zat padat tersuspensi dalam air akan tenggelam pada dasar air jika tidak ada gerakan yang mengganggu dalam air. Penambahan alumunium sulfat (tawas) ke dalam air akan mempercepat proses pembentukan *floc* (agregat padatan) yang mudah mengendap. Penambahan kalsium hidroksida akan menurunkan kesadahan. Ini akan menghilangkan kalsium bikarbonat dan semua ion magnesium, yang dapat menyebabkan kesadahan pada air. Proses-proses tersebut akan menghasilkan air bersih.

Pertanyaan #50.

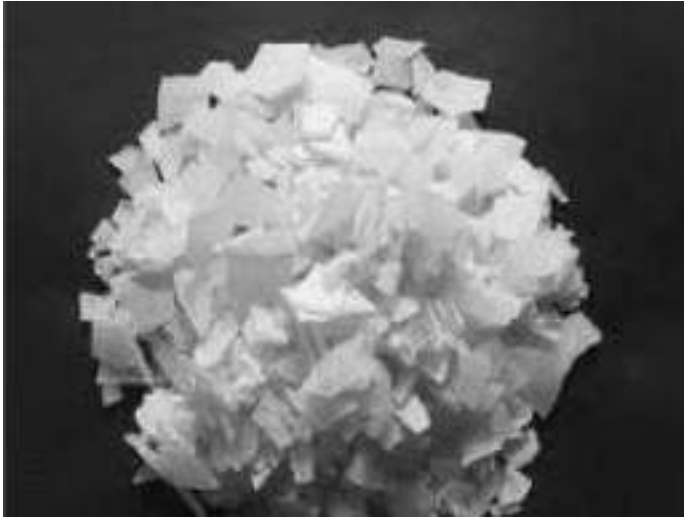
Senyawa apa sajakah yang terdapat dalam air tanah yang diperoleh dari daerah dekat pantai yang telah terkena intrusi air laut?

Kegiatan #II. Flokulasi dan pengendapan

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$
2. Larutan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ atau alum atau tawas (Gambar 29)
3. Air kotor/terpolusi
4. Batang pengaduk

5. Akuades
6. 4 buah tabung reaksi
7. Gelas ukur



Gambar 29. Tawas.⁷⁶

Cara kerja:

1. Masukkan 16 mL larutan Ca(OH)_2 ke dalam tabung reaksi. Dengan perlahan tambahkan 4 mL larutan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Amati apa yang terjadi. Padatan yang Anda lihat adalah *floc*.
2. Berilah label 1, 2, dan 3 pada tiga buah tabung reaksi.
3. Tuangkan larutan Ca(OH)_2 dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dengan jumlah yang sesuai dengan yang tercatum dalam Tabel 19. Ke dalam tabung reaksi 1, 2, dan 3, tambahkan pula air kotor/terpolusi.

Tabel 19. Komposisi campuran.

Bahan	Tabung reaksi		
	1	2	3
Air berlumpur (mL)	10	10	10
Akuades (mL)	10	0	5
Larutan Ca(OH)_2 (mL)	0	8	4
Larutan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	0	2	1

4. Gojok dengan segera setelah dilakukan pencampuran, dan amati apa yang terjadi. Catat apa yang Anda amati setiap 5 menit sampai tidak terjadi perubahan lagi.

Pertanyaan #51.

Jelaskan hasil pengamatan Anda?

1. Tabulasikan data yang Anda peroleh pada Tabel 20.

Tabel 20. Data pengamatan kegiatan.

Interval waktu (menit)	Hasil pengamatan pada tabung reaksi		
	1	2	3
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			

Anda dapat menjernihkan air dengan menghilangkan padatan yang tak larut dengan cara seperti pada Kegiatan 11.

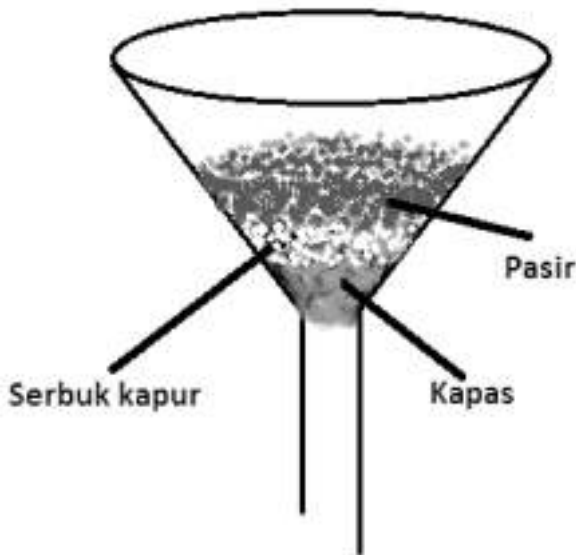
Kegiatan #12. Filtrasi

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Air kotor dari Kegiatan 11
2. Kapas
3. Pasir
4. Kapur
5. 2 buah gelas beker atau botol dengan tutupnya
6. Air danau dengan algae (Gambar 31) atau tanaman lainnya
7. Corong pemisah

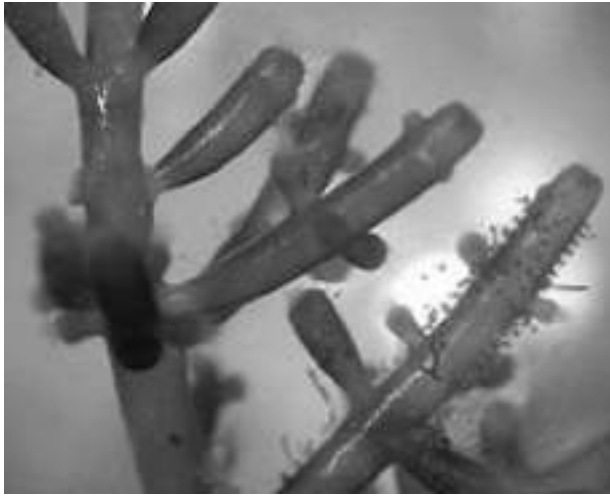
Cara kerja:

1. Susunlah alat seperti nampak pada Gambar 30. Isi corong pemisah dengan lapisan kapas, serbuk kapur, dan pasir.



Gambar 30. Corong untuk menyaring padatan dalam air.

2. Berilah tanda nomor 1 dan 2 pada kedua gelas beker.
3. Tambahkan sedikit deterjen pada air yang berasal dari kegiatan 11. Masukkan air ini ke dalam gelas beker 1, dan amati warna larutan yang terjadi.
4. Secara perlahan tuangkan 10 mL air dari beker 1 ke dalam corong pemisah dan kumpulkan filtratnya pada gelas beker 2.
5. Amati filtrat dan bandingkan dengan air kotor yang berasal dari Kegiatan 11. Bandingkan air yang belum dan sudah disaring.
6. Tambahkan 2 sendok makan air danau pada setiap gelas beker. Simpanlah kedua gelas tersebut selama 2 minggu.



Gambar 31. Algae.⁷⁷

Pertanyaan #52.

Bagaimana pertumbuhan algae yang ada dalam kedua gelas beker setelah 2 minggu?

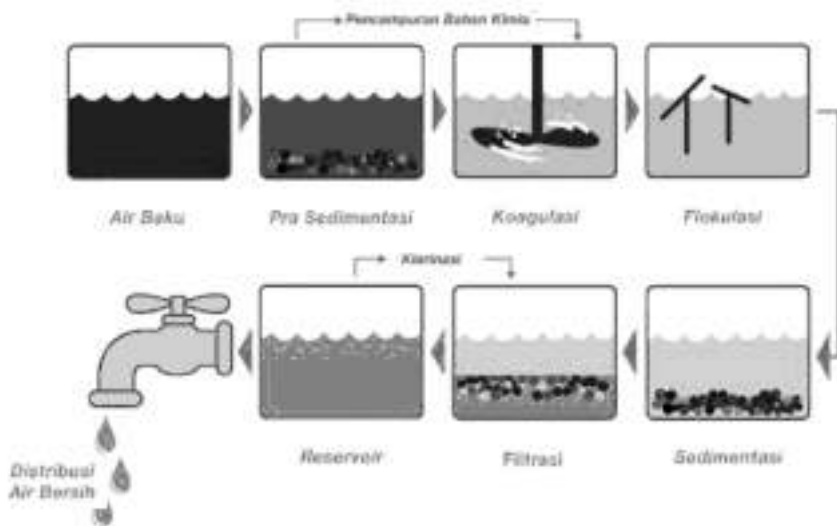
Pertanyaan #53.

Apakah deterjen dapat dihilangkan dengan penyaringan?

Pertanyaan #54.

Apakah pengolahan primer dapat menghilangkan bahan-bahan beracun dari dalam air?

Air yang telah melalui pengolahan primer mungkin perlu diolah kembali dengan cara oksidasi biologis, pada pengolahan sekunder. Proses penyaringan aliran dan proses lumpur teraktivasi merupakan dua prinsip utama dalam pengolahan sekunder. Proses dengan lumpur teraktivasi lebih efisien dan mudah dilakukan, sehingga lebih banyak digunakan dalam industri. Proses ini memanfaatkan bakteri dalam jumlah banyak untuk menguraikan limbah organik dengan bantuan udara. Gambar 32 menunjukkan pengolahan primer dan sekunder.



Gambar 32. Proses pengolahan air.⁷⁸
(pada gambar ini tidak tercakup/tercermin pengolahan sekunder?)

Pengolahan primer dan sekunder perlu dilakukan untuk mengolah air permukaan dan air tanah sebelum dikonsumsi. Sedangkan untuk air limbah dari industri, maka pengolahan tersier perlu dilakukan.

Pengolahan primer dan sekunder tidak dapat untuk menghilangkan logam, virus, nutrisi, dan bahan kimia beracun. Hanya pengolahan tersier yang dapat memprosesnya, tetapi operasionalnya sangat mahal.

Bagaimana proses penjernihan air?

Pemurnian air mencakup beberapa tahap. Pada tahap pertama, air limbah ditambah dengan tembaga sulfat (CuSO_4) untuk mengendalikan pertumbuhan algae yang dapat mengotori air bersih. Pengolahan pada tahap ini meliputi penyaringan, pencampuran, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan klorinasi.

Penyaringan ditujukan untuk menghilangkan materi berukuran besar yang terapung. Kemudian air diolah dengan penambahan aluminium sulfat [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] dan bahan kimia polielektrolit untuk membentuk *floc*. Hal ini terbentuk pada dan sedimentasi. Dulu garam FeCl_2 digunakan sebagai flokulan, tetapi karena bahan ini dapat menyebabkan korosi maka

penggunaannya tidak dilanjutkan. Bila pH agak rendah, oksida CaO perlu ditambahkan dalam air.

Alum membentuk endapan gelatin yang dapat mengabsorpsi kotoran, beberapa jenis bakteri, dan koloid lainnya. Endapan koagulat tersebut akan mengendap pada dasar bejana sedimentasi.

Air jernih perlu disaring lagi untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Penyaringan dilakukan dengan melewatkan air ke lapisan kerikil, pasir, dan batu, yang disusun berurutan berdasarkan besarnya partikel. Pada bagian paling atas diletakkan antrasit.

Langkah terakhir adalah klorinasi. Klorinasi dilakukan untuk mematikan bakteri yang ada dalam air. Klorinasi dilakukan dengan cara menambahkan klorin sebanyak 1-1,5 ppm. Air bersih yang dihasilkan dari seluruh proses mengandung klorin 0,2-0,9 ppm.

Pertanyaan #58.

Apakah di daerah Anda terdapat unit penjernihan air? Bagaimana proses yang terdapat dalam unit tersebut? Gambarkan skema proses tersebut?

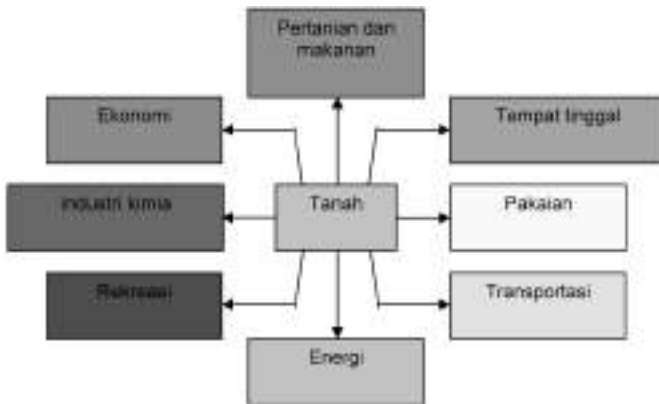
Pertanyaan #59.

Apa yang terjadi jika klorin yang digunakan dalam proses penjernihan air (a) terlalu sedikit, atau (b) terlalu banyak?

Untuk menghindari terjadinya polusi air, pemerintah menganjurkan setiap industri mempunyai unit pengolahan air yang memadai.

Pendahuluan

Tanah merupakan sumber alam yang penting. Tanah sangat dibutuhkan manusia. Manfaat tanah bagi manusia tampak pada Gambar 33.



Gambar 33. Manfaat tanah.⁷⁹

Hubungan antara tanah dan makanan, tempat tinggal, pakaian, transportasi, energi, dan rekreasi dapat dijelaskan dengan mudah. Tanaman merupakan sumber makanan kita paling utama. Tanaman juga merupakan sumber oksigen. Hutan merupakan penghasil rempah-rempah dan berbagai kayu-kayuan yang dapat dipakai untuk membangun perumahan. Banyak serat alam, rami dan berbagai serat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakaian. Karet yang merupakan bahan untuk membuat ban kendaraan berasal dari getah pohon karet. Arang, merang, dan kayu bakar merupakan bahan bakar tradisional yang berasal dari tanaman pula. Dan juga, pada akhir bahasan ini, Anda akan mempelajari manfaat mikroorganisme yang hidup dalam tanah sebagai bahan baku pembuatan obat.

Anda telah mengetahui manfaat tanah bagi manusia. Tanah memegang peranan yang sangat penting. Tanah bersama dengan udara dan

air merupakan komponen lingkungan hidup yang penting. Bahasan bab ini akan membantu Anda memahami betapa pentingnya peranan tanah.

Tujuan

Setelah mempelajari pokok bahasan ini Anda diharapkan dapat:

1. Menjelaskan proses terbentuknya tanah.
2. Menjelaskan terjadinya perubahan-perubahan kimia pada saat pembentukan tanah.
3. Membuat peta tanah di daerah Anda, menjelaskan tekstur dan warna tanah tersebut.
4. Mengidentifikasi komponen tanah berdasarkan pengamatan eksperimental.
5. Menyebutkan peranan dan manfaat setiap komponen tanah.
6. Mendefinisikan pengertian tanah yang subur.
7. Menyebutkan nutrisi tanaman yang efisien dan peranannya pada pertumbuhan tanaman.
8. Mendiskusikan tentang faktor-faktor yang berpengaruh pada produktifitas tanah.
9. Menentukan sifat tanah: asam, basa, atau netral.
10. Menjelaskan beberapa perubahan kimia yang berlangsung dalam tanah.
11. Menyebutkan berbagai aktifitas manusia yang dapat menyebabkan polusi tanah.
12. Menjelaskan pengaruh akar tanaman terhadap kapasitas tanah dalam menyimpan air melalui kegiatan eksperimen.
13. Mendiskusikan tentang efek logam berat bagi manusia.
14. Membuktikan adanya timbal dalam tanah.
15. Menyebutkan keuntungan dan kerugian penggunaan pestisida.
16. Menjelaskan sifat kimia dan efek pestisida bagi manusia.
17. Menyebutkan cara membasmi hama tanaman, selain menggunakan pestisida.

Bagaimanakah proses terbentuknya tanah?

Tanah berasal dari batuan yang proses pembentukannya berlangsung sangat lambat. Proses pembentukan tanah berlangsung dua tahap yang memakan ratusan hingga ribuan tahun.⁸⁰ Tahap pertama, batuan pecah

karena pelapukan kimia dan fisika menjadi batu dengan ukuran kecil. Proses ini kemudian diikuti dengan proses pembentukan tanah yang dilakukan oleh tanaman dan organisme tanah.

Pelapukan fisika disebabkan oleh tekanan mekanis sebagai akibat perubahan suhu, atau gerakan angin, air, dan es. Suatu benda akan mengembang bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan. Hal ini juga terjadi pada batuan. Pada siang hari suhu relatif tinggi, dan batuan akan mengembang. Sedangkan pada malam hari suhu relatif rendah, dan batuan akan menyusut. Proses mengembang dan menyusut sangat berpengaruh terhadap pada permukaan batuan. Jika proses ini berlangsung berulang-ulang dan berlangsung pada waktu yang relatif lama lapisan luar batuan akan terlepas. Perbedaan koefisien muai mineral-mineral dalam batuan juga mempercepat terjadinya pelapukan.

Di negara subtropis, air yang terperangkap dalam batuan dapat berubah menjadi es jika suhu udara sangat rendah. Perubahan air menjadi es disertai dengan meningkatnya volume. Peningkatan volume ini cukup kuat untuk mendesak batuan sampai pecah.

Kegiatan #13.

Carilah beberapa butir batuan yang lunak. Rendamlah batuan tersebut dalam air selama sekitar 1 jam. Kemudian, masukkan batuan tersebut dalam almari pendingin. Catatlah apa yang terjadi setelah batuan didinginkan selama satu hari.

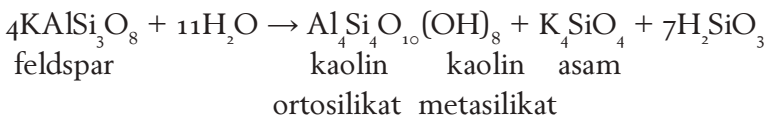
Batuan yang berukuran kecil dapat terbawa oleh angin dan terbang ke tempat lain. Angin dan air dapat menyebabkan erosi. Di negara subtropis erosi dapat disebabkan oleh es atau glasier yang meluncur dari atas bukit atau gunung. Erosi merupakan proses yang sangat penting dalam pembentukan tanah, walaupun erosi juga dapat merusak struktur tanah. Cobalah amati beberapa batuan yang ada di sungai, apakah batuan tersebut telah tererosi?

Pertanyaan #6o.

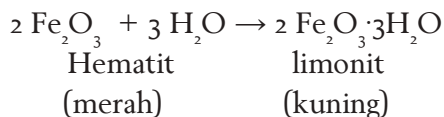
Di mana saja erosi biasanya terjadi? Apa penyebab erosi tersebut?

Pelapukan kimia dimulai dari reaksi antara air dengan mineral penyusun batuan.⁸¹ Air dapat melarutkan beberapa mineral dalam batuan. Dalam hal tertentu, air bereaksi dengan mineral dalam batuan. Proses ini disebut hidrolisis. Hasil hidrolisis pada umumnya mudah larut dalam air. Pelapukan secara hidrolisis akan berlangsung relatif cepat pada suhu tinggi dan suasana asam.

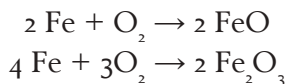
Reaksi antara feldspar atau kalium aluminium silikat dengan air berlangsung lambat membentuk kaolin (lempung), kalium ortosilikat, dan asam metasilikat.



Beberapa mineral bereaksi dengan sejumlah air (hidratasi) pada saat kristalisasi menghasilkan hidrat. Salah satu contoh mineral hidrat adalah limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Limonit dapat diperoleh dari reaksi berikut:



Oksigen di udara dapat menyusup ke dalam batuan, dan bereaksi dengan mineral penyusun batuan. Besi dalam batuan berwarna hitam dan keras. Jika besi bereaksi dengan oksigen akan dihasilkan besi(III) oksida (Fe_2O_3) yang berwarna coklat kemerahan dan bersifat lunak. Jika jumlah oksigen relatif sedikit, besi akan teroksidasi menghasilkan besi(II) oksida (FeO). Kedua oksida ini mendominasi warna tanah, yaitu abu-abu. Reaksi oksidasi Fe dalam tanah dapat dituliskan sebagai berikut:



Karbon dioksida di udara dapat larut oleh air hujan menghasilkan asam karbonat yang merupakan asam lemah. Jika air hujan berinteraksi dengan tanah dapat melarutkan beberapa mineral, seperti kalsium dan magnesium.

Pertanyaan #63.

Apa peran asam dalam pelapukan tanah secara kimia?

Pertanyaan #64.

Proses utama manakah yang terjadi pada pembentukan tanah di Indonesia?

Terdapat berbagai reaksi pelapukan kimia, tetapi yang paling penting adalah reaksi hidrolisis dan oksidasi. Selain pelapukan kimia, dikenal juga pelapukan biologi.⁸² Bakteri dan mikroorganisme lain menyebabkan peruraian bahan organik. Dalam pelapukan ini juga dapat dihasilkan asam-asam, seperti asam karbonat (H_2CO_3), asam nitrat (HNO_3), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam organik lainnya. Asam-asam ini dapat menyebabkan pelapukan kimia lebih lanjut.

Pertanyaan #61.

Tuliskan reaksi antara gas karbon dioksida dan air?

Pertanyaan #62.

Tuliskan pula reaksi antara garam kalsium dengan karbon dioksida dalam air?

Pemetaan wilayah

Mungkin, tanah di daerah Anda mempunyai warna dan tekstur yang beragam. Tanah di suatu daerah berupa tanah liat yang berwarna kemerahan, dan licin jika basah terkena air hujan. Di daerah lain, tanahnya berpasir dan berwarna hitam keabu-abuan. Sedangkan di tempat lainnya, tanah berwarna terang. Tanah di daerah pantai biasanya berpasir dengan warna bervariasi antara hitam sampai putih. Variasi warna ini disebabkan oleh perbedaan kandungan mineral dalam tanah tersebut.

Bagaimanakah dengan tanah yang ada di daerah Anda? Pada kegiatan berikut, Anda akan bekerja secara kelompok untuk mengumpulkan sampel tanah dari berbagai tempat. Sebelum melakukan kegiatan, pelajari peta daerah Anda. Bagilah daerah menjadi beberapa bagian (misalnya dataran tinggi, dataran rendah, daerah perumahan, pertanian, perikanan,

perkebunan, dan lain-lain). Ambil sampel sebanyak kurang-lebih 1 kg dari masing-masing daerah tersebut.

Ketepatan uji tanah tergantung pada ketepatan pengambilan sampel. Suatu sampel harus dapat mewakili daerahnya. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengambilan sampel tanah adalah:

1. Daerah yang tidak normal, seperti daerah yang dipupuk, harus dihindari.
2. Kedalaman tanah yang akan diambil sebagai sampel sangat tergantung pada jenis tanaman yang tumbuh di daerah tersebut. Pada daerah dengan tanaman yang dapat berumur panjang (tahunan) dengan akar yang dangkal, sampel tanah diambil pada kedalaman sekitar 30 cm. Untuk daerah dengan tanaman yang mampu hidup lebih lama, sampel diambil pada kedalaman sekitar 60 cm.
3. Tanah dari daerah yang berbeda-beda sebaiknya tidak dicampur. Tanah permukaan biasanya berbeda dengan tanah di bawahnya.

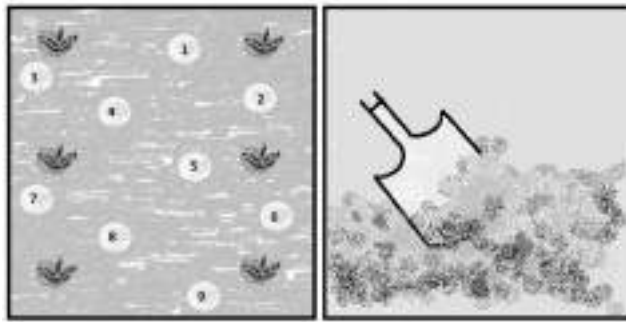
Kegiatan #14. Pengambilan sampel tanah

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Cangkul, sekop atau alat penggali lainnya.
2. Kantong plastik.
3. Ember.

Cara kerja:

1. Tentukan daerah pengambilan sampel. Catatlah keadaan tanahnya: dataran tinggi, miring, dataran rendah, atau tanah cekungan. Catat pula tekstur tanah, warna, kedalaman dan jenis tanaman yang tumbuh di atasnya.
2. Buatlah lubang pada tanah secara acak (Gambar #). Singkirkan sampah atau kotoran lainnya dari permukaan tanah yang akan digali. Buatlah lubang sedalam kurang lebih 30 cm. Pada kedalaman tersebut ambil sedikit tanah (Gambar 34). Masukkan tanah ke dalam ember secara pelahan. Usahakan agar rumput, daun dan batu tidak tercampur dalam tanah.



(A)

(B)

Gambar 34. (A) Daerah sampel, dan (B) Cara pengambilan sampel.

3. Sampel diambil pada tempat-tempat dengan jarak tertentu antara satu dengan lainnya secara zig-zag (Gambar 34.A).
4. Semua sampel dicampur dengan baik (Gambar 34.B) dalam suatu ember, kemudian diambil 1 kg tanah dari campuran tersebut, dan masukkan dalam kantong plastik. Berilah label pada kantong plastik dengan informasi: (a) tanggal pengambilan sampel, (b) kedalaman sampel, dan (c) jenis tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut.

Pertanyaan #65.

Komponen apakah yang dominan dalam (a) *loam* berlempung, dan (b) *loam* berlumpur?

Tabel 21. menunjukkan tiga klasifikasi utama tanah berdasarkan ukuran partikelnya. *Gravel*⁸³ mempunyai berukuran lebih dari 1 mm, dan tidak dicantumkan dalam tabel tersebut (Gambar 35).



Gambar 35. Gravel.⁸⁴

Tabel 21. Jenis tanah dan partikelnya.

Jenis tanah	Ukuran partikel
Pasir	2,0 – 0,02 mm
Lumpur	0,02 – 0,002 mm
Lempung	< 0,002 mm atau 2 μ m

Tanah dapat berupa campuran antara pasir, lumpur dan lempung. Jika ketiga jenis tanah terdapat dalam suatu campuran dengan perbandingan yang sama, tanah tersebut disebut dengan *loam*⁸⁵. Jika pasir merupakan unsur yang dominan, maka tanah tersebut disebut *loam* berpasir.

Tekstur tanah dapat memberikan gambaran tentang perbandingan relatif antara partikel kecil dan besar dalam tanah. Struktur tanah dapat lembut, halus, dan mudah melekat seperti lempung; halus, agak mudah melekat, dan lembut seperti lumpur; halus, agak elastis, dan gritty seperti loam; atau kasar, mudah lepas, dan *gritty*⁸⁶ seperti pasir.

1. Ambil seperempat bagian sampel yang Anda peroleh. Sebarkan sampel tersebut ke atas selembar koran. Tempatkan koran di tempat yang aman dan biarkan mengering selama 2 hari. Jangan sampai koran dan tanah terkena sinar matahari langsung.
2. Catat warna dan tekstur tanah.

Warna dan tekstur tanah merupakan sifat fisik tanah. Sifat ini sangat penting sebagai bahan pertimbangan pemilihan jenis tanaman yang akan ditanam pada tanah tersebut. Selain itu, hal ini juga penting bagi perencanaan konservasi tanah. Jenis tanah yang berbeda memiliki daya simpan air yang berbeda pula.

Komponen penyusun tanah⁸⁷

Anda telah mempelajari sifat fisik tanah. Tidak kalah pentingnya bagi Anda untuk mempelajari komponen penyusun tanah dan peranannya.

Pertanyaan #66.

Kumpulkan data yang diperoleh teman-teman Anda. Cantumkan jenis tanah dan warnanya pada peta. Dan catat pula jenis tanaman yang tumbuh di atas tanah tersebut?

Pertanyaan #67.

Termasuk jenis tanah apakah yang didapatkan dari persawahan?

Kegiatan #15. Komponen tanah

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Sampel tanah yang kering.
2. Botol sampel transparan.
3. Gelas beker kecil.
4. Kapas basah.
5. Lampu spiritus.
6. Kawat kasa.
7. Kaki tiga.

Cara kerja:

1. Siapkan peralatan seperti pada Gambar 36A. Panaskan gelas beker sampai bebas uap air. Letakkan pelat kaca di atas gelas beker. Letakkan pula kapas basah di atas pelat kaca seperti pada Gambar 36B. Panaskan beker dan amati apa yang terjadi di bagian bawah pelat kaca.
2. Angkatlah pelat kaca. Masukkan sejumlah sampel tanah kering ke dalam gelas beker sampai $\frac{1}{2}$ bagian. Tutup lagi gelas beker dengan pelat kaca dengan kapas basah di atasnya. Panaskan lagi gelas beker selama 5 menit.



Gambar 36. (A) Pengeringan gelas beker, dan (B) pemanasan sampel dan kapas basah di atas pelat kaca.

Pertanyaan #68.

Apakah terdapat sesuatu pada bagian bawah pelat kaca?

Pertanyaan #69.

Apakah hasil pengamatan Anda?

Pertanyaan #70.

Berdasarkan hasil pengamatan Anda, komponen apakah yang terdapat dalam tanah?

Anggapan orang selama ini, tanah merupakan bagian dari permukaan bumi yang merupakan daratan. Hasil pengamatan Anda menunjukkan bahwa tanah terdiri dari padatan, cairan, dan gas. Udara dan air juga terdapat dalam tanah.

Komponen terbanyak dalam tanah adalah senyawa anorganik. Senyawa ini dapat mengalami perubahan sehingga struktur dan sifatnya berbeda dengan mineral pada tanah asalnya.

Unsur utama kerak bumi merupakan bagian mineral dalam tanah. Silikon dan oksigen merupakan unsur terbanyak dalam kerak bumi, juga dalam tanah. Silika (SiO_2) merupakan penyusun utama mineral dalam tanah. Kuarts, yang merupakan bahan pembuat gelas, adalah silika. Senyawa silika, seperti ortoklas (KAlSi_3O_8), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), dan epidot [$4\text{CaO} \cdot 3(\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$] juga banyak dijumpai dalam tanah. Lempung banyak mengandung alumina hidrat, dan besi silikat. Oksida luminium, besi, mangan, dan titanium juga terdapat dalam tanah. Mineral merupakan nutrisi bagi tanah.

Pertanyaan #71.

Bagaimana cara membuktikan adanya udara dalam tanah?

Kegiatan #16. Komponen tanah lainnya

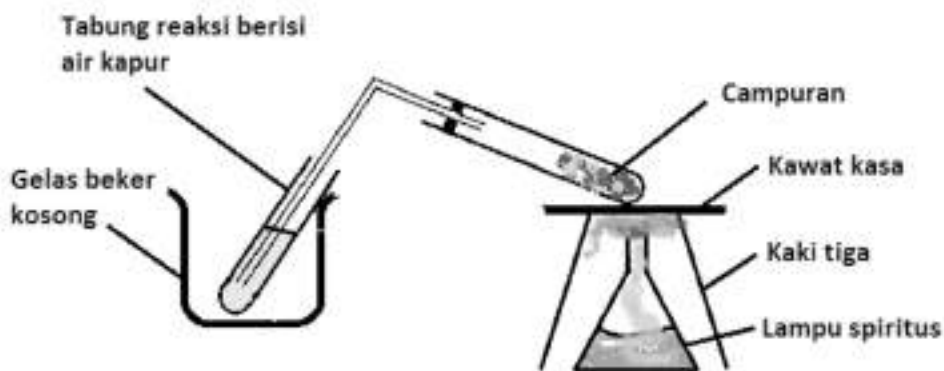
Bahan dan alat yang digunakan:

1. Tanah yang kering dan bersih.
2. 9 gram tembaga oksida (CuO).
3. 0,5 gram garam dapur (NaCl).

4. 0,5 gula pasir ($C_{12}H_{22}O_{11}$).
5. 6 buah tabung reaksi.
6. Pipa kaca 30 cm.
7. Penjepit tabung.
8. Penyumbat tabung reaksi.
9. Gelas beker kecil.
10. Lampu spiritus.
11. Cawan porselein.
12. Selembar kertas.
13. Spatula.
14. Rak tabung reaksi.
15. Botol kecil.
16. Batang pengaduk.
17. Timbangan.
18. Korek api.

Cara kerja:

1. Pembuatan larutan air kapur: Masukkan 2 gram CaO ke dalam 200 mL akuades. Aduk dan saring, dan kemudian masukkan larutan tersebut ke dalam botol yang kering dan bersih. Tutup botol rapat-rapat dan simpanlah dengan baik selama larutan air kapur tidak digunakan.
2. Panaskan tembaga oksida dalam cawan porselein sampai panas dan berwarna merah. Setelah itu, biarkan cawan dan tembaga oksida mendingin di udara terbuka.
3. Ambil 3 gram CuO dan campur dengan 0,5 gram gula pasir pada selembar kertas. Masukkan campuran pada tabung reaksi, dan masukkan air kapur pada tabung reaksi yang lain. Kemudian susun rangkaian alat seperti pada Gambar 37. Panaskan campuran dan amati yang terjadi.



Gambar 37. Rangkaian alat untuk pembuktian CO_2 .

Pertanyaan #72.

Perubahan-perubahan apa yang dapat Anda amati?

Pertanyaan #73.

Apa fungsi air kapur dalam percobaan ini?

Ulangi pengerjaan 3, tetapi gula diganti dengan garam.

Pertanyaan #74.

Apa yang terjadi dengan air kapur dalam percobaan ini?

Ulangi pengerjaan 3, tetapi gula diganti dengan 2 gram tanah.

Pertanyaan #75.

Apa yang terjadi dengan air kapur dalam percobaan ini?

Garam adalah senyawa anorganik, sedangkan gula merupakan senyawa organik.

Pertanyaan #76.

Senyawa manakah yang bila dipanaskan bersama-sama dengan CuO menghasilkan gas CO_2 ?

Pertanyaan #77.

Berdasarkan percobaan ini, senyawa apakah yang ada dalam tanah?

Uji air kapur dapat digunakan untuk menunjukkan adanya senyawa organik dalam tanah. Bila uji ini negatif, berarti dalam tanah tidak mengandung senyawa organik. Warna tanah menunjukkan perbandingan atau kandungan senyawa-senyawa organik dalam tanah. Tanah akan berwarna gelap bila di dalamnya banyak mengandung senyawa organik. Tanah bagian atas umumnya berwarna lebih gelap daripada tanah bagian bawah (Gambar 38). Bahan organik dalam tanah berasal dari humus, yaitu sisa peruraian ranting atau daun tanaman oleh bakteri dan jamur.

Pertanyaan #78.

Dari manakah senyawa organik dalam tanah berasal?

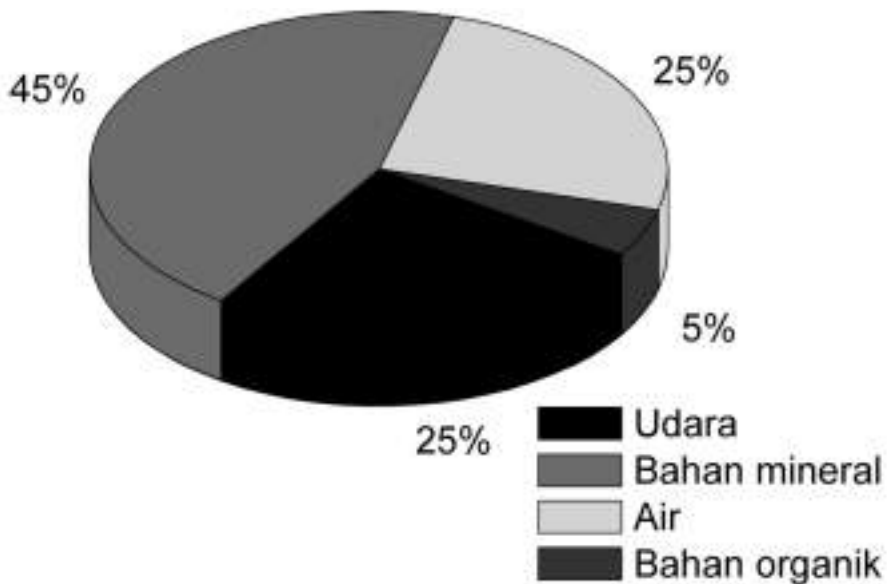
Pertanyaan #79.

Berdasarkan pemetaan Anda (Kegiatan 13), tanah di daerah manakah yang kaya akan bahan organik?



Gambar 38. Lapisan tanah.⁸⁸

Anda sekarang dapat menyimpulkan tentang komponen-komponen yang ada dalam tanah (Gambar 39). Pada umumnya tanah mengandung bahan organik hanya sekitar 5%. Namun demikian, beberapa jenis tanah mengandung bahan organik sampai 90%. Bahan organik dalam tanah merupakan penentu tingkat produktifitas tanah. Bahan ini merupakan persediaan makanan bagi tanaman. Bahan organik dapat menyebabkan terjadinya pelapukan kimia. Bahan organik dapat berupa oksalat, asam sitrat, polisakarida, gula, nukleotida, dan bahan organik lainnya. Pigmen tanaman seperti β -karoten, dan ksantofil dapat ditemukan pada hasil ekstraksi tanah.



Gambar 39. Komposisi tanah.

Kehidupan dalam tanah

Tanah merupakan salah satu tempat hidup dan berkembangbiakan organisme.⁸⁹ Organisme yang dapat ditemukan dalam tanah, antara lain serangga, cacing tanah, nematoda, sikaki seribu (Gambar 40), algae, dan organisme seperti fungi dan bakteri.



Gambar 40. Si Kaki seribu.⁹⁰

Mikroorganisme yang hidup dalam tanah dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu mikroorganisme yang menguntungkan dan yang merugikan bagi manusia. Beberapa penyakit disebabkan oleh bakteri atau mikroorganisme yang hidup dalam tanah. Mikroorganisme lainnya dapat menghasilkan antibiotika. Antibiotika dapat merusak atau menghambat pertumbuhan bakteri tertentu. Penisilin merupakan antibiotika yang dihasilkan oleh mikroorganisme tanah, yaitu fungi hijau dan jamur penisilium.

Antibiotika lain yang juga dihasilkan mikroorganisme tanah antara lain streptomisin, aureomisin, teromisin, dan kloromisetin. Walaupun antibiotika dapat digunakan sebagai obat, namun pemakaiannya harus diawasi dokter. Beberapa orang sangat sensitif dan alergi terhadap pemakaian antibiotika. Kulit yang kasar atau pecah-pecah mungkin merupakan gejala pemakaian antibiotika secara berlebihan dalam jangka waktu yang lama. Pemakaian antibiotika dalam jumlah yang berlebihan dalam jangka waktu yang lama juga dapat menyebabkan ketulian.

Pertanyaan #80.

Sebutkan nama antibiotika yang dijual di pasaran?

Peranan komponen penyusun tanah

Satu sendok teh tanah terdiri dari milyaran atom dari unsur-unsur yang berbeda, dan mengandung sejumlah yang sama organisme. Baik

komponen hidup dan dan tak hidup mempunyai peranan yang besar terhadap terjadinya perubahan kimia. Peranan ini sangat erat kaitannya dengan kehidupan tanaman.

Fotosintesis dan respirasi merupakan proses kimia yang terjadi pada tanaman. Dalam fotosintesis tanaman merubah karbon dioksida dan air menjadi senyawa yang kompleks. Oksigen dilepaskan ke udara setelah berlangsungnya proses. Proses tersebut berlangsung dengan bantuan energi matahari.

Pertanyaan #81.

Molekul glukosa sederhana ($C_6H_{12}O_6$) dapat dibuat oleh tanaman melalui fotosintesis. Tuliskan reaksi fotosintesis?

Pertanyaan #82.

Pada bagian manakah dari tanaman reaksi fotosintesis berlangsung?

Makanan yang telah dibuat sebagian dipecah dan diuraikan serta digunakan untuk membangun jaringan-jaringan baru. Pemecahan makanan ini disebut dengan respirasi. Bahan makanan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan senyawa yang lebih sederhana setelah melalui serangkaian reaksi kimia. Pada respirasi dihasilkan energi, gas karbon dioksida dan air. Energi yang dihasilkan digunakan tanaman untuk hidup, seperti pembentukan senyawa kompleks dan absorpsi ion nutrisi melalui akar.

Pertanyaan #83.

Tuliskan reaksi pemecahan glukosa selama respirasi?

Pertanyaan #84.

Jelaskan hakekat pertukaran gas yang terjadi pada stomata?

Bahan organik dalam tanah, seperti karbohidrat, protein, atau lemak, merupakan sumber makanan bagi tanaman. Senyawa organik yang kompleks tidak dapat secara langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Senyawa ini akan dipecah oleh organisme dalam tanah menjadi bentuk yang lebih sederhana. Air akan melarutkan senyawa sederhana dan membawanya ke bagian atas

tanaman melalui akar. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka tanah perlu dijaga kelestariannya.

Bagaimana mengusahakan agar tanah menjadi produktif

Makanan yang selalu tersedia di meja kita setiap hari diperoleh dari lahan pertanian. Agar kebutuhan akan makanan selalu tercukupi, maka perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan produktifitas tanah.

Kemampuan tanah mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman tergantung pada beberapa faktor, diantaranya kondisi tanah, tanaman, dan iklim. Kita dapat mengendalikan beberapa faktor ini, seperti menyediakan nutrisi dalam tanah, tetapi faktor lainnya, seperti iklim (suhu, angin, hujan, sinar matahari dll.) tidak dapat dikendalikan. Iklim secara umum menentukan jenis tanaman yang dapat tumbuh di suatu daerah.

Apa yang dimaksud dengan nutrisi tanaman?

Produktifitas tanah sangat tergantung pada komponen penyusun tanah. Tanaman, juga organisme lainnya, membutuhkan makanan. Tanaman membutuhkan nutrisi dalam jumlah tertentu. Masing-masing tanaman membutuhkan nutrisi dalam jumlah yang berbeda. Suatu tanaman membutuhkan nutrisi lebih banyak dari pada lainnya.

Tanah yang mampu menyediakan nutrisi bagi tanaman untuk tumbuh dan berkembang dengan baik disebut tanah subur. Tanah yang subur, tetapi tidak didukung oleh air, udara, sinar matahari dan kondisi iklim yang memadai akan menjadi kurang produktif.

Pertanyaan #85.

Dari manakah nutrisi dalam tanah berasal? Unsur apa sajakah yang dibutuhkan oleh tanaman?

Seorang ahli kimia bangsa Jerman, Baron Justus Von Liebig (1803-1873) (Gambar 41) menganalisis abu sisa pembakaran tanaman. Hasilnya mengarah pada kesimpulan bahwa tanaman paling tidak membutuhkan 17 unsur. Agar unsur tersebut dapat diabsorpsi oleh tanaman, unsur tersebut harus berbentuk larutan dalam air. Sembilan unsur yang dibutuhkan dalam jumlah relatif besar disebut makronutrisi. Sedangkan unsur-unsur lainnya

disebut mikronutrisi, yang hanya dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah kecil. Jumlah mikronutrisi yang berlebihan dapat menjadi racun bagi tanaman. Tabel 22 menunjukkan nutrisi tanaman, dan bentuk nutrisi ketika diabsorbsi dari dalam tanah.



Gambar 41. Baron Justus Von Liebig (1803-1873).

Tabel 22. Nutrisi esensial.⁹¹

Unsur	Simbol kimia	Bentuk unsur ketika diabsorbsi tanaman
Makronutrisi		
Karbon	C	CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^-
Hidrogen	H	H^+ , OH^-
Oksigen	O	O_2
Nitrogen	N	NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-
Fosfor	P	HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-
Kalium	K	K^+
Kalsium	Ca	Ca^{2+}
Magnesium	Mg	Mg^{2+}
Belerang	S	SO_3^{2-} , SO_4^{2-}
Mikronutrisi		
Besi	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}
Mangan	Mn	Mn^{2+} , Mn^{4+}
Boron	B	BO_3^{3-} , $\text{B}_2\text{O}_7^{2-}$ atau $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$
Molibdenum	Mo	MoO_4^{2-}
Tembaga	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}
Zink	Zn	Zn^{2+}
Kobalt	Co	Co^{2+}
Klorin	Cl	Cl^-

Makronutrisi⁹²

Karbon

Karbon (C) diambil langsung oleh tanaman dari udara dalam bentuk CO_2 atau dari dalam tanah dalam bentuk karbonat atau bikarbonat. Bahan organik dalam tanah merupakan sumber karbon dan dapat diabsorpsi oleh tanaman setelah diuraikan organisme pengurai.

Oksigen dan hidrogen

Ion H^+ dan OH^- diambil dari dalam tanah, air, atau larutan tanah, sedang oksigen diambil langsung dari udara atau atmosfer. Udara dalam tanah mengandung O_2 kurang lebih 15% dan CO_2 yang beberapa persen lebih sedikit dari kandungan gas tersebut di udara kering di atas permukaan laut, karena peruraian bahan organik dalam tanah membutuhkan O_2 dan CO_2 . Karbon, hidrogen dan oksigen dibutuhkan tanaman untuk mensintesis karbohidrat, lemak, dan protein.

Pertanyaan #86.

Sebutkan reaktan yang terlibat dalam reaksi fotosintesis?

Pertanyaan #87.

Adakah tanaman yang mampu memproduksi makanan tanpa melalui proses fotosintesis?

Pertanyaan #88.

Sebutkan reaktan yang diambil dari dalam tanah yang dibutuhkan dalam reaksi fotosintesis?

Nitrogen, fosfor dan kalium

Nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) merupakan makronutrisi yang sangat dibutuhkan tanaman. Nitrogen tersimpan dalam tanah dalam bentuk bahan organik. Mikroorganisme secara perlahan menguraikan dan merubah bahan tersebut menjadi ion ammonium, nitrit atau nitrat. Nitrogen merupakan unsur penyusun setiap sel hidup. Tanaman merubah N menjadi senyawa yang lebih kompleks, seperti protein dan klorofil. Nitrogen merangsang pertumbuhan daun yang lebih baik pada tanaman.

Tanaman yang mengabsorbsi nitrogen dalam jumlah relatif banyak mempunyai daun yang berwarna hijau tua, lebat, lebar dan bertunas banyak. Sedangkan tanaman yang kekurangan nitrogen berdaun kecil dan berwarna pucat. Namun demikian, kelebihan nitrogen dalam tanah juga tidak baik bagi tanaman. Tanaman biji-bijian akan tumbuh tinggi dan lemah bila kelebihan nitrogen. Selain itu, masa tumbuh menjadi semakin lama dan jaringan tanaman menjadi lebih lunak. Jaringan yang lunak menyebabkan tanaman mudah roboh bila terkena angin.

Fosfor (P) juga berperan dalam proses metabolisme pada tanaman, diantaranya berperan dalam fotosintesis. Fosfor merangsang pertumbuhan akar dan buah. Jika kekurangan P, tanaman akan tumbuh kerdil, dengan disertai perubahan warna pada ujung dan pangkal daun menjadi hijau pucat dan biru tua atau kecokelatan, dan hijau keabu-abuan. Warna cokelat, seperti terbakar, dapat muncul pada bagian tepi daun. Fosfor terdapat dalam tanah sebagai mineral dan bahan organik.

Kalium (K) dibutuhkan oleh tanaman untuk membuat gula dan pati. Gula tebu dan gula bit diperoleh dalam kadar relatif besar apabila selama pertumbuhannya tebu dan bit dipupuk dengan kalium. Begitu juga, kentang akan berbuah besar dan mengandung lebih banyak pati jika dipupuk dengan K. Selain itu, pemupukan dengan K menyebabkan tanaman akan tumbuh lebih kokoh dan tahan penyakit. Kalium dalam tanah dapat meningkatkan efisiensi absorpsi nitrogen. Kalium diabsorbsi oleh tanaman dari dalam tanah dalam bentuk ion K^+ dan sebagai garam kalium, seperti kalium sulfat dan karbonat.

Bila tanah miskin akan salah satu atau semua unsur N, P, dan K, maka tanah harus dipupuk dengan pupuk yang mengandung N, P, dan K, atau harus diperkaya dengan unsur lainnya, yaitu Ca, Mg, dan S. Kalsium, magnesium, dan belerang termasuk makronutrisi sekunder. Kalsium dapat membantu absorpsi unsur-unsur lainnya, karena kalsium dapat membantu pertumbuhan akar dan cabang. Magnesium merupakan logam penyusun klorofil yang merupakan pigmen hijau pada daun yang mampu mengabsorbsi energi matahari selama fotosintesis.

Pertanyaan #89.

Nutrisi manakah yang dibutuhkan tanaman selama masa:

- a. Pertumbuhan.
- b. Pembentukan buah.

Mikronutrisi⁹³

Tidak adanya nutrisi dalam tanah menyebabkan akibat negatif pada pertumbuhan tanaman. Zink dan belerang sangat dibutuhkan oleh padi. Kecilnya kandungan zink dalam tanah (< 1 ppm) menyebabkan kekerdilan dan produksi yang rendah pada tanaman padi. Bahkan dalam kondisi kronis tanaman padi dapat mengalami kematian.

Hewan ternak yang diberi konsumsi hijauan yang berupa tanaman yang kekurangan Fe, Co, dan Cu, akan mengalami hambatan pertumbuhan, sehingga badannya tampak kurus.

Saat ini para ahli kimia menggunakan metode yang mirip dengan metode yang digunakan Baron Van Leibig untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang diabsorpsi tanaman. Untuk menganalisis daun kelapa, misalnya, mula-mula daun dikeringkan dan diabukan, kemudian dianalisis. Dengan metode ini, paling tidak terdapat 16 unsur dapat ditemukan dalam daun kelapa yang tumbuh dan berbuah secara normal. Unsur-unsur tersebut adalah C, H, O, N, P, K, Si, Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, dan Mo.

Pada kegiatan berikut Anda akan menguji beberapa unsur tertentu dalam tanah.

Kegiatan #17. Beberapa komponen tanah

Pertanyaan #90.

Apakah tanah dari daerah yang berbeda mempunyai komposisi yang sama? Jelaskan!

Bahan dan alat yang digunakan:

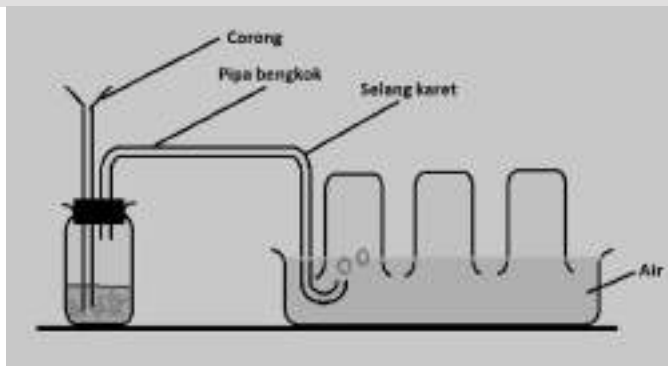
1. 20 gram tanah.
2. 0,19 gram KNO_3 .
3. 20 mL HCl 6M.
4. 5 mL air kapur.
5. 6 mL H_2SO_4 3M.
6. 4 mL larutan FeSO_4 jenuh.
7. 2 mL H_2SO_4 pekat.

8. 2 mL $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1 M.
9. 2 mL $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1 M.
10. 3 gram CaCO_3 .
11. 3 buah penampung gas.
12. Pipa bengkok 20 cm.
13. Selang karet 40 cm.
14. Gabus penyumbat.
15. Gelas beker kecil.
16. Batang lidi.
17. Kertas saring.
18. Pipet tetes.
19. Gelas ukur 25 ml.
20. 2 buah botol bermulut lebar 120 ml.

Cara kerja:

A. Uji ion poliatom (atau karbonat?)

1. Rangkailah alat pengumpul gas (Gambar 42). Buatlah 2 buah lubang pada sumbat. Masukkan ujung pipa bengkok pada salah satu lubang dan tangkai corong pisah pada lubang lainnya. Usahakan ujung tangkai corong hampir menyentuh dasar botol. Pasanglah selang karet pada ujung pipa bengkok.
2. Isilah bejana dengan air. Penuhi botol-botol yang ada dengan air. Tutuplah mulut botol dengan selembar kertas kemudian balikkan dengan hati-hati. Usahakan tidak terdapat udara yang terperangkap dalam botol. Botol-botol tersebut digunakan untuk menampung gas.



Gambar 42. Rangkaian alat untuk uji gas.

3. Masukkan 3 gram kalsium karbonat (CaCO_3) ke dalam botol bermulut lebar dan tambahkan 25 mL akuades. Sumbatlah botol rapat-rapat. Kemudian dengan hati-hati masukkan HCl 6 M melalui corong. Bila reaksi berjalan lambat, goyang-goyanglah botol sehingga kalsium lebih mudah bereaksi. Buanglah gas yang dihasilkan pertama kali, setelah itu isikan gas tersebut pada botol penampung gas. Hati-hatilah, jangan sampai gas yang sudah tertampung keluar dari botol.

Pertanyaan #91.

Mengapa gas yang dihasilkan pertama kali harus dibuang?

4. Nyalakan batang lidi. Tutuplah mulut botol yang telah penuh dengan gas dengan ibu jari atau telapak tangan. Kemudian balikkan posisi botol dan masukkan ke dalamnya batang lidi yang menyala. Amati apa yang terjadi?

Pertanyaan #92.

Apa yang terjadi pada pengerjaan A4? Mengapa demikian?

Pertanyaan #93.

Apa yang terjadi jika gas yang ada dalam botol adalah gas hidrogen, oksigen, atau karbon dioksida?

5. Ulangi pengerjaan A1-A4 dengan menggunakan 10 gram tanah sebagai pengganti 3 gram kalsium karbonat.

Pertanyaan #94.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan nyala api pada sampel tanah, adakah ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam sampel?

B. Uji nitrat

1. Larutkan 0,1 gram KNO_3 dalam 100 mL akuades.
2. Tuangkan 2 mL larutan ini ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 1 tetes H_2SO_4 3 M sehingga larutan dalam tabung reaksi bersifat asam.

Pertanyaan #95.

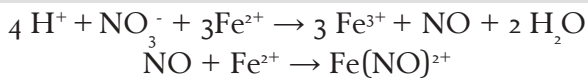
Bagaimana cara mengetahui suatu larutan bersifat asam atau basa!

1. Tambahkan 2 mL larutan besi(II) sulfat (FeSO_4) jenuh yang masih baru.
2. Miringkan posisi tabung reaksi hingga 45° . Pelan-pelan tuangkan 1 mL H_2SO_4 pekat melalui dinding tabung. Hindarkan terjadinya guncangan yang dapat menyebabkan terjadinya pencampuran larutan. Amati terjadinya cincin coklat pada batas antara asam sulfat dan sampel.

Pertanyaan #96.

Jelaskan hasil pengamatan Anda!

Cincin coklat yang terbentuk pada batas antara lapisan asam sulfat dan sampel menunjukkan adanya nitrat (NO_3^-). Adapun reaksinya adalah sebagai berikut:



1. Ekstraklah garam yang ada dalam tanah dengan campuran 10 gram tanah dengan 10 gram akuades kemudian saringlah campuran tersebut (Gambar 43).



Gambar 43. Penyaringan larutan tanah.⁹⁴

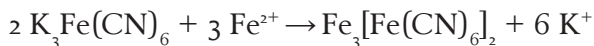
2. Ulangi langkah 2-4 dengan menggunakan filtrat tanah.

Pertanyaan #97.

Apakah terdapat nitrat dalam sampel tanah Anda!

C. Uji besi

1. Bagilah larutan tanah dari pengerjaan A ke dalam 2 buah tabung reaksi. Volume larutan pada masing-masing tabung usahakan sekitar 2 mL saja. Tambahkan 1 mL larutan kalium heksasianobesi(III) $[K_3Fe(CN)_6]$ 1 M pada salah satu tabung reaksi, dan 1 mL larutan kalium heksasianobesi(II) $[K_4Fe(CN)_6]$ 1 M pada tabung yang lain. Adanya ion besi(II) (Fe^{2+}) ditunjukkan dengan terbentuknya endapan biru kehijauan.



Besi(II) heksasianobesi(III) $\{Fe_3[Fe(CN)_6]_2\}$ mempunyai warna biru Turnbull. Adanya ion besi (III) $[Fe^{3+}]$ ditunjukkan dengan terbentuknya senyawa berwarna biru tua (biru prussia) dari besi(III) heksasianobesi(II) $\{Fe_4[Fe(CN)_6]_3\}$.

Pertanyaan #98.

Apakah terdapat besi dalam sampel tanah Anda! Besi terdapat dalam bentuk ion besi(II) atau besi(III)?

2. Uji pula sampel tanah dari sisa pengerjaan B langkah 5.

Pertanyaan #99.

Jelaskan apa yang terjadi?

Pertanyaan #100.

Apakah terdapat ion besi pada sampel tanah tersebut? Hasil apa yang Anda peroleh.

Pertanyaan #101.

Tuliskan semua hasil yang Anda peroleh dalam tabel yang Anda buat sendiri!

Tanah sebagai penyimpan air

Air berperan penting dalam setiap proses yang berlangsung dalam organisme. Tanaman tidak dapat mengabsorpsi nutrisi bila nutrisi tidak dalam bentuk larutan. Air dalam tanah yang mengandung nutrisi disebut larutan tanah. Salah satu manfaat tanah adalah kemampuannya dalam menyimpan air. Kemampuan tanah menyimpan air ditentukan oleh lama kontak antara akar tanaman dengan larutan tanah. Hal tersebut besar sekali pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman.

Kegiatan #18. Jenis tanah yang manakah yang mampu menyimpan air lebih banyak?

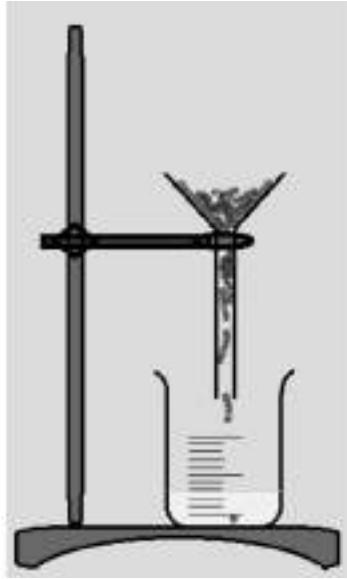
Bahan dan alat yang digunakan:

1. 200 gram sampel tanah yang mengandung bahan organik atau humus tinggi.
2. 200 gram sampel tanah yang mengandung bahan organik atau humus rendah.
3. 75 mL air kapur.
4. 75 mL air laut (atau larutan garam 3%).
5. 50 mL air berlumpur (atau suspensi tanah).
6. 2 buah corong kecil
7. 2 buah piringan kaleng berlubang. Atau kertas saring?
8. 2 buah cincin besi (kecil)
9. 2 buah standar besi.
10. 2 buah gelas beker kecil.

Catatan: sampel tanah harus berjenis sama.

Cara kerja:

1. Ambil 2 buah corong yang sama ukurannya, dan letakkan piringan berlubang pada dasar corong.
2. Isilah salah satu corong dengan tanah berhumus rendah sampai setengah volumenya. Isikan sejumlah yang sama tanah berhumus tinggi pada corong yang lainnya. Rangkailah alat seperti pada Gambar 44. Berilah tanda pada gelas beker pada tanda 10 mL. Gunakan beker ini sebagai penampung air yang telah dilewatkan melalui tanah.
3. Tuangkan 50 mL akuades ke dalam sampel tanah. Catat waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan akuades sebanyak 10 mL.



Gambar 44. Rangkaian alat pengukur kapasitas penyimpanan air.

Pertanyaan #102.

Sampel tanah manakah yang dapat mengalirkan akuades lebih cepat?

4. Teruskan aliran air sampai selesai, catat volume air yang dapat ditampung pada gelas beker (Tabel 23).

Pertanyaan #103.

Sampel tanah manakah yang mampu menyimpan air paling banyak?

Pertanyaan #104.

Apa pengaruh besarnya kandungan humus terhadap kemampuan tanah menyimpan air?

Pertanyaan #105.

Catatlah hasil pengamatan Anda pada Tabel 23.

Tabel 23. Data kegiatan #18.

Sampel tanah	Waktu untuk melewati 10 mL akuades (menit)	Volume seluruh air yang diperoleh (mL)
Tanah berhumus tinggi		
Tanah berhumus rendah		

- Ambil 50 mL air berlumpur dari sungai dan tambahkan 25 mL air kapur.

Pertanyaan #106.

Apa yang terjadi setelah air kapur ditambahkan pada air sungai?

- Dalam campuran air sungai dan air kapur tambahkan 25 mL air laut atau air garam.

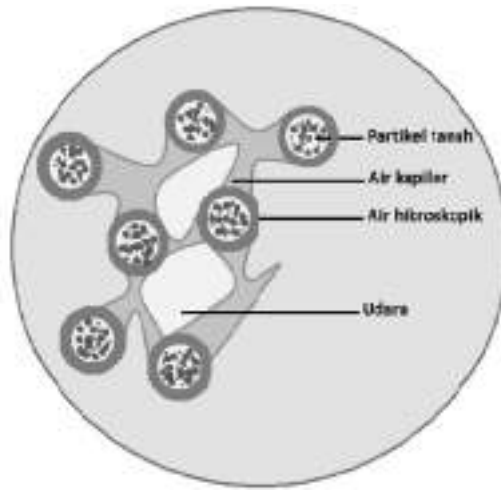
Pertanyaan #107.

Apa yang terjadi pada penambahan air garam ke dalam campuran air sungai dan air kapur?

Kemampuan tanah dalam meneruskan air dipengaruhi oleh adanya kapur dan garam. Air kapur menyebabkan partikel lempung bergabung satu sama lain menjadi partikel yang lebih besar. Sedangkan air laut merubah ukuran partikel tanah menjadi lebih kecil.

Struktur tanah dan pertumbuhan tanaman

Kumpulan partikel tanah disebut dengan agregat (Gambar 45). Kemampuan partikel tanah untuk saling bergabung sangat menentukan struktur tanah. Ruang antar partikel organik dan mineral dalam tanah ditempati udara dan air.



Gambar 45. Agregat tanah.

Tingkat kerapatan tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Tanah berpasir mengandung mineral yang resisten (sukar larut), yaitu silika (SiO_2) dan pori-pori berukuran relatif besar. Kondisi semacam ini kurang mendukung bagi pertumbuhan tanaman.

Lempung tersusun atas oksida hidrat dari Fe dan Al, dan alumino silikat.⁹⁵ Biasanya lempung merupakan tanah yang relatif subur, kaya akan nutrisi. Partikel lempung menunjukkan sifat sebagai koloid. Ukuran partikel koloid tanah bervariasi. Permukaan partikel dapat mengabsorpsi air secara kuat. Berbagai reaksi kimia terjadi pada permukaan partikel koloid tanah, terutama saat terjadi kontak antara akar tanaman dan partikel koloid, yaitu pada saat proses absorpsi nutrisi.

Meskipun tanah mengandung nutrisi dalam jumlah relatif banyak, namun belum tentu tanaman dapat tumbuh subur di atasnya. Faktor apa sajakah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman? Udara dan air merupakan dua komponen yang paling dibutuhkan oleh tanaman. Udara dalam tanah dibutuhkan untuk respirasi akar dan juga untuk mendukung kehidupan organisme dalam tanah. Air dapat melarutkan nutrisi yang sangat dibutuhkan tanaman. Namun, air dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya proses pembusukan pada tanaman. Mengapa demikian?

Ukuran pori-pori tanah sangat menentukan jumlah air dan udara yang dapat tersimpan dalam tanah. Semakin besar ukuran pori-pori, semakin banyak air yang dapat diteruskan. Udara dalam tanah biasanya berupa larutan udara dalam air. Tidak seperti air, udara tidak mudah mengalir pada pori-pori tanah. Lempung yang mempunyai kemampuan besar menyimpan air tidak baik untuk pertumbuhan tanaman sebab lempung tidak dapat menyimpan udara. Air juga terikat kuat pada partikel lempung sehingga sulit untuk diabsorpsi tanaman. Tanah yang baik untuk pertanian adalah tanah loam. Tanah jenis ini terdiri dari partikel lempung yang relatif banyak dan pasir yang dapat menyimpan udara.

Jika tanah kekurangan oksigen, seperti dalam hal tanah yang terendam air, bakteri aerob tak dapat hidup lama. Kecepatan lepasnya O_2 juga relatif rendah. Gas CO_2 terakumulasi dan terperangkap dalam air sebagai gelembung-gelembung gas. Tanah yang terendam air memiliki warna abu-abu atau kehijauan karena adanya unsur dalam bentuk tereduksi, biasanya Fe^{2+} dan S^{2-} . Ion Fe^{2+} dalam jumlah banyak dapat meracuni tanaman. Tanah yang mendapat pengairan dengan baik berwarna kecokelatan karena unsur terdapat dalam bentuk teroksidasi, seperti Fe^{3+} .

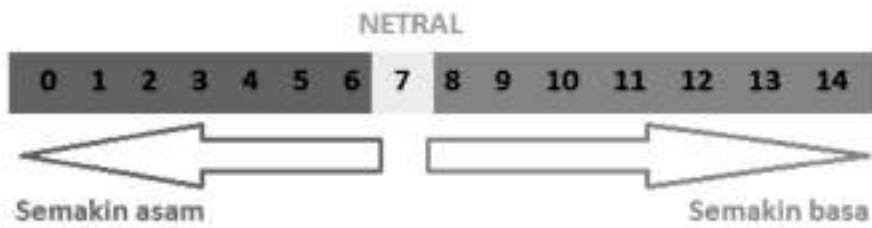
Meskipun sebagian besar tanaman tidak dapat hidup dengan baik pada tanah yang tergenang air, namun beberapa tanaman, seperti padi dapat hidup dengan baik karena padi mempunyai struktur yang memungkinkan udara terdifusi pada akar tanaman.

Pertanyaan #108.

Sebutkan nama tanaman lainnya yang dapat hidup dengan baik pada tanah yang tergenang air?

Tanah asam dan tanah basa

Senyawa-senyawa dalam tanah ambil bagian dalam reaksi kimia dalam tanah. Udara, air, dan organisme dapat ikut berpartisipasi dalam reaksi kimia tersebut. Komposisi senyawa dan reaksi kimia dalam tanah menentukan sifat tanah, misalnya sifat asam, basa atau netral.⁹⁶ Keasaman tanah ditunjukkan oleh besarnya pH (Gambar 46).



Gambar 46. Skala pH.

Besarnya pH tanah dapat ditentukan dengan tepat menggunakan pH-meter. Secara sederhana pH tanah dapat ditentukan menggunakan kertas pH. Kertas pH akan menunjukkan warna tertentu bila dibasahi dengan suatu larutan. Untuk mengetahui besarnya pH, warna kertas pH dibandingkan dengan warna standar. Pada umumnya besarnya pH tanah berkisar antara 4-8,5. Berapakah pH tanah di daerah Anda?

Kegiatan #19. pH tanah

Bahan dan alat yang digunakan:

1. 40 gram sampel tanah.
2. Akuades.
3. Kertas lakmus.
4. Kertas pH atau pH-meter.
5. 0,5 gram CaO.
6. 0,5 gram NH_4NO_3 .
7. 0,5 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.
8. 4 buah botol kecil.
9. Gelas ukur.
10. Neraca.
11. Batang pengaduk.

Cara kerja:

1. Masukkan masing-masing sampel tanah pada 4 buah botol.
2. Tambahkan 0,5 gram CaO pada botol pertama, 0,5 gram NH_4NO_3 pada botol kedua, 0,5 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ pada botol ketiga. Botol keempat diisi tanah saja. Tambahkan masing-masing 10 mL akuades pada keempat botol tersebut.

3. Ujilah pH 1 mL filtrat dari keempat campuran dengan kertas pH atau pH-meter.

Pertanyaan #109.

Bersifat asam atau basakah sampel tanah Anda?

Pertanyaan #110

Berapa pH tanah yang telah dicampur dengan CaO , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, dan tanpa campuran.

Garam NH_4NO_3 dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dapat ditambahkan ke tanah sebagai pupuk, dan CaO ditambahkan untuk meningkatkan kadar Ca dalam tanah (perkapuran). Kegiatan yang telah Anda lakukan menunjukkan bahwa penambahan bahan-bahan kimia dapat menyebabkan perubahan pH tanah.

Tanah di daerah dengan curah hujan tinggi cenderung bersifat asam. Senyawa-senyawa yang bersifat basa mudah larut dan merembes ke dalam tanah bagian yang lebih dalam. Larutan tanah cenderung bergerak ke permukaan tanah, mengalami penguapan, dan akhirnya meninggalkan garam-garam.

Pertanyaan #111.

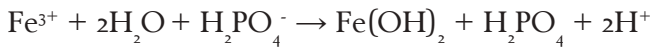
Bagaimana kecenderungan keasaman tanah di negara kita?

Mengapa pH tanah perlu diketahui? pH tanah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Nutrisi dalam tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Pada pH yang tinggi, kelarutan beberapa nutrisi (misalnya kalsium fosfat) relatif kecil, sehingga tidak dapat mencukupi kebutuhan tanaman untuk tumbuh dengan baik.

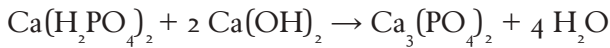
Beberapa nutrisi, seperti Fe dan Mn, relatif mudah larut pada pH rendah. Nutrisi ini dapat terbawa air menuju ke bagian dalam dari tanah sehingga tidak terabsorpsi oleh tanaman.

Fosfor diabsorpsi dari dalam tanah dalam bentuk fosfat (HPO_4^{2-} atau H_2PO_4^-) pada pH 5-7. Logam Fe dan Al mudah larut pada pH relatif rendah. Pada pH relatif rendah, ion logam tersebut bereaksi dengan fosfat

membentuk garam yang mudah larut.



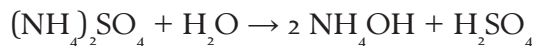
Pada pH di atas 7, mono- atau dikalsium fosfat menjadi $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang sukar larut.



Pada suasana asam, nitrogen kurang tersedia dalam tanah. Hal ini menyebabkan berkurangnya aktifitas bakteri fiksasi nitrogen. Bakteri pengurai bekerja dengan baik pada pH antara 6,2-7,5. Jika pH tanah turun dan tanah menjadi lebih bersifat asam aktifitas fungi meningkat sedang bakteri menurun. Pada pH tinggi, nitrogen terdapat dalam bentuk NH_4^+ yang mudah menguap dalam bentuk NH_3 .

Mayoritas tanaman tumbuh dengan baik pada tanah dengan pH 5,6-7,0. Logam Fe, Mn, dan Mg relatif tidak mudah larut dalam suasana basa, tidak demikian dengan silika.

Dalam kegiatan 19, Anda telah mempelajari bahwa penambahan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan NH_4NO_3 dapat menurunkan pH tanah. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi hidrolisis berikut:



Amonium hidroksida adalah basa lemah, sedang asam sulfat merupakan asam kuat. Kedua senyawa tersebut secara keseluruhan memberikan pengaruh asam pada tanah.

Pertanyaan #112.

Jelaskan mengapa penambahan NH_4NO_3 menyebabkan keasaman tanah meningkat, sedang penambahan CaO menurunkan keasaman?

Pertanyaan # 113.

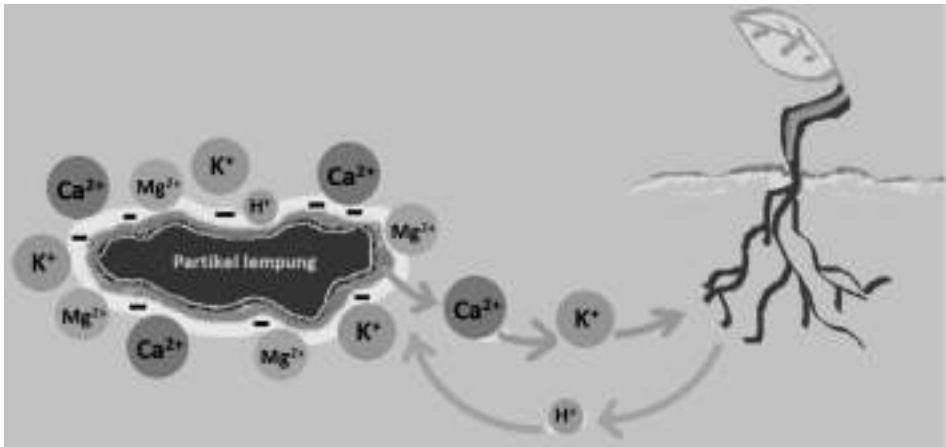
Mengapa ketersediaan ion K^+ dalam tanah tidak terpengaruh oleh keasaman tanah?

Pertanyaan #114.

Gas CO_2 cenderung berkumpul dalam tanah yang tergenang oleh air. Bagaimana pengaruh hal ini terhadap keasaman tanah?

Reaksi kimia dalam tanah

Partikel koloid mempunyai permukaan yang luas dan bermuatan listrik. Dua sifat partikel koloid yang penting adalah kemampuannya mengabsorpsi air dan kation (Gambar 47). Partikel lempung bermuatan negatif pada bagian permukaannya, sehingga dapat menarik ion positif (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ dsb.), seperti dilustrasikan pada Gambar 47. Tanaman menukarkan ion H^+ dengan ion logam dari dalam tanah. Prosesnya disebut reaksi pertukaran kation. Reaksi ini memungkinkan tanaman dapat mengambil unsur logam K, Mg, Ca, Na dan lainnya dari dalam tanah.

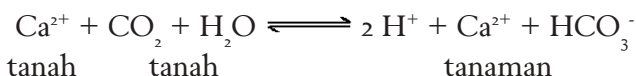


Gambar 47. Absorpsi nutrisi oleh akar tanaman.

Pertanyaan #115.

Apakah pertukaran kation dapat mempengaruhi pH tanah?

Karbon dioksida bersama dengan air dapat melarutkan mineral (misalnya Ca dan Mg) dalam tanah mengakibatkan tanah cenderung bersifat asam.



Pertanyaan #116.

Tunjukkan reaksi pertukaran kation antara asam dalam tanah dengan CaCO_3 . Bagaimana terjadinya perubahan pH bila kapur ditambahkan dalam tanah?

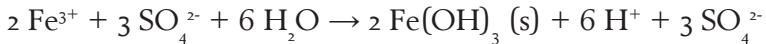
Pertanyaan #117.

Kalsium bereaksi dengan pupuk fosfat membentuk $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Jelaskan mengapa penggunaan pupuk fosfat tidak baik bagi tanah yang baru saja diberi kapur?

Pertanyaan #118.

Kapur bereaksi dengan pupuk amonium sulfat menghasilkan amonia. Apakah pemupukan amonium sulfat dan kapur secara bersamaan baik bagi tanah? Mengapa?

Pada daerah yang bercurah hujan rendah, adanya Na_2CO_3 menyebabkan tanah bersifat basa. Aluminium besi sulfat dapat digunakan untuk mengurangi kebasaaan tanah.



Belerang juga dapat digunakan untuk mengasamkan tanah yang bersifat basa. Belerang teroksidasi menghasilkan H_2SO_4 .



Siklus biokimia atau biogeokimia?

Unsur-unsur bergerak di lingkungan dalam siklus pada pertumbuhan dan metabolisme. Transformasi unsur menjadi berbagai bentuk dalam tanah, air, udara, dan bahkan terjadi dalam tanaman dan binatang.

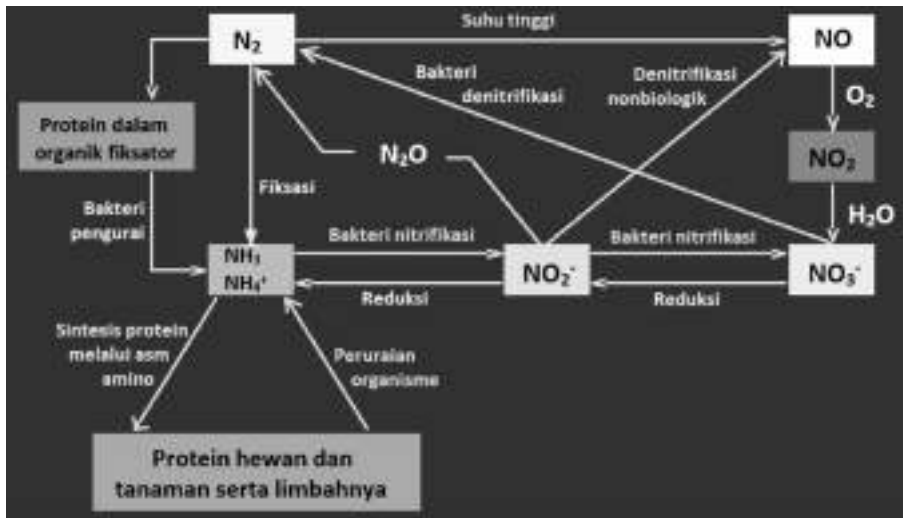
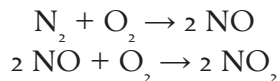
Dalam tanah, mikroorganisme seperti bakteri, cacing, fungi, algae dan protozoa membantu peruraian. Mikroorganisme mentransformasi senyawa kompleks menjadi lebih sederhana. Nitrat, fosfat, sulfat, dan karbon dioksida terbentuk dari molekul protein dan karbohidrat yang kompleks.

Senyawa sederhana, yaitu senyawa yang berukuran kecil dan larut dalam air, mudah diabsorpsi akar tanaman. Tanaman merubah senyawa sederhana menjadi spesies yang lebih sederhana lagi. Karbon, hidrogen, dan

oksigen, digunakan untuk mensintesis karbohidrat, lemak, protein, lilin, selulosa, dan senyawa kompleks lainnya. Nitrogen, fosfor, dan belerang membentuk protein. Unsur lain yang jumlahnya relatif kecil berperan dalam metabolisme pada tanaman.

Siklus nitrogen⁹⁷

Gambar 48 menunjukkan siklus nitrogen dan peranan mikroorganisme tanah dalam siklus tersebut. Tanah tidak mengandung mineral nitrogen. Nitrogen masuk dalam tanah melalui dua cara, yaitu karena terjadinya loncatan bunga api listrik dan fiksasi nitrogen secara mikrobiologi. Loncatan bunga api listrik di udara menyebabkan terjadinya reaksi antara nitrogen dan oksigen membentuk nitrogen oksida (NO). Nitrogen oksida segera bereaksi dengan oksigen di udara membentuk nitrogen dioksida (NO₂).



Gambar 48. Siklus nitrogen.

Oksida ini larut dalam air hujan membentuk asam nitrat atau nitrit. Asam nitrat dan nitrit bereaksi dengan mineral dalam tanah membentuk senyawa nitrat dan nitrit yang mudah larut dalam air. Nitrogen diserap dan digunakan oleh tanaman dalam bentuk nitrat dan nitrit.

Pertanyaan #115.

Tuliskan reaksi antara NO_2 dengan air hujan di udara.

Bakteri fiksasi nitrogen pada tanaman tertentu, seperti kedelai, menangkap dan merubah nitrogen di udara secara langsung menjadi senyawa nitrogen. Proses ini disebut fiksasi nitrogen. Semakin banyak bintil-bintil di akar semakin banyak pula nitrogen yang terfiksasi. Organisme lainnya, yaitu asetobakter, juga dapat memfiksasi nitrogen.

Pertanyaan #116.

Mengapa tanaman yang mempunyai legum menguntungkan bagi tanah pertanian?

Nitrogen di udara dapat dirubah menjadi senyawa yang dapat larut dalam air dengan fiksasi tiruan yang biasanya dilakukan oleh industri pupuk buatan.

Tanaman mengambil nitrat dan nitrit dalam tanah dan mengubahnya menjadi bentuk lain. Herbivora memakan tumbuhan yang mengandung nitrogen terabsorpsi. Karnivora memakan herbivora. Bakteri menguraikan kotoran atau bangkai binatang dan menghasilkan nitrogen, amonia, dan senyawa lainnya. Sebagian senyawa tersebut kembali ke udara dan sebagian masuk ke dalam tanah. Bakteri juga menguraikan tanaman dan herbivora yang telah mati.

Pertanyaan #117.

Dalam bentuk apakah nitrogen dalam tanaman dan binatang?

Hilangnya nutrisi dari tanah

Nutrisi dalam tanah dapat berkurang atau hilang karena terbawa arus air, penebangan tanaman, erosi tanah, penguapan atau berubah menjadi senyawa lain. Penanaman tanaman secara terus menerus pada lahan pertanian tertentu dapat menyebabkan berkurangnya nutrisi dalam jumlah besar dari dalam tanah. Tabel 24. menunjukkan jumlah nutrisi yang terambil dari satu hektar tanah oleh berbagai tanaman.

Tabel 24. Jumlah nutrisi yang terabsorpsi dari dalam tanah oleh berbagai tanaman (Kg per hektar).

Tanaman	N	P	K
Padi	118	33	81,3
Tebu	170	27,7	361,8
Kelapa	61	12,3	81,3
Jagung	105	22,9	109,6
Tembakau	84	8,8	99,6
Pisang	95	1,1	253,1
Kapas	150	41,8	132,8
Kentang	70	0,7	83
Kopi	17	4,4	33,2
Cokelat	15	6,6	48,1

Tanah bagian paling atas merupakan lapisan tanah yang paling subur. Hilangnya lapisan ini karena erosi berarti hilangnya bahan organik, mineral dan nutrisi yang sangat dibutuhkan tanaman.

Pertanyaan #118.
 Mengapa tanah bagian atas merupakan bagian tanah yang paling subur?

Pertanyaan #119.
 Bagaimana cara mencegah terjadinya erosi?

Nutrisi dalam tanah dekat akar tanaman juga dapat hilang. Hal ini biasanya disebabkan oleh aliran air yang terlalu deras melalui rongga-rongga antar partikel tanah. Hilangnya nutrisi dapat diganti dengan pupuk buatan, pupuk hijau, atau pupuk kandang.

Polusi tanah

Tanah di hutan mempunyai komposisi dan sifat-sifat yang secara alami mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Jika terjadi perubahan komposisi dan sifat tanah, siklus alamiah akan mengembalikan keadaan semula. Penebangan hutan secara semena-mena menyebabkan komposisi dan sifat-sifat tanah berubah secara drastis. Bila komposisi dan sifat tanah

(fisika, kimia, dan biologi) berubah sehingga berakibat buruk pada tanaman dan binatang, maka dapat dikatakan bahwa tanah tersebut telah terpolusi.

Tanah dapat terpolusi karena:

1. Kecepatan hilangnya senyawa tertentu dari tanah lebih besar dari kecepatan masuknya senyawa pengganti.
2. Rusaknya atau putusnya alur siklus biokimia.
3. Kecepatan masuknya senyawa ke tanah lebih besar dari pada kecepatan pengambilannya.
4. Masuknya senyawa yang tidak terdegradasi dalam tanah.

Penanaman satu jenis tanaman secara terus menerus

Petani mungkin memanfaatkan dan mengambil nutrisi tanaman yang penting dari dalam tanah dengan kecepatan yang lebih besar dari pada yang dikembalikannya. Hal ini terjadi bila petani hanya menanam satu jenis tanaman saja pada lahan yang sama. Tanaman mengabsorpsi unsur-unsur tertentu dan tanah akan menjadi tandus.

Penanaman tanaman secara bergantian, pemberian pupuk daun dan kandang secara berimbang dapat mengembalikan tingkat kesuburan tanah. Penanaman azolla pada lahan padi sangat menguntungkan petani. Azolla dapat memfiksasi nitrogen dari udara. Bila azolla mati, hasil uraiannya dapat digunakan sebagai pupuk, yang dapat menggantikan peran pupuk buatan.

Penebangan hutan dan perladangan berpindah

Komposisi kimia dan sifat tanah, seperti struktur dan kapasitas penyimpanan air, akan berubah bila dilakukan penebangan dan pembakaran hutan. Praktek perladangan berpindah menyebabkan kualitas tanah menjadi buruk. Mengapa?

Kegiatan #20. Simulasi penebangan hutan

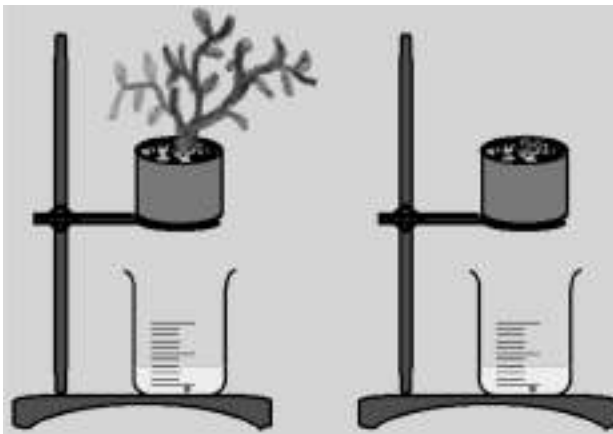
Bahan dan alat yang digunakan:

1. 1 pot tanaman yang dirawat dengan baik.
2. 2 botol bermulut lebar yang transparan, 500 mL.
3. 500-1000 mL air.
4. Timbangan.
5. Gelas ukur.

6. Cawan uap atau penguapan.
7. Ballpoint (spidol)
8. Pot.
9. Batang kayu atau tongkat pengungkit .
10. Pasir
11. Lampu spiritus

Cara kerja:

1. Buatlah tanda yang menyatakan volume dari botol.
2. Ambil dua buah pot yang berisi tanaman sejenis dan berumur sama, serta ditanam pada tanah dengan jenis yang sama.
3. Menggunakan batang kayu, secara hati-hati pindahkan salah satu tanaman pada pot ketiga dan biarkan agar tetap tumbuh. Usahakan agar akar tanaman tidak rusak pada saat dipindahkan.
4. Letakkan kedua pot (satu pot berisi tanaman yang terawat dengan baik, dan pot lainnya tidak berisi tanaman, karena telah dipindahkan) dengan posisi seperti pada Gambar 49.
5. Letakkan botol bermulut lebar tepat di bawah pot. Botol-botol ini berfungsi sebagai penampung air.
6. Tuangkan sejumlah air yang sama (kira-kira 300 sd. 600 mL, tergantung pada besarnya pot) pada setiap pot. Catat waktu yang dibutuhkan untuk menampung 100 mL air dari masing-masing pot. Catat pula jumlah air seluruhnya yang dapat ditampung dalam botol dari masing-masing pot.



Gambar 49. Posisi botol penampung air rembesan terhadap pot.

Pertanyaan #120.

Pot manakah yang dapat meneruskan sejumlah tertentu air dalam waktu yang lebih cepat?

Pertanyaan #121.

Apa pengaruh tanaman terhadap kapasitas penyimpanan air?

Pertanyaan #122.

Apa yang terjadi dengan nutrisi pada tanah dalam pot tanpa tanaman.

1. Setelah dilewati air sejumlah kedua pot pada panas matahari langsung selama dua jam. Ambillah sampel setebal 3 cm di bawah permukaan tanah.
2. Letakkan masing-masing sampel dalam cawan uap dan tentukan massa sampel beserta cawan (M_1). Panaskan cawan berisi sampel tersebut selama 1 jam (Gambar 50).
3. Dinginkan sampel tanah dan tentukan massanya bersama dengan cawan (M_2). Hitung massa yang hilang dengan persamaan:

$$\% \text{ massa yang hilang} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

Pertanyaan #123.

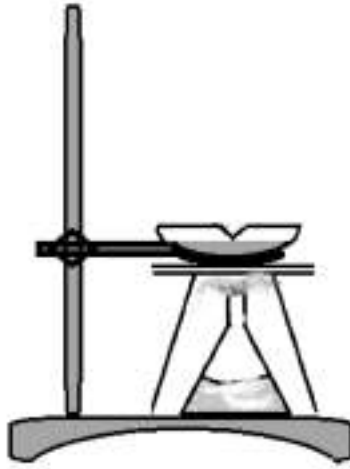
Dari pot manakah massa sampel hilang lebih banyak?

Pertanyaan #124.

Tanah manakah yang menunjukkan penguapan air lebih cepat?

Pertanyaan #125.

Apa pengaruh penggundulan hutan terhadap penguapan air tanah?



Gambar 50. Pemanasan sampel tanah.

Daun tanaman melindungi tanah dari sinar matahari, hujan dan angin. Cabang, ranting dan daun tanaman menahan derasnya air hujan. Tanpa adanya penahanan tersebut, air hujan akan mendispersi agregat tanah dan menutup pori-pori tanah. Air yang telah berkumpul dalam jumlah banyak akan mengalir di atas permukaan tanah. Selama hujan lebat, tanah mudah tererosi. Hujan lebat selama beberapa minggu dapat mengikis tanah sedalam beberapa sentimeter, yang saat pembentukkannya membutuhkan waktu beratus-ratus tahun. Tanpa adanya akar dari pepohonan besar yang mampu menyimpan air, air di gunung tidak akan mencukupi kebutuhan kita selama musim kemarau. Pada musim kemarau air dalam tanah menguap lebih cepat dan ini menyebabkan tanah menjadi keras.

Pertanyaan #126.

Apakah masih terdapat sekelompok orang yang sering merusak hutan di daerah Anda?

Pertanyaan #127.

Usaha apakah yang telah Anda lakukan untuk mencegah kerusakan hutan?

Polusi tanah oleh industri dan pertambangan

Beberapa bahan kimia beracun dibuang bersama-sama dengan limbah oleh industri. Pertambangan juga menghasilkan limbah berbahaya, seperti logam berat dan radioaktif. Air yang mengalir melewati daerah pertambangan sering bersifat sangat asam, karena mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Jika air limbah ini masuk ke sungai atau danau, tanah sepanjang aliran air tersebut akan terkontaminasi oleh bahan-bahan kimia. Kualitas tanah menjadi buruk. Binatang air, seperti ikan, akan menderita. Senyawa beracun dapat terakumulasi dalam tanaman dan dapat mencapai manusia sebagai konsumen terakhir.

Pertanyaan #128.

Apa pengaruh air asin terhadap kemampuan tanah dalam penyimpanan air?

Pertanyaan #129.

Bagaimana H_2SO_4 dapat masuk ke dalam tanaman?

Apakah Anda pernah mengunjungi daerah pertambangan? Amati warna air sungai yang mengalir di daerah tersebut. Juga amati jenis binatang dan tanaman yang ada.

Anda dapat memperkirakan terjadinya polusi air sungai atau danau berdasarkan warna dan populasi binatang dan tanaman yang hidup di dalamnya. Sungai yang tidak terpolusi biasanya berair jernih atau kehijau-hijauan, sedang air sungai yang terpolusi berwarna abu-abu gelap dan berlumpur. Organisme banyak hidup di air yang bersih dari pada di air terpolusi.

Tanah yang terpolusi oleh garam dapat dipulihkan dengan cara mengatur irigasi dengan baik dan melarutkan garam tersebut dengan cara mengalirkan air yang bersih pada tanah.

Logam berat dan radioaktif adalah polutan lainnya yang dapat berasal dari pertambangan. Senyawa ini terabsorpsi oleh tanaman dan akhirnya masuk ke tubuh binatang melalui tanaman. Logam berat, seperti arsen, kadmium, kromium sebagai kromat (CrO_4^{2-}), nikel, kobalt, titanium, dan berilium, dapat menyebabkan kanker pada manusia. Logam-logam tersebut

dapat bereaksi dengan enzim. Air raksa dapat menyebabkan kelumpuhan syaraf, dan kematian, serta cacat pada janin. Jika uap Hg terhirup dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru, gemetar, luka bakar pada rongga mulut, dan iritasi pada anggota tubuh lainnya, serta kanker kulit.

Beberapa logam mempunyai kemampuan menggantikan logam lainnya dalam tubuh. Hal ini terjadi karena bahan kimia beracun tersebut mempunyai sifat yang hampir sama dengan logam yang digantikannya. Logam Sr-90 yang merupakan logam radioaktif dan merupakan logam hasil reaksi nuklir, dapat terakumulasi dan menggantikan Ca pada tulang sumsum manusia dan binatang vertebrata. Sinar radioaktifnya dapat menyebabkan kanker dan perubahan genetik. Kadmium mempunyai sifat hampir sama dengan zink, sehingga dapat menggantikan zink dalam tubuh. Zink dalam jumlah kecil mempunyai fungsi sebagai pemecah lemak. Tanpa zink lemak akan terkumpul dalam sistem sirkulasi darah dan menyebabkan tekanan darah tinggi dan penyakit jantung. Hasil peluruhan uranium, radium (Rs-226) dan torium dapat menggantikan kalsium dalam tulang dan menghambat proses pembentukan sel darah merah, yang berujung pada anemia.

Polutan dari kendaraan bermotor

Polutan dari kendaraan bermotor yang utama adalah timbal. Senyawa tetraetil timbal $[Pb(C_2H_5)_4]$ dan tetrametil timbal $[Pb(CH_3)_4]$ ditambahkan ke dalam bensin sebagai bahan *antiknock*. Senyawa timbal terbuang ke udara bersama dengan hasil pembakaran bensin, hingga kadar timbal di udara perkotaan menjadi 5-50 kali kadar timbal di pedesaan. Timbal dapat meracuni tubuh. Logam ini dapat menghambat proses pembentukan hemoglobin. Timbal dapat menyebabkan kerusakan otak, kejang-kejang, perubahan tingkah laku dan kematian.

Kegiatan #21. Uji timbal dalam tanah

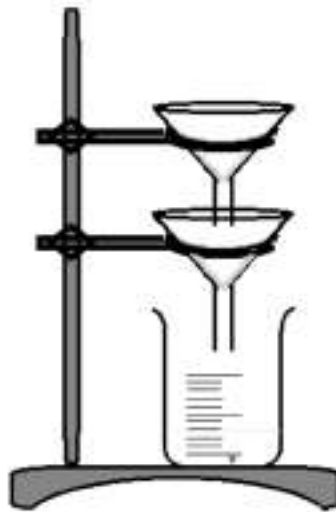
Bahan dan alat yang digunakan:

1. 200-400 gram debu atau tanah dari pinggir jalan.
2. 2 buah corong.
3. Pipa kaca.
4. Kertas saring.
5. Botol atau gelas erlenmeyer.

6. 5 mL asam asetat.
7. 50 mL air hangat.
8. 1 mL larutan K_2CrO_4 jenuh.
9. Pipet.
10. 2 buah tabung reaksi.
11. Timbangan.
12. Pipet tetes.
13. Cawan uap.
14. Lampu spiritus.
15. Kawat kasa.
16. Statif.

Cara kerja:

1. Kumpulkan debu atau tanah dari pinggir jalan.
2. Timbang 200 gram sampel tanah. (Masa sampel dapat diperbesar jika kadar timbal dalam sampel relatif sangat kecil).
3. Pasang kertas saring pada corong dan letakkan sampel tanah ke atas kertas saring. Letakkan botol penampung di bawah corong seperti pada Gambar 51.



Gambar 51. Alat untuk melarutkan timbal.

1. Siapkan 5 mL larutan asam asetat dalam 50 mL air hangat. Biarkan larutan ini beberapa saat dan kemudian saringlah. Simpan filtrat yang diperoleh.
2. Tuang secara perlahan larutan asam asetat pada sampel tanah.
3. Pipet 1 mL filtrat yang tertampung dalam botol penampung, dan masukkan dalam tabung reaksi, serta masukkan 1 mL filtrat lainnya pada tabung reaksi lainnya. Masukkan 2 tetes larutan K_2CrO_4 jenuh ke dalam masing-masing tabung reaksi.

Pertanyaan #130.

Bagaimana hasil pengamatan Anda?

Endapan kuning menunjukkan adanya timbal dalam tanah. Timbal dalam tanah larut oleh asam asetat membentuk timbalasetat $[Pb(CH_3COO)_2]$. Senyawa ini bereaksi dengan K_2CrO_4 membentuk endapan kuning timbal kromat ($PbCrO_4$).

Pertanyaan #131.

Tuliskan reaksi antara timbal asetat dengan kalium kromat!

4. Bila endapan kuning tidak terbentuk, masukkan filtrat dalam cawan uap dan panaskan sampai tinggal sepersepuluhnya. Cobalah lakukan lagi untuk menguji keberadaan timbal.

Pertanyaan #132.

Adakah timbal dalam sampel Anda!

Polutan udara lainnya juga dapat merusak struktur tanah, misalnya gas karbon dioksida dan hujan asam. Karbon dioksida yang berlebihan dapat menyebabkan pemanasan global atau efek rumah kaca (*greenhouse effect*)⁹⁸. Akibat lebih jauh adalah berubahnya pola turunnya air hujan dan berubahnya daerah subur menjadi padang rumput. Pada efek rumah kaca, molekul karbon dioksida menangkap radiasi dari permukaan tanah yang mempunyai panjang gelombang relatif lebih besar, yang dapat meningkatkan suhu atmosfer bagian bawah. Hujan asam terbentuk dari reaksi antara SO_2

di atmosfer dengan air. Asam sulfat yang terbentuk dapat meningkatkan kelarutan dan reaksi redoks mineral dalam tanah.

Pestisida

Tanaman sering dirusak oleh binatang pengganggu, rumput liar, dan penyakit. Untuk melindungi tanaman dari kerusakan, petani menggunakan berbagai bahan kimia. Untuk memberantas rumput pengganggu petani menggunakan herbisida, untuk serangga menggunakan insektisida, serta untuk memberantas tikus menggunakan rodentisida.

Pada kegiatan berikut Anda akan mempelajari berbagai masalah berkaitan dengan penggunaan pestisida.

Kegiatan #22. Pengaruh pestisida pada sel hidup

Bahan dan alat yang digunakan:

1. Sampel tanah.
2. Beberapa tetes malation atau pestisida bertoksistas rendah.
3. Hati ayam yang masih segar.
4. Putih telur.
5. 2 buah pipet tetes.
6. 2 buah gelas arloji.
7. Kaca pembesar.
8. Arloji.
9. Sendok teh.

Perhatian:

Pestisida sangat beracun, hindarkan menghirup uapnya atau menyentuhnya dengan tangan telanjang, jangan makan atau minum selagi melakukan kegiatan ini.

Cara kerja:

1. Masukkan beberapa tetes malation ke dalam 10 mL air.

Pertanyaan #133.

Bagaimana kenampakan larutan ini? Apakah pestisida dapat larut dalam air?

2. Ambil sampel tanah yang masih basah (tanah di bawah batu, daun atau ranting yang gugur di kebun Anda).
3. Periksa sampel tersebut dengan kaca pembesar. Apakah terdapat organisme dalam sampel tanah? Lukis dan hitunglah jumlah organisme tersebut.
4. Tambahkan beberapa tetes larutan pestisida pada sampel. Tunggu sekitar 10 menit. Periksa kembali sampel tersebut dengan kaca pembesar.

Pertanyaan #134.

Apa yang terjadi dengan organisme yang ada dalam tanah?

5. Ambillah 2 irisan hati ayam yang masih segar. Tempatkan masing-masing irisan pada gelas arloji. Tambahkan beberapa tetes larutan pestisida pada salah satu irisan hati ayam, dan pada irisan hati yang lain teteskan air.

Pertanyaan #135.

Bandingkan kenampakan kedua irisan hati tersebut?

6. Tambahkan beberapa tetes pestisida pada 1 mL putih telur.

Pertanyaan #136.

Apakah pestisida dapat larut dalam putih telur?

Pestisida dapat digunakan untuk memberantas binatang pengganggu. Sayangnya, selain mematikan binatang pengganggu, pestisida juga dapat mematikan mikroorganisme dan serangga yang bermanfaat. Serangga-serangga tertentu sangat besar peranannya dalam rantai makanan atau dalam alur perubahan unsur-unsur dalam tanah menjadi bentuk-bentuk baru. Bila rantai ini terputus, semua rantai akan terganggu. Beberapa akan terjadi dengan segera, sedang efek lainnya baru bisa diamati setelah waktu yang lama.

DDT

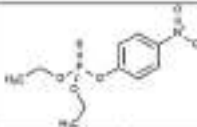
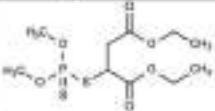
DDT adalah suatu insektisida yang digunakan secara luas selama Perang Dunia II, yaitu untuk membasmi malaria dan tipus. Para prajurit ditaburi

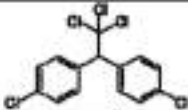
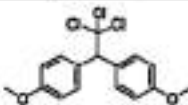
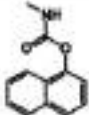
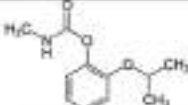
campuran bedak dan DDT untuk mencegah gigitan nyamuk malaria dan mengusir lalat pembawa penyakit tipus.

Setelah perang usai, *US War Production Board* menganjurkan penduduk sipil menggunakan DDT untuk memberantas malaria. Tak dapat disangkal, DDT dapat menyelamatkan banyak orang dari wabah malaria dan tipus. Namun, ternyata DDT juga merugikan manusia. DDT yang disemprotkan pada suatu daerah tertentu di Amerika diketahui telah mematikan sejumlah burung, katak, ular, udang dan binatang piaraan, serta serangga yang menguntungkan manusia. Dr. Paul Müller penemu akibat sampingan penggunaan DDT menerima hadiah Nobel dalam bidang kedokteran pada tahun 1948.

DDT atau diklorodifeniltrikloroetana mempunyai struktur seperti tampak pada Tabel 25. Terdapat dua masalah yang berkaitan dengan penggunaan DDT. Pertama, DDT terdegradasi sangat lambat. Kecepatan degradasi tergantung pada kondisi lingkungan. Pada tanah pertanian yang subur dan basah, 80-90 % DDT dapat terdegradasi setelah 10 tahun, sedang di daerah yang tandus dan kering, hanya 50 % DDT yang dapat terdegradasi. DDT dapat berada diberbagai tempat. Oleh angin dan air laut DDT tersebar ke seluruh penjuru dunia. DDT ditemukan dalam air, udara, tubuh binatang, makanan, dan tubuh manusia.

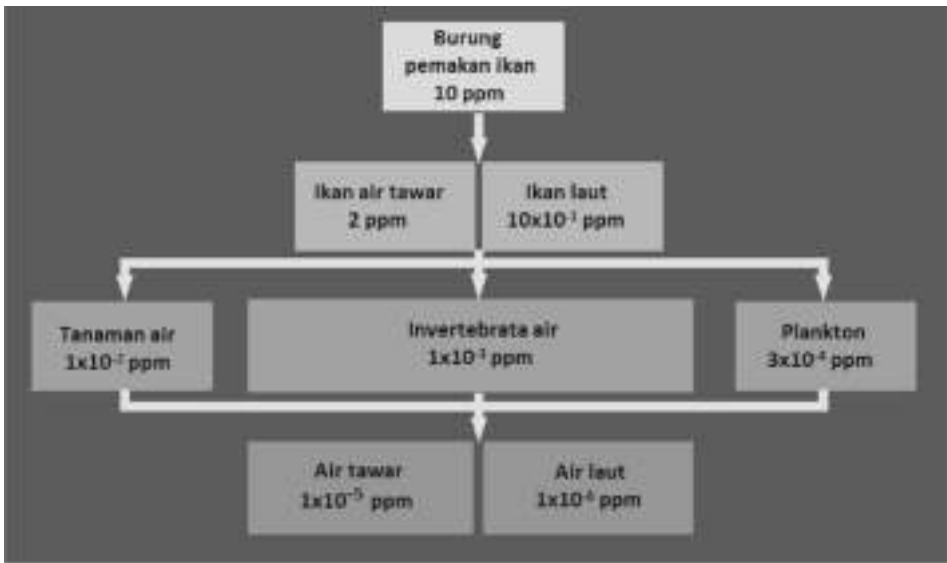
Tabel 25. Beberapa pestisida dan struktur molekulnya.

Pestisida	Struktur	Toksitas
Senyawa Organofosfor		
TEPP (tetraetil pirofosfat)		Sangat toksis
Paration		Toksitasnya tinggi
Malation		Tidak begitu toksis
Senyawa organoklorin		

DDT (diklorodifeniltrikloroetana)		Tidak begitu toksis
Aldrin		Toksitas- nya tinggi
Metoksiklor		Tidak toksis
Karbamat		
Karbaril		Tidak begitu toksis
Propoksir (bahan aktif Baygon)		Tidak begitu toksis

Sebagian besar DDT sukar larut dalam air namun mudah larut dalam lemak. DDT cenderung terakumulasi dalam tubuh binatang maupun manusia. DDT termetabolisme atau terekskresi secara lambat. Akibatnya terjadi timbunan DDT dalam tubuh manusia yang dilewatinya. Gambar 52 menunjukkan *biomagnification* DDT dalam rantai makanan.

DDT cenderung terkonsentrasi dalam lever, testis, adrenal, tiroid, dan ginjal. Pada konsentrasi 3 ppm, DDT dapat menyebabkan terganggunya fungsi lever.



Gambar 52. *Biomagnification of DDT.*

Bagaimana cara mengatasinya?

Tikus, binatang perusak dan serangga telah menjadi masalah dalam bidang pertanian sejak dulu. Binatang-binatang tersebut telah merusak atau menyebabkan penyakit bagi tanaman. Beberapa penyakit tersebut telah dapat ditanggulangi dengan bahan kimia DDT yang pada saat PD II banyak digunakan. Penggunaan bahan kimia tersebut juga dapat membahayakan manusia. Saat ini penggunaan pestisida tidak dapat dihindari, sebab tanpa bahan ini kebutuhan manusia akan makan tidak dapat terpenuhi.

Penelitian laboratoris dilakukan untuk mencari bahan alternatif pengganti penggunaan pestisida. Salah satu hasil penelitian mengarah pada penggunaan daya tarik seks atau *feromones* untuk menarik serangga masuk dalam perangkap. Serangga betina mengekskresi bahan kimia tertentu yang disebut dengan *feromones* yang dapat menarik serangga jantan untuk kawin. *Feromones* diproduksi secara sintetik dan digunakan sebagai daya tarik agar serangga masuk dalam perangkap. Para ahli juga menganjurkan predator alam, parasit, jenis tanaman tahan binatang pengganggu dan sterilisasi serangga sebagai pengganti pestisida.

Daftar Pustaka

- 1 Hanwant B. Singh, Composition Chemistry, and Climate of the Atmosphere, Canada: John Wiley & Sons, 1995.
- 2 www.atmos-chem-phys.org/7/4281/2007/acp-7-4281-2007.pdf
- 3 Lamarque, J. F., Brasseur, G. P., Hess, P. G., and Mueller, J. F.: Three-dimensional study of the relative contributions of the different nitrogen sources in the troposphere, *J. Geophys. Res.*, 101, 22 955–22 968, 2006.
- 4 James Girard, Principles of Environmental Chemistry, Sudbury, Jones & Bartlett Learning, 2010.
- 5 <http://blogodril.blogspot.com/2010/11/akankah-sulfur-dioksida-dari-letusan.html>.
- 6 <http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/pollutants.html>
- 7 Stanley E. Manahan, Environmental chemistry, Michigan: Lewis Publishers, 1990.
- 8 www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html
- 9 www.biofircenter.com/info/air-pollution-vs-negative-ions
- 10 Hemat, R.A.S., Air, Ohio: Urotext, 2006.
- 11 <http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/content/chp07/0702001.html>
- 12 Park S. Nobel, Physicochemical and environmental plant physiology, Canada: Academic Press, 2009.
- 13 en.wikipedia.org/wiki/Health_effects_of_tobacco
- 14 en.wikipedia.org/wiki/Global_change
- 15 B. Pani, Textbook of Environmental Chemistry, New Delhi: International Pvt. Ltd., 2007.
- 16 <http://science.jrank.org/pages/33/Acid-Rain-Chemical-changes-in-soil.html>

- 17 Vladimir Nikolaevich Bashkin, Environmental chemistry: Asian lessons, Berlin: Springer, 2003.
- 18 G. S. Sodhi, Fundamental concepts of environmental chemistry, Michigan: Alpha Science International, 2009.
- 19 Robert V. Rohli, Anthony J. Vega, Climatology, Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2011.
- 20 Jorge G. Ibanez, Environmental chemistry: fundamentals, Berlin: Springer, 2007.
- 21 en.wikipedia.org/wiki/Combustion
- 22 Barbara J. Finlayson-Pitts, James N. Pitts, Chemistry of the upper and lower atmosphere: Theory, Experiments and Applications, Canada: Academic Press, 2000.
- 23 theresilientearth.com
- 24 B. Pani, Textbook of Environmental Chemistry, New Delhi: International Pvt. Ltd., 2007.
- 25 John Wright, Environmental chemistry, London: Routledge, 2003.
- 26 cenvironment.blogspot.com
- 27 Eruption at Mount Merapi, Indonesia (earthobservatory.nasa.gov)
- 28 exhaustvideos.com
- 29 www.atmosphere.mpg.de
- 30 The *smog* (en.wikipedia.org/wiki/Smog).
- 31 arb.ca.gov
- 32 (serc.carleton.edu)
- 33 mesothelioma-adviceinfo.com
- 34 James Girard. Principles of Environmental Chemistry, Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2010.
- 35 Jorge G. Ibanez, Environmental chemistry: fundamentals, Berlin: Springer, 2007.
- 36 muhammadumair1.blogspot.com
- 37 flatplanet.wikispaces.com

- 38 Irena Kruk, *Environmental Toxicology and Chemistry of Oxygen Species*, Berlin: Springer, 1997.
- 39 Anil K De, *Environmental Chemistry*, New Delhi: New Age International., 2003.
- 40 Samir K. Banerji, *Environmental chemistry*, New Delhi: International Pvt. Ltd., 2001.
- 41 ASTM D2914-95 Standard Test Methods for Sulfur Dioxide Content of the Atmosphere (West-Gaeke Method)(www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2914-95.htm)
- 42 Stanley E. Manahan, *Environmental chemistry*, Michigan: Lewis Publishers, 1990.
- 43 COMPOSTING PROCESSING TECHNOLOGIES (www.compost.org/pdf/compost_proc_tech_eng.pdf)
- 44 V.N. Bashkin, *Environmental Chemistry: Asian Lessons*, Berlin: Springer, 2003.
- 45 James Girard. *Principles of Environmental Chemistry*, Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2010.
- 46 i-article3.blogspot.com
- 47 Roy M. Harrison, *Understanding our environment: An introduction to environmental chemistry*, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1999.
- 48 James Girard, *Principles of Environmental Chemistry*, Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2010.
- 49 www3.gov.ab.ca
- 50 hima-ipa.co.cc
- 51 A. Agüera, Damià Barceló, Otto Hutzinger, *The handbook of environmental chemistry: Water pollution*, Vol. 5., Berlin: Springer, 2008.
- 52 Eric Lichtfouse, Jan Schwarzbauer, Dr. Didier Robert, *Environmental chemistry: Green chemistry and pollutants in ecosystems*, Berlin: Springer, 2005.
- 53 B. Pani, *Textbook of Environmental Chemistry*, New Delhi: International Pvt. Ltd., 2007.

- 54 John Wright, Environmental chemistry, London: Routledge, 2003.
- 55 arif-worldscience.blogspot.com
- 56 James Girard, Principles of Environmental Chemistry, Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2010.
- 57 *Why Dissolved Oxygen is Important*, http://www.lenntech.com/why_the_oxygen_dissolved_is_important.htm
- 58 G. Eglinton, Environmental Chemistry, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1975.
- 59 Bibudhendra Sarkar, Heavy metals in the environment, New York: CRC Press, 2005.
- 60 archive.kaskus.us
- 61 V.N. Bashkin, Environmental Chemistry: Asian Lessons, Berlin: Springer, 2003.
- 62 *Scum* (en.wikipedia.org/wiki/Scum).
- 63 *Perspiration* (www.answers.com).
- 64 An anticaking agent (en.wikipedia.org/wiki/Anticaking_agent).
- 65 David D. Kemp, The environment dictionary, New York: Routledge, 1998.
- 66 wix.com
- 67 Morton Lippmann, Environmental toxicants: human exposures and their health effects, Toronto: Wiley-Interscience, 2009.
- 68 Lubomir I. Simeonov, Mihail V. Kochubovski, Biana G. Simeonova, Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development, Berlin: Springer, 2010.
- 69 Isobel W. Heathcote, Integrated watershed management: principles and practice, Toronto: Wiley-Interscience, 2009.
- 70 A. James, Lilian Evison, Biological indicators of water quality, Michigan: Wiley, 1979
- 71 johnsonhenryworldschool.blogspot.com
- 72 Jerry A. Nathanson, Basic environmental technology: water supply, waste management, and pollution control, New Jersey: Prentice Hall, 2003.

- 73 biomesfourthog.wikispaces.com
- 74 de3perikanan.blogspot.com
- 75 Marcos von Sperling, Basic principles of wastewater treatment, London: IWA Publishing, 2007.
- 76 tradekorea.com
- 77 id.wikipedia.org/wiki/Alga
- 78 palyja.co.id
- 79 Ademola K. Braimoh, Paul L. G. Vlek, Land use and soil resources, Berlin: Springer, 2008.
- 80 N. van Breemen, P. Buurman, Soil formation, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- 81 Yi Hseung, Chemical weathering in relation to mineral content of soils, Madison: University of Wisconsin, 1951.
- 82 Faïza Bergaya, B. K. G. Theng, Gerhard Lagaly, Handbook of clay science, Amsterdam: Elsevier, 2006.
- 83 Gravel (en.wikipedia.org/wiki/Gravel)
- 84 en.wikipedia.org/wiki
- 85 *Loam* (en.wikipedia.org/wiki/Loam)
- 86 (en.wiktionary.org/wiki/gritty)
- 87 Kim H. Tan, Principles of Soil Chemistry, New York: CRC Press, 2010.
- 88 atmos.albany.edu
- 89 B. Pani, Textbook of Environmental Chemistry, New Delhi: International Pvt. Ltd., 2007.
- 90 gambar-video-unik.blogspot.com
- 91 Konrad Mengel, Ernest A. Kirkby, Harald Kosegarten, Principles of plant nutrition, Berlin: Springer, 2001.
- 92 Alex C. Wiedenhoeft, William G. Hopkins, Plant nutrition, New York: Infobase Publishing, 2006._
- 93 Ward Chesworth, Encyclopedia of soil science, Berlin: Springer, 2008.

- 94 chemistryland.com
- 95 Milo I. Harpstead, Thomas J. Sauer, William F. Bennett, Soil science simplified, Oxford: Wiley-Blackwell, 2001.
- 96 Bernhard Ulrich, Malcolm E. Sumner, Soil acidity, Michigan: Springer-Verlag, 1991.
- 97 Suzanne Slade, The Nitrogen Cycle, New York: Rosen Publishing Group. , 2007,
- 98 The greenhouse effect (en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect)