

Isu Lingkungan Global

Prof. Dr. Rukaesih Achmad, M.Si.



PENDAHULUAN

Masalah lingkungan yang kita hadapi dari tahun ke tahun semakin meningkat baik yang berasal dari pencemaran air maupun pencemaran udara. Hal ini bukan hanya disebabkan oleh kegiatan industrinya, tetapi juga oleh aktivitas manusia dalam rumah tangga.

Banyak orang kurang menyadari akan telah terjadinya pencemaran udara, padahal sekitar 15% kematian disebabkan pencemaran udara. Pencemaran udara di kota-kota besar seperti Jakarta telah cukup memprihatinkan. Jakarta sebagai kota metropolitan dibebani oleh kegiatan transportasi yang cukup padat yang memberi sumbangan bahan pencemar udara yang cukup signifikan, demikian halnya untuk kota-kota besar lainnya.

Pencemaran udara akibat gas buang kendaraan bermotor kurang disadari oleh masyarakat pada umumnya, padahal dampak dari pembakaran bahan bakar ini sungguh luar biasa dalam jangka panjang, seperti yang sedang dialami oleh penduduk seluruh dunia yaitu terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Di samping pemanasan global, terjadinya hujan asam (*acid rain*) dan penipisan lapisan ozon merupakan masalah lingkungan masa kini yang juga menjadi masalah global karena dapat terjadi di seluruh dunia.

Anda sebagai calon guru-guru kimia hendaknya memasukkan informasi dan konsep-konsep atau prinsip-prinsip yang menyangkut masalah lingkungan global ke dalam materi pembelajaran kimia baik untuk tingkat SMA maupun tingkat SMP.

Modul 1 dengan judul **Isu Lingkungan Global**, berisi perubahan tentang masalah-masalah lingkungan yang terjadi secara global akibat dari penggunaan bahan-bahan kimia dalam menunjang aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya.

Untuk memudahkan Anda dalam mempelajari Modul 1 ini maka modul ini dibagi menjadi:

Kegiatan Belajar 1 : membahas tentang Pemanasan Global.

Kegiatan Belajar 2 : membahas tentang Hujan Asam.

Kegiatan Belajar 3 : membahas tentang Penipisan Lapisan Ozon.

Setelah mempelajari Modul 1 ini, Anda diharapkan memiliki pengetahuan dan kemampuan untuk menjelaskan adanya masalah-masalah lingkungan sebagai akibat dari meningkatnya penggunaan bahan kimia yang terjadi pada saat ini dan mengancam kehidupan di dunia.

Kemampuan ini dapat dirinci menjadi kemampuan-kemampuan yang lebih operasional sehingga Anda diharapkan dapat:

1. menyebutkan beberapa masalah lingkungan global saat ini akibat dari penggunaan bahan-bahan kimia yang tidak terkendali;
2. mendeskripsikan akibat terjadinya pemanasan global, hujan asam dan penipisan lapisan ozon terhadap kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, serta lingkungan fisik;
3. menjelaskan efek rumah kaca yang menimbulkan terjadinya pemanasan global;
4. menuliskan reaksi kimia yang terjadi pada proses perusakan lapisan ozon;
5. menuliskan reaksi kimia yang terjadi pada proses pembentukan hujan asam;
6. menjelaskan usaha-usaha yang dapat dilakukan pemerintah dalam menanggulangi berbagai dampak dari terjadinya masalah-masalah lingkungan global;
7. memberikan contoh kegiatan-kegiatan yang dapat dilakukan individu/masyarakat dalam mengurangi terjadinya masalah lingkungan global.

Untuk dapat memahami materi Modul 1 ini dengan baik, Anda hendaknya mengerjakan latihan dan tes formatif kemudian mencocokkan hasilnya dengan kunci jawaban yang tersedia di bagian belakang modul ini. Selain itu, dianjurkan agar Anda membaca buku teks, brosur-brosur atau majalah-majalah yang berhubungan dengan materi ini, serta penelusuran melalui internet. Dengan demikian, wawasan Anda terhadap masalah-masalah lingkungan global semakin meningkat.

KEGIATAN BELAJAR 1**Pemanasan Global dan Efek Rumah Kaca**

Perubahan akhir akibat terjadinya pemanasan global sudah menjadi kosakata umum dalam percakapan masyarakat sehari-hari terutama di kalangan ilmuwan. Namun, fenomena ini masih belum dipahami secara tepat oleh masyarakat sehingga tidak jarang terjadi kesalahpahaman atau kesulitan dalam membedakan antara perubahan iklim dengan variasi iklim yang kadang-kadang terjadi dengan gejala yang agak ekstrem. Seperti yang sudah sering kita alami adanya musim kemarau atau musim penghujan yang sangat panjang.

Menghangatnya isu pemanasan global ini, mengingatkan timbulnya dampak yang sangat besar terhadap kehidupan di dunia yang diduga menjadi penyebab terjadinya perubahan iklim dunia dengan berbagai akibat yang ditimbulkannya. Pemanasan global suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan fosil dan kegiatan alih guna lahan. Kegiatan ini menghasilkan gas-gas yang semakin lama semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 ini yang menjadi biang keladi dari terjadinya pemanasan global melalui proses yang disebut efek rumah kaca.

A. EFEK RUMAH KACA

Pernahkah Anda mendengar istilah efek rumah kaca? Rumah kaca ini sudah lama dikenal dalam bidang pertanian, seperti pertanian sayuran, bunga-bunga. Tanaman tadi ditanam dalam suatu bangunan dengan semua dinding dan atapnya terbuat dari kaca. Biasanya di dalamnya dipasang alat pemanas bila diperlukan, dimaksudkan untuk menjaga agar suhu di dalam rumah kaca tetap dalam keadaan panas meskipun suhu di luar dingin. Dengan demikian, petani dapat menanam tanaman sepanjang tahun, baik pada musim panas maupun pada musim dingin.

Bagaimana halnya dengan efek rumah kaca?

Sebagian matahari yang dapat mencapai bumi yaitu radiasi dengan panjang gelombang panjang, yaitu sinar infra merah (14.000–24.000 mm) menembus masuk atap dan dinding rumah kaca. Di dalam rumah kaca sinar ini dipantulkan oleh benda-benda yang ada di rumah kaca, tetapi tertahan

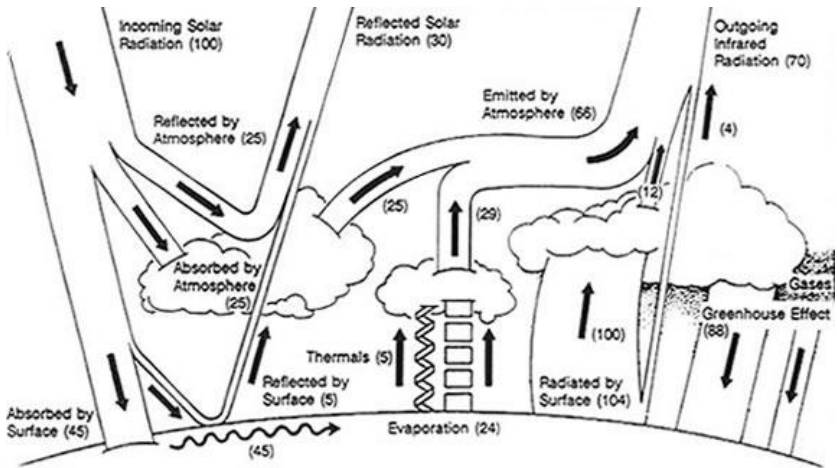
oleh atap atau dinding kaca. Oleh karena itu, udara di dalam rumah kaca suhunya meningkat, lebih tinggi dari pada suhu di luar rumah kaca. Meningkatnya suhu di dalam rumah kaca ini disebut efek rumah kaca (*green house effect*). Efek rumah kaca ini bisa juga terjadi di dalam ruangan rumah dengan jendela kaca lebar atau terkena sinar matahari atau di dalam mobil dengan jendela tertutup apabila diparkir di tempat yang panas.

Di alam terbuka, di atas permukaan bumi efek rumah kaca juga bisa terjadi, dapat diterangkan sebagai berikut. Energi matahari yang masuk ke bumi mengalami:

1. 25% dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer.
2. 25% diserap awan.
3. 45% diabsorpsi permukaan bumi.
4. 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi.

Energi yang diabsorpsi dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi infra merah oleh awan dan permukaan bumi. Namun, sebagian besar infra merah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan dan gas CO_2 dan gas-gas lainnya untuk dikembalikan ke permukaan bumi.

Dalam keadaan normal efek rumah kaca dibutuhkan. Dengan adanya efek rumah kaca perbedaan suhu antara siang dan malam di bumi tidak jauh berbeda, artinya pada waktu malam suhu rata-rata di permukaan bumi yang tidak terkena sinar matahari sangat rendah apabila tidak terjadi efek rumah kaca. Di bawah ini bagan yang memperlihatkan proses terjadinya efek rumah kaca.



Sumber: Schneider, S., (1989).

Gambar 1.1.
Panas yang Terperangkap di Atmosfer
Membutuhkan Keseimbangan Energi di Bumi

Selain gas CO_2 , yang dapat menimbulkan efek rumah kaca sesuai dengan kesepakatan *Protokol Kyoto* adalah sebagai berikut.

1. gas Metana (CH_4).
2. gas Nitrooksida (N_2O).
3. gas Perfluorocarbon (PFC).
4. gas Hidrofluorocarbon (HFC).
5. gas Sulfurheksafluorida (SF_6).

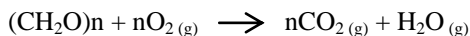
Gas-gas tersebut memegang peranan penting dalam meningkatkan efek rumah kaca dan disebut **gas rumah kaca**. Dalam tabel di bawah ini tampak kontribusi gas-gas tersebut pada efek rumah kaca yang akhirnya akan menimbulkan kontribusi terhadap terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Tabel 1.1.
Kontribusi Gas Rumah Kaca terhadap Pemanasan Global

Gas Rumah Kaca	Kontribusi pada pemanasan global	Sumber emisi
CO ₂	61 %	Pembakaran bahan bakar fosil dan penebangan hutan
CH ₄	15 %	Aktivitas biologis dan dekomposisi landfills
N ₂ O	4 %	Pupuk, pembakaran bahan bakar fosil
CFC	12 %	Aerosol propelan, pendingin dan aktivitas industri
O ₃ dan gas-gas lainnya	8 %	Reaksi-reaksi kimia dari pembakaran

Sumber: Scott J. Callan and J. M. Thomas, (2000).

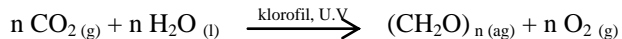
Dari Tabel 1.1 tampak bahwa gas CO₂ merupakan penyumbang terbesar bagi terjadinya efek rumah kaca. Sebetulnya udara kita hanya mengandung sekitar 0,03 % gas CO₂, namun banyak hal yang menyebabkan kadar gas CO₂ meningkat. Pembakaran bahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk berbagai kegiatan, seperti transportasi, industri, dan kegiatan dalam rumah tangga dengan meningkatnya populasi penduduk dunia akan menghasilkan gas CO₂ meningkat pula. Juga kebakaran hutan secara alamiah dan pembakaran hutan yang dilakukan untuk pembukaan lahan pertanian/perkebunan juga menghasilkan gas CO₂ yang cukup banyak karena semua perubahan senyawa organik akan menghasilkan gas CO₂, seperti reaksi berikut:



Di samping itu, pengolahan sampah dengan dibakar, yang banyak dilakukan masyarakat akan memberikan kontribusi terhadap peningkatan gas CO₂ di atmosfer.

Dapatkah Anda menyebutkan kegiatan-kegiatan manusia lainnya yang dapat menaikkan efek rumah kaca?

Sebetulnya, gas CO₂ di atmosfer ini akan diserap oleh tumbuhan berhijau daun melalui proses fotosintesis, namun jumlah CO₂ yang tersedia dengan yang digunakan oleh tumbuhan di muka bumi sudah tidak seimbang lagi.



Semakin banyak gas CO₂ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer, semakin banyak pula radiasi infra merah yang diserap maka semakin tinggi intensitas rumah kaca dan akibatnya suhu di permukaan bumi semakin tinggi pula.

B. PEMANASAN GLOBAL

Apakah Anda sudah merasakan suhu udara saat ini semakin panas? Apakah Anda telah mengamati sekarang ini pergantian musim yang tidak bisa diprediksi lagi? Apakah Anda mengalami atau mengetahui bahwa bencana alam akibat angin puting beliung sering terjadi? Pertanyaan-pertanyaan tersebut hanya sebagian dari dampak yang diakibatkan oleh terjadinya *Pemanasan Global (Global Warming)*, kalau demikian apa itu pemanasan global, apa penyebabnya dan apa dampaknya?

Pemanasan global sesungguhnya merupakan gejala naiknya suhu di seluruh permukaan bumi yang terjadi di seluruh dunia yang diduga disebabkan oleh naiknya intensitas efek rumah kaca. Dalam agenda *Rio Summit 1992*, isu meningkatnya efek rumah kaca sebagai penyebab dari terjadinya pemanasan global masih terus diperdebatkan. Pada tahun 1997, masyarakat dunia melanjutkan fenomena tersebut yang dikenal dengan *Protokol Kyoto*, yaitu Konvensi Perubahan Iklim. *Protokol Kyoto* adalah sebuah instrumen hukum (*legal instrument*) yang dirancang untuk mengimplementasikan Konvensi Perubahan Iklim yang bertujuan untuk menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca agar tidak mengganggu sistem iklim di bumi.

Efektivitas Protokol Kyoto yang mensyaratkan agar diratifikasi oleh paling sedikit 55 negara menunjukkan bahwa protokol ini memerlukan partisipasi banyak negara, termasuk negara-negara berkembang. Konvensi

mensyaratkan agar negara-negara maju sebagai pengemisi utama gas rumah kaca harus menurunkan 55% emisinya.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa terdapat hampir 20 jenis gas yang berkontribusi dalam peningkatan suhu di bumi dan gas CO₂ merupakan penyebab utamanya. Suatu studi yang dilakukan *National Academy of Science* tahun 1979 meramalkan bila konsentrasi gas CO₂ meningkat dua kali di atmosfer akan menyebabkan kenaikan suhu bumi antara 1,5 sampai 4,5 derajat Celcius. Di bawah ini tabel yang memperlihatkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca.

Tabel 1.2.
Dinamika Peningkatan Konsentrasi Gas Rumah Kaca

Gas	Konsentrasi di Atmosfer		Proyeksi Konsentrasi Abad 21
	Pre-1850	1987	
CO ₂	275,00 ppmv	378,00 ppmv	400,00-550,00 ppmv
CH ₄	0,7 ppmv	1,70 ppmv	1,80 ppmv-3,20 ppmv
Xl ₂ O	2,29 ppmv	0,34 ppmv	0,35 ppmv-0,40 ppmv
CFC-11	0	0,22 ppbv	0,20 ppbv-0,60 ppbv
CFC-12	0	0,39 ppbv	0,50 ppbv-1,10 ppbv
O ₃	0-25% dari konsentrasi sekarang	10,00-100,00ppbv	15%-15% lebih tinggi dari konsentrasi sekarang

Keterangan: ppmv = parts per million volume, 1 ppmv = 0,0001% dari udara

ppbv = parts per billion volume, 1 ppbv = 0,0001 1 ppmv

Sumber: Scott J. Callan & Janet M. Thomas, (2000).

Dari tabel tersebut tampak dinamika peningkatan gas CO₂ di udara cukup cepat di samping konsentrasinya cukup tinggi dibandingkan gas-gas rumah kaca lainnya.

Berdasarkan Tabel 1.2 dan uraian sebelumnya dapatkan Anda memprediksi berapa derajat kira-kira peningkatan suhu bumi pada saat ini.

C. DAMPAK PEMANASAN GLOBAL

Bacalah artikel dari Suara Pembaruan, 17 Juni 2007 di bawah ini:

Diperkirakan sekitar 2.000 pulau akan tenggelam pada tahun 2030 - 2050 karena pemanasan global.

Istilah pemanasan global, mungkin masih asing bagi masyarakat yang jauh dari pusat informasi. Namun, mau tidak mau masyarakat harus mengenal dan mengetahui tentang pemanasan global, mengapa? Karena dampak yang ditimbulkan sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia.

Apabila para peneliti dan ilmuwan mengungkapkan secara gamblang tentang pemanasan global maka kita akan mengetahui begitu dahsyatnya efek pemanasan global dalam jangka panjang. Mungkin Indonesia akan kehilangan beberapa pulau atau bahkan kemungkinan Indonesia akan tenggelam. Kita tahu bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan. Dengan naiknya permukaan air laut karena dampak pemanasan global maka satu persatu pulau di Indonesia akan tenggelam. Dari hasil pendataan Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP), selama dua tahun terakhir ini ada 24 pulau yang tenggelam karena penggalian pasir, abrasi dan perubahan alam. Diperkirakan sekitar 2000 pulau akan tenggelam pada tahun 2030-2050 karena pemanasan global.

(Dikutip dari: Gatut Susanta & Hari Sutjahyo, 2007)

Bagaimana perasaan Anda setelah membaca artikel tersebut? Sungguh mengerikan.

Pemanasan global merupakan isu lingkungan hidup yang mengakibatkan perubahan iklim global yang mengerikan, mulai populer setelah PBB membentuk IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) pada tahun 1988. IPCC adalah sebuah panel ilmiah yang terdiri dari para ahli klimatologi untuk mengkaji perubahan iklim, walau perubahan iklim akan berdampak jangka panjang antara 50–100 tahun.

Dengan menggunakan model komputer dari temperatur dan sirkulasi atmosfer untuk mempelajari pemanasan global, pada saat ini telah mendapatkan beberapa perkiraan mengenai dampak pemanasan global. Dampak tersebut, antara lain berikut ini.

1. Pengaruh terhadap cuaca.
2. Kenaikan permukaan laut.
3. Pengaruh terhadap pertanian.
4. Pengaruh terhadap hewan dan tumbuhan.
5. Pengaruh terhadap kesehatan manusia.

1. Pengaruh terhadap Cuaca

Terjadinya pemanasan wilayah bagian utara bumi (kutub utara) akan mengakibatkan, antara lain berikut ini.

- a. Gunung-gunung es akan mencair.

- b. Daratan akan menyempit.
- c. Akan lebih sedikit es yang akan mengapung di perairan utara.
- d. Temperatur pada musim dingin dan malam hari akan cenderung meningkat.
- e. Daerah tropis akan menjadi lebih lembab karena lebih banyak air yang menguap dari lautan.

Kelembaban yang tinggi di daerah tropis selanjutnya akan berdampak pada peningkatan curah hujan, badai akan lebih sering terjadi, air tanah akan lebih cepat menguap, terjadinya badai topan akan menjadi lebih besar, pada cuaca lebih ekstrem sukar di prediksi.



Sumber: <http://www.tabloidkampus.com>

Gambar 1.2.
Es di Kutub Utara mulai Mencair

2. Kenaikan Permukaan Laut

Ketika temperatur atmosfer naik karena terjadinya pemanasan global, lapisan permukaan lautan juga akan naik sehingga volumenya bertambah dan menambah tinggi permukaan laut. Kenaikan permukaan air laut ini 30% berasal dari pencairan es di daerah kutub dan sisanya berasal dari pemuaiian air akibat peningkatan temperatur. Selama abad ke-20 tinggi permukaan air laut di seluruh dunia telah naik antara 10–25 cm. Apabila separuh dari es di Greenland dan Antartika mencair maka diprediksi akan terjadi kenaikan permukaan air laut di dunia rata-rata setinggi 6–7 m. Perubahan permukaan

air laut ini akan mempengaruhi kehidupan di wilayah pantai, seperti (a) apabila kenaikan sampai 100 cm maka akan menenggelamkan 6% daerah di Belanda dan 17,5% di Bangladesh; (b) apabila kenaikan air laut mencapai muara sungai, banjir akibat air pasang akan meningkat; (c) dengan kenaikan air laut sedikit saja pengaruhnya akan cepat terlihat pada ekosistem pantai, rawa-rawa yang telah ada akan tenggelam.

3. Pengaruh terhadap Pertanian

Pengaruh pemanasan global untuk beberapa tempat tidak sama. Misalnya, ada negara yang mendapat keuntungan dengan terjadinya curah hujan yang cukup tinggi dan lebih lamanya masa tanam sebaliknya adanya pencairan es di daerah kutub akan merugikan masyarakat pertanian di sebelum masa tanam daerah gurun.

Untuk Indonesia pengaruh dari pemanasan global ini mengakibatkan perubahan iklim terhadap ketahanan pangan, antara lain (a) menurunkan produktivitas pertanian khususnya pada wilayah pantai; (b) terjadinya iklim ekstrem yang meningkat menyebabkan sektor pertanian akan kehilangan produksinya karena bencana kering dan banjir yang silih berganti yang mengakibatkan terjadinya kekacauan pangan.

4. Pengaruh terhadap Hewan dan Tumbuhan

Hewan dan tumbuhan tidak terkecuali mengalami dampak pemanasan global. Dengan terjadinya pemanasan global, hewan-hewan akan berpindah mencari tempat yang lebih dingin, sedangkan tumbuhan karena tidak dapat bergerak sendiri akan menyesuaikan dengan iklim yang sudah berubah, tetapi tumbuhan yang tidak dapat menyesuaikan diri akan punah.

5. Pengaruh terhadap Kesehatan Manusia

Terjadinya perubahan iklim memberikan dampak terhadap kesehatan manusia, antara lain (a) mempengaruhi kesehatan tubuh akibat penyakit tular vektor, seperti demam berdarah dan malaria mengingat kehidupan vektor kedua penyakit tersebut dipengaruhi oleh curah hujan/jumlah hari hujan dan peningkatan temperatur udara; (b) terkena penyakit pernapasan karena udara yang lebih panas memperbanyak polutan, *spora mold* dan tepung sari dari tumbuhan; (c) mengakibatkan penyakit-penyakit tropis lainnya, seperti demam kuning.



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan yang dimaksud efek rumah kaca yang terjadi di permukaan bumi!
- 2) Berikan deskripsi keuntungan dan kerugian dari efek rumah kaca!
- 3) Kegiatan manusia apa saja yang terutama dapat menyebabkan pemanasan global!
- 4) Jelaskan bagaimana peningkatan suhu dapat menyebabkan suhu bumi menjadi lebih dingin!
- 5) Berikan contoh beberapa kegiatan yang Anda lakukan untuk mengurangi terjadinya pemanasan global!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Efek rumah kaca yang terjadi di permukaan bumi adalah proses tertahannya/terserapnya sinar infra merah dari matahari yang dipantulkan kembali oleh bumi oleh gas rumah kaca yang terdapat di lapisan atmosfer.
- 2) Efek rumah kaca bermanfaat dalam menjaga perbedaan suhu antara siang dan malam di bumi tidak jauh berbeda, tetapi apabila intensitas efek rumah kaca cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global dengan berbagai dampak terhadap kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.
- 3) Penggunaan bahan bakar fosil untuk kegiatan transportasi, industri, dan rumah tangga.
- 4) Akibat meningkatnya suhu bumi penguapan air akan meningkat sehingga pembentukan awan semakin banyak. Awan ini akan memantulkan sinar matahari, intensitas sinar matahari yang sampai ke bumi berkurang sehingga suhu bumi semakin dingin.
- 5) Anda bisa mengidentifikasi kegiatan-kegiatan apa saja yang dapat Anda lakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar bensin.



Atmosfer bumi tidak pernah terbebas dari perubahan komposisi, suhu dan kemampuan membersihkan diri selalu bervariasi sejak bumi terbentuk. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk yang disertai meningkatnya kegiatan manusia terutama dalam bidang transportasi, para pakar dunia memprediksi akan terjadi kenaikan suhu di seluruh permukaan bumi yang dikenal dengan pemanasan global.

Pemanasan global tidak terjadi seketika, tetapi berangsur-angsur. Namun, dampaknya sudah kita rasakan di sini sekarang. Fenomena ini dipicu oleh meningkatnya gas karbon dioksida (CO_2) penyebab utama efek rumah kaca yang memicu terjadinya pemanasan global. Ketika revolusi industri baru dimulai sekitar tahun 1850, konsentrasi CO_2 di atmosfer baru 290 ppmv dan saat ini telah mencapai sekitar 350 ppmv. Jika pola konsumsi BBM dan gaya hidup berubah, 100 tahun yang akan datang konsentrasi CO_2 diperkirakan akan menjadi dua kali lipat dari zaman pra-industri. Akibatnya suhu bumi akan meningkat hingga $4,5^\circ\text{C}$.

Pemanasan global memberikan dampak terhadap kenaikan permukaan laut, mempengaruhi pertumbuhan hewan dan tumbuhan, memberikan pengaruh terhadap pertanian serta kesehatan manusia. Pemanasan global tidak dapat ditanggulangi oleh masyarakat satu negara saja tapi oleh masyarakat dunia. Hal ini telah dilakukan melalui Protokol Kyoto yang diawali pada bulan Desember 1997. Salah satu isu utama dari Protokol Kyoto adalah mekanisme untuk memenuhi komitmen dalam mencapai target penurunan emisi oleh negara-negara kontributor gas CO_2 yang cukup tinggi.

**TES FORMATIF 1**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Efek rumah kaca terjadi apabila
 - A. sinar ultraviolet dipantulkan kembali oleh bumi
 - B. sinar infra merah dipantulkan kembali ke angkasa luar
 - C. sinar ultraviolet tertahan oleh gas rumah kaca
 - D. sinar infra merah yang dipantulkan bumi tertahan oleh gas rumah kaca

- 2) Gas rumah kaca yang memberikan kontribusi paling besar terhadap pemanasan global

- A. gas metana
 - B. gas karbon dioksida
 - C. gas nitro oksida
 - D. hidrogen fluorida
- 3) Di samping merugikan adanya efek rumah kaca bermanfaat
- A. menghasilkan ozon
 - B. mematikan plasma nutfah
 - C. menyerap gas CO₂
 - D. menjaga keseimbangan suhu di permukaan bumi antara siang dan malam
- 4) Meningkatnya gas CO₂ di lapisan atmosfer disebabkan hal-hal berikut, *kecuali*
- A. pembakaran bahan bakar fosil
 - B. pembakaran sampah organik
 - C. pernapasan makhluk hidup
 - D. fotosintesis tumbuhan berhijau daun
- 5) Petani menanam sayuran/buah-buahan dalam rumah kaca dimaksudkan untuk agar
- A. tidak kena hujan
 - B. tidak kena panas
 - C. tidak kena hama
 - D. tanaman dapat dipelihara sepanjang tahun
- 6) Di bawah ini senyawa yang termasuk gas rumah kaca
- A. hidrogen chlorida
 - B. chloro fluoro carbon
 - C. metil chlorida
 - D. dichloro difenil trichloroetana
- 7) Pernyataan yang tidak benar mengenai gas makanan di bawah ini
- A. gas metana termasuk gas rumah kaca
 - B. gas metana dapat digunakan sebagai bahan bakar
 - C. gas metana dihasilkan dari biogas
 - D. gas metana untuk pemadam kebakaran
- 8) Peningkatan efek rumah kaca dapat terjadi
- A. dengan reboisasi
 - B. mengalihkan fungsi hutan

- C. menghemat bahan bakar fosil
 - D. menerapkan disiplin lalu-lintas
- 9) Dampak negatif pemanasan global sebagai berikut, *kecuali*
- A. meningkatnya demam berdarah
 - B. punahnya beberapa spesies tumbuhan
 - C. mencairnya es di kutub
 - D. surutnya air laut
- 10) Protokol Kyoto dimaksudkan untuk
- A. mengatur perlindungan satwa langka
 - B. mengatur perlindungan terumbu karang
 - C. mengatur penggunaan emisi gas karbon dioksida
 - D. mengatur penggunaan gas freon

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

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

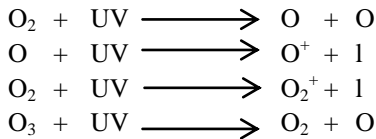
KEGIATAN BELAJAR 2

Penipisan Lapisan Ozon

Kegiatan belajar 2 ini akan membahas terjadinya proses penipisan lapisan ozon serta dampaknya terhadap ekosistem terutama kehidupan manusia.

A. LAPISAN OZON

Ozon adalah suatu bentuk oksigen dengan tiga atom (O_3). Secara alamiah ozon tersebar dalam stratosfer membentuk lapisan yang tebalnya kurang lebih 35 km. Di lapisan stratosfer oksigen yang merupakan gas penyusun atmosfer selain dalam bentuk molekul O_2 juga atom O, ion positif O^+ , radikal O° dan radikal O_2° . Hal ini disebabkan terjadinya reaksi fotokimia oleh sinar ultraviolet yang berasal dari matahari sampai ke lapisan atmosfer.



Dari reaksi tersebut, ozon (O_3) yang terdapat dalam lapisan stratosfer akan di rusak oleh sinar ultraviolet.

Konsentrasi ozon di lapisan stratosfer bervariasi menurut ketinggian. Lapisan ozon yang tipis ini apabila dibandingkan dengan tebalnya seluruh atmosfer bumi cukup efisien dalam menyaring semua sinar ultraviolet matahari yang berbahaya bagi makhluk hidup di bumi. Oleh karena itu, ozon penting sekali bagi kehidupan di muka bumi dari bahaya sengatan ultraviolet.

Semakin pendek panjang gelombang radiasi ultraviolet semakin besar pula bahayanya terhadap kehidupan, tetapi semakin baik ia diabsorpsi oleh lapisan ozon. Radiasi dengan panjang gelombang pendek ini dikenal sebagai ultraviolet-C (UV-C) yang dapat mematikan makhluk hidup. Ultraviolet dengan panjang gelombang lebih panjang, yaitu UV-A relatif kurang berbahaya dan lainnya, yaitu UV-B meskipun masih tetap berbahaya, tetapi tidak seberat UV-C bahayanya.

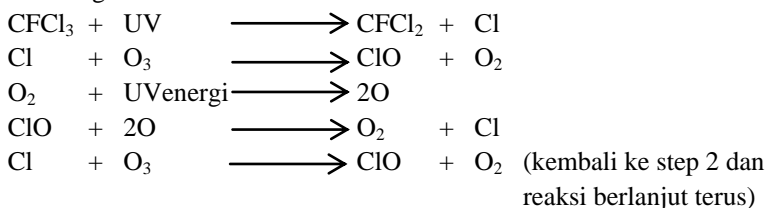
B. PENIPISAN LAPISAN OZON DAN PENYEBABNYA

Lebih dari setengah abad lamanya telah dirasakan adanya kerusakan lapisan ozon sehingga terjadi penipisan lapisan di stratosfer. Hal ini teramati pada setiap musim semi di wilayah selatan bumi, sebuah lubang terbuka pada lapisan bagian atas ozon. Pada ketinggian 15–20 km di atas Antartika, 95% lapisan ozon telah lenyap. Lubang ini bertambah besar sejak tahun 1979 dan sepuluh tahun kemudian semakin besar pula.

Penipisan lapisan ozon ini juga telah dibuktikan oleh data satelit cuaca Nimbus 7 milik NASA dan terdapat banyak bukti yang menyatakan bahwa penipisan lapisan ozon telah terjadi di seluruh dunia. Belum lama hasil penelitian menemukan bahwa gas CFC (chlorofluorocarbon) yang bertanggung jawab atas terjadinya lubang di lapisan ozon.

CFC merupakan gas yang berwarna biru tua, stabil, tidak mudah terbakar, mudah disimpan, dan murah harganya. Oleh karena sifat-sifat itulah penggunaan CFC meluas di mana-mana. CFC pertama kali digunakan pada lemari es, kemudian digunakan sebagai pendorong aerosol dalam kaleng atau botol penyemprot, juga digunakan untuk membersihkan sirkuit komputer yang halus.

Sifat stabil dari CFC yang sangat bermanfaat di bumi ini memberi peluang baginya untuk merusak lapisan ozon. CFC yang terdifusi ke stratosfer akan mengalami pemutusan ikatan kimianya oleh radiasi UV-C menghasilkan klor-klor bebas yang sangat reaktif, kemudian mengikat sebuah atom oksigen biasa (O_2). Berikut ini reaksi perubahan ozon menjadi makhluk oksigen:



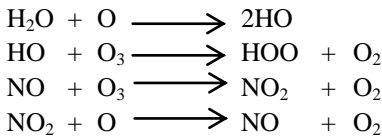
Senyawa lainnya yang sekerabat dengan CFC adalah halon dan ternyata lebih merusak lapisan ozon. Halon yang digunakan sebagai pemadam kebakaran ternyata merusak ozon sepuluh kali lebih efektif dari CFC. Beberapa senyawa CFC ini sangat membahayakan karena berumur panjang. Di bawah ini tabel yang berisi rata-rata umur dari beberapa senyawa CFC dan halon.

Tabel 1.3.
Jenis dan Rata-rata Umur CFC di Atmosfer

Jenis CFC	Rata-rata Umur di Atmosfer
CFC – 11 (CFCl ₃)	17 tahun
CFC – 12 (CF ₂ Cl ₂)	111 tahun
CFC – 13	90 tahun
Halon – 1301	110 tahun

Sumber : Manahan, (1994).

Beberapa senyawa kimia lainnya yang berperan dalam merusak lapisan ozon adalah CCl₄ (karbon tetraklorida), CHCl₃ (metil kloroform). Selain itu, NO₂ (nitrogen dioksida) dan uap air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pesawat supersonik dapat juga merusak lapisan ozon. Perusakan disebabkan terjadinya reaksi sebagai berikut:



C. DAMPAK BOLONGNYA LAPISAN OZON

Radiasi ultraviolet sangat berbahaya karena dapat merusak sel hidup dengan berbagai efek yang ditimbulkannya. Radiasi UV-B yang dapat menembus lapisan ozon dapat merusak materi genetik DNA dan penyebab utama kanker kulit. Selain menimbulkan kanker kulit, radiasi ultraviolet juga melemahkan kemampuan tubuh untuk mengatasinya dengan jalan menekan efisiensi sistem kekebalan sehingga memudahkan kanker menyebar luas. Untuk setiap penipisan 1% lapisan ozon diperkirakan sebanyak 2% radiasi ultraviolet sampai di permukaan bumi dan akan menyebabkan peningkatan terjadinya kanker kulit 2% sampai 5%. Selain itu, diketahui pula bahwa peningkatan kadar gas CO₂ di atmosfer dapat menyebabkan reaksi pembentukan ozon di stratosfer menurun, hal ini dapat menyebabkan kerusakan ozon tidak teratasi.

Radiasi ultraviolet dapat juga menyebabkan penyakit katarak mata. Sekitar 12–15 juta orang di seluruh dunia menderita kebutaan akibat katarak dan 18–30 juta lainnya mengalami gangguan penglihatan dan diperkirakan semakin lama jumlahnya akan semakin meningkat bila kerusakan lapisan ozon tidak cepat ditanggulangi.

Rusaknya lapisan ozon berpengaruh pada bentuk kehidupan lainnya. Dari 300 jenis tanaman pertanian dan spesies tumbuhan lain lebih dari setengahnya sangat peka terhadap ultraviolet, seperti kacang, melon, kubis. Peningkatan radiasi UV-B dapat menurunkan kualitas tomat, kentang, kubis dan kedelai serta menurunkan produksi pertanian dan kehutanan.

Radiasi UV-B juga dapat menimbulkan kerusakan sampai 20 meter di bawah permukaan air yang jernih, terutama berbahaya bagi plankton, benih ikan, udang, dan kepiting, serta tumbuhan yang memegang peranan penting dalam rantai makanan di laut.

D. PENANGGULANGAN KERUSAKAN LAPISAN OZON

Termasuk dalam salah satu pencemaran lingkungan global, penipisan lapisan ozon tidak dapat ditanggulangi tanpa kerja sama internasional. Upaya perlindungan terhadap lapisan ozon dilakukan melalui *Konvensi Wina* pada tahun 1985 dan tahun 1987 Amerika Serikat melarang penggunaan CFC yang digunakan pada aerosol. Dua tahun kemudian sejumlah peraturan selesai disusun dalam *Protokol Montreal* dan diberlakukan mulai Januari 1989. Protokol ini diratifikasi 36 negara yang menjadi 80% konsumen CFC dunia, mengusulkan agar diturunkan produksi dan penggunaan lima bahan CFC dan tiga jenis halon secara bertahap sampai tuntas tahun 2005.

Indonesia, meskipun agak terlambat juga meratifikasi *Konvensi Wina* dan *Protokol Montreal* pada tahun 1992. Indonesia sepakat menghentikan pembuatan dan penggunaan bahan perusak ozon tersebut dan di awal tahun 1997 telah dilakukan larangan impor CFC. Sebagai penggantinya adalah Hidroklorofluorokarbon (HCFC) yang mendapat subsidi dari pemerintah dalam bentuk bea masuk yang lebih kecil.

Dengan berlakunya ketentuan tersebut, Indonesia akan mengeluarkan sanksi bagi importir produk yang mengandung zat perusak lapisan ozon (*Ozon Depletion Substances/ODS*), antara lain dengan jalan mengembalikan produk impor tersebut ke negara asal. Badan Perlindungan Lingkungan Dunia mengemukakan apabila Indonesia tidak melakukan hal tersebut diperkirakan penggunaan ODS akan meningkat dan pada tahun 2010 sudah hampir 4 kali lipat dari penggunaan tahun 1998.



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan mengapa lapisan ozon yang ada di lapisan stratosfer penting bagi kehidupan di bumi!
- 2) Deskripsikan proses perusakan ozon oleh ODS!
- 3) Tuliskan beberapa sifat yang menyebabkan senyawa klorofluorokarbon termasuk ODS!
- 4) Ada berapa jenis sinar ultraviolet yang sampai ke lapisan atmosfer dan sebutkan jenis ultraviolet yang mana yang paling berbahaya bagi kehidupan manusia!
- 5) Jelaskan dampak dari penipisan lapisan ozon bagi kesehatan tubuh!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Anda pahami dulu pengaruh dari sinar ultraviolet apabila sampai ke permukaan bumi terhadap tubuh manusia.
- 2) ODS singkatan dari Ozon Depletion Substances, seperti CFC (Chlorofluorocarbon), jadi tuliskan bagaimana mekanisme reaksi antara CFC dengan ozon.
- 3) Untuk menjawab pertanyaan ini lihat halaman 1.19
- 4) Tiga jenis sinar ultraviolet, yaitu UV-A, UV-B, dan UV-C. Yang paling berbahaya adalah UV-C.
- 5) Dengan adanya penipisan lapisan ozon, sinar ultraviolet bisa sampai ke permukaan bumi. Dampak dari ultraviolet bagi kesehatan, antara lain kanker kulit, kebutaan mata karena katarak, kekebalan tubuh menurun.



RANGKUMAN

Ozon (O_3) merupakan senyawa oksigen berbentuk gas yang banyak terdapat dalam atmosfer, tepatnya di lapisan stratosfer. Berdasarkan sifatnya yang dapat menyerap sinar ultraviolet dari matahari, lapisan ozon sangat penting bagi seluruh kehidupan di bumi.

Lapisan ozon terjadi secara alamiah melalui reaksi fotokimia dari gas oksigen, namun melalui reaksi fotokimia pula ozon dapat terurai

kembali menjadi gas oksigen (O_2) dan atom oksigen (O), terutama dengan adanya senyawa-senyawa khlor, seperti $CFCl_3$, CF_2Cl_2 , halon serta gas nitrogen yang dihasilkan oleh pesawat supersonik dan pesawat concord. Sampai saat ini kerusakan lapisan ozon oleh penggunaan gas-gas tersebut sudah semakin luas. Dengan demikian, sinar ultraviolet akan semakin banyak yang sampai ke bumi dengan berbagai dampak yang ditimbulkannya.

Upaya perlindungan terhadap lapisan ozon sudah lama dilakukan melalui “Konvensi Wina” pada tahun 1985 yang disusun dengan “Protokol Montreal” yang berisi sejumlah peraturan dalam melarang pemakaian gas CFC pada aerosol yang diberlakukan pada tahun 1989. Protokol ini diratifikasi 36 negara di dunia mencakup 80% konsumen CFC dunia, mengusulkan agar diturunkan produksi dan penggunaan 5 bahan kimia CFC dan 3 jenis halon secara bertahap sampai tuntas tahun 2005.

Indonesia meskipun terlambat juga meratifikasi Konvensi Wina dan Protokol Montreal pada tahun 1992. Indonesia sepakat untuk menghentikan pembuatan dan penggunaan bahan perusak ozon tersebut dan di awal tahun 1997 telah dilakukan larangan impor CFC. Dengan berlakunya ketentuan tersebut, Indonesia akan mengeluarkan sanksi bagi importir produk yang mengandung zat perusak lapisan ozon (*Ozon Depletion Substances* = ODS), antara lain dengan jalan mengembalikan produk impor tersebut ke negara asal.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Ozon adalah senyawa oksigen yang mempunyai rumus
 - A. O
 - B. O_2
 - C. O^{\sim}
 - D. O_3

- 2) Lapisan ozon terdapat pada lapisan
 - A. troposfer
 - B. termosfer
 - C. stratosfer
 - D. ionosfer

- 3) Terbentuknya ozon dalam atmosfer melalui reaksi
- vitokimia
 - fotokimia
 - vitrokimia
 - nuclear
- 4) Perusakan lapisan ozon disebabkan oleh senyawa-senyawa khlor karena di atas senyawa khlor melepaskan
- Cl^-
 - OH^-
 - C_2H_2^-
 - H^-
- 5) Termasuk ODS adalah zat-zat berikut, *kecuali*
- CFCl
 - CFCl_3
 - CF_2Cl_2
 - CCl_4
- 6) Reaksi yang terjadi pada penguraian ozon (perusakan lapisan ozon) menggunakan energi
- panas matahari
 - sinar ultraviolet
 - sinar infra merah
 - sinar tampak
- 7) Lapisan ozon sangat berguna bagi kehidupan di bumi karena dapat menyaring sinar
- infra merah
 - ultraviolet
 - ultra merah
 - infra violet
- 8) Halon adalah salah satu perusak lapisan ozon yang digunakan sebagai bahan
- pendingin ruangan
 - pendingin lemari es
 - pemadam kebakaran
 - bahan bakar

- 9) Dari berbagai senyawa CFC yang mempunyai umur panjang berada di atmosfer adalah
- A. CFCl_3
 - B. CF_2Cl_2
 - C. CCl_4
 - D. halon
- 10) Upaya perlindungan terhadap lapisan ozon diawali melalui
- A. Konvensi Wina
 - B. Protokol Kyoto
 - C. Protokol Montreal
 - D. Konferensi Jenewa

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

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

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

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

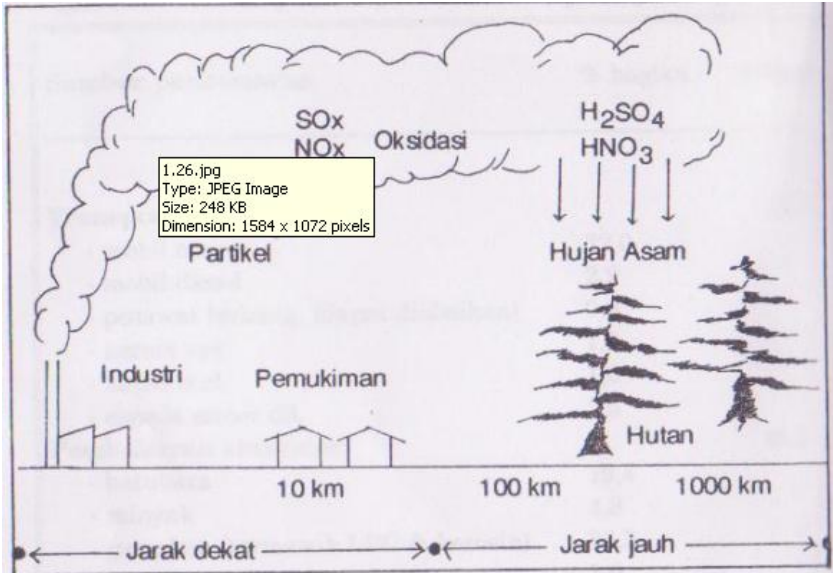
Hujan Asam (*Acid Rain*)

☉ Dalam Kegiatan Belajar 3 ini akan dibahas pengertian dari hujan asam (*acid rain*), apa penyebabnya, serta apa dampaknya bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

A. HUJAN ASAM: PENGERTIAN DAN PROSES TERJADINYA

Pandangan bahwa pencemaran udara semata-mata merupakan masalah urban saat ini mulai kembali, dengan adanya fakta hujan yang bersifat asam turun di daerah pedesaan, perkebunan dan wilayah hutan. Hujan asam merupakan karakteristik dari polusi regional. Hal ini disebabkan atmosfer dapat mengangkat berbagai zat pencemar ratusan kilometer jauhnya sebelum menjatuhkannya ke permukaan bumi. Zat-zat kimia yang merupakan senyawa asam, seperti asam nitrat (HNO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4) bercampur dengan partikel-partikel udara lainnya yang kemudian jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk deposisi kering dan deposisi basah.

Deposisi kering terjadi apabila partikel-partikel asam yang ada di udara mengenai langsung benda-benda atau makhluk hidup yang ada di permukaan bumi, ini biasanya terjadi di daerah perkotaan yang kondisi lalu lintasnya cukup padat dan banyak industri, sedangkan deposisi basah terjadi bila partikel-partikel asam ini kemudian turun bersama-sama dengan air hujan. Deposisi basah inilah yang lebih tepat disebut hujan asam. Dalam Gambar 1.3 tampak proses terjadinya hujan asam yang menunjukkan bahwa hujan asam merupakan fenomena pencemaran regional. Artinya, terjadinya pencemaran tidak berada hanya di daerah sumber pencemar, tetapi bisa terjadi di wilayah yang cukup jauh sampai ribuan kilometer.

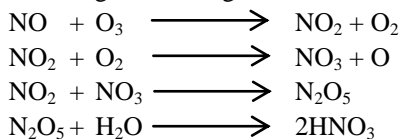


Sumber: Wisnu Arya Wardana, 2001

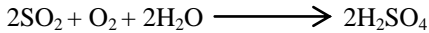
Gambar 1.3.
Proses Terjadinya Hujan Asam

Dari gambar di atas sumber pencemar adalah industri maka terjadi deposisi kering di daerah pemukiman yang berjarak dekat dan terjadi deposisi basah (hujan asam) yang berjarak jauh dengan sumber pencemar.

Terjadinya hujan asam, terutama disebabkan oleh pencemaran udara baik yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam dalam kegiatan industri dan transportasi dengan kendaraan bermotor, yaitu gas-gas oksidanitrogen (NO dan NO_2), serta oksida belerang (SO_2 atau SO_3). Gas-gas ini juga dihasilkan dari letusan gunung berapi. Gas-gas pencemar ini masuk ke atmosfer terendah yaitu di lapisan troposfer yang kemudian mengalami reaksi fotokimia dan selanjutnya bereaksi dengan air sebagai berikut:



Untuk gas SO₂ akan membentuk H₂SO₄ melalui reaksi sebagai berikut:



Dari kedua jenis oksida tersebut, sulfur oksida yang cukup signifikan penyebab terjadinya hujan asam. Di bawah ini Tabel 1.4 yang berisi gas-gas penyebab hujan asam dan sumbernya serta dampaknya terhadap lingkungan.

Tabel 1.4.
Sumber Antropogenik Gas Penyebab Hujan Asam

Gas Penyebab Hujan Asam	Sumber Antropogenik	Dampak Utama
SO ₂	Pembakaran bahan bakar fosil terutama dari pembangkit listrik.	Pengasaman badan-badan air dan kerusakan hutan.
NO _x	Perubahan bahan bakar fosil terutama dari pembangkit listrik dan kendaraan bermotor.	Pengaruh terhadap kesehatan seperti iritasi tenggorokan dan cardiovascular. Merusak gedung-gedung, monumen, perkaratan benda-benda (patung) dari logam.

Sumber: Scott J. Callan & Janet M. Thomas

B. DAMPAK HUJAN ASAM

Hujan asam telah menimbulkan masalah besar terutama di daratan Eropa dan Amerika serta di negara Asia termasuk Indonesia. Dampak negatif dari hujan asam selain rusaknya bangunan dan berkaratnya benda-benda yang terbuat dari logam juga terjadinya kerusakan lingkungan terutama pengasaman (*acidification*) badan-badan air, seperti danau dan sungai. Ribuan danau airnya telah bersifat asam sehingga tidak ada lagi kehidupan akuatik atau dikenal dengan “danau mati”.

Di samping merusak ekosistem perairan, hujan asam mengancam komoditi pertanian serta menimbulkan kerusakan hutan. Sejak tahun 1986 kerusakan hutan di 15 negara Eropa telah mencapai 30,7 Ha. Kerusakan

hutan akibat hujan asam akan semakin meluas dan meningkat kerusakannya seiring dengan semakin meningkatnya emisi gas SO_2 dan NO_x (NO_2 dan NO) dari sumber antropogenik.

Hujan asam juga telah melanda wilayah Indonesia. Pemantauan hujan asam yang dilakukan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) di tiga kota besar di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.5

Tabel 3.2.
Karakteristik Air Hujan di Beberapa Kota

Parameter	Kota		
	Jakarta	Medan	Menado
pH	5,56	5,76	5,78
SO_4	0,04	0,12	0,04
NO_3	1,66	1,86	0,61
NH_3	1,42	1,20	0,26

Sumber: Badan Meteorologi dan Geofisika, (1990).

Apabila dibandingkan dengan nilai ambang batas pH yang masih diizinkan peraturan perundang-undangan yang terkait maka tingkat keasaman air hujan di Jakarta sudah mendekati nilai kritis. Dengan pH 5,6 air hujan dapat menimbulkan kerusakan berbagai jenis logam di samping dapat merusak tambak-tambak ikan.

Usaha menanggulangi terjadinya hujan dapat dilakukan dengan jalan mengurangi emisi gas NO_x dan SO_2 dari sumber antropogenik, seperti yang dilakukan melalui *Clean Air Act Amendments 1990* berdedikasi mengurangi emisi NO_x dan SO_2 . EPA (*Environment Protection Agency*). Emisi NO_x direduksi sebesar 2 juta ton dari tingkat emisi tahun 1980 dan untuk SO_2 peraturan menentukan kapasitas 8,95 juta ton emisi per tahun yang berasal dari pembangkit listrik dan 5,6 juta ton yang berasal dari industri.

Dapatkah Anda memberikan contoh usaha-usaha apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas SO_2 dan NO_x di Indonesia, diskusikan dengan teman-temanmu.



LATIHAN

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

- 1) Mengapa hujan asam disebut fenomena pencemaran regional?
- 2) Jelaskan perbedaan dari deposisi basah dengan deposisi kering hujan asam!
- 3) Gas-gas apa saja yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam serta sebutkan sumbernya!
- 4) Apakah sudah ada usaha yang dilakukan untuk mencegah terjadinya hujan asam?
- 5) Jelaskan yang dimaksud dengan “danau mati”!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pertanyaan ini Anda bisa mempelajari Gambar 2.1 proses terjadinya hujan asam, perhatikan jarak sumber pencemar dengan terjadinya hujan asam.
- 2) Deposisi kering dan deposisi basah keduanya termasuk deposisi asam. Deposisi kering terjadi apabila partikel-partikel asam dari atmosfer langsung jatuh mengenai benda-benda atau makhluk hidup, sedangkan deposisi basah terjadi apabila partikel-partikel asam ini sudah bercampur/terlarut dengan air hujan.
- 3) Gas-gas penyebab hujan asam adalah oksida-oksida nitrogen dan oksida belerang. Sumber utamanya adalah perubahan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik dan transportasi (kendaraan bermotor).
- 4) Sudah melalui *Clean Air Act Amendments* 1990 dengan jalan negara-negara harus mereduksi emisi gas NO_x dan gas SO_2 .
- 5) Danau yang sudah tidak memiliki kehidupan akuatik di dalamnya karena telah terjadi penurunan pH airnya melalui pengasaman oleh hujan asam.



RANGKUMAN

Atmosfer dapat mengangkut berbagai zat pencemar ratusan kilometer jauhnya, sebelum menjatuhkannya ke permukaan bumi. Dalam perjalanan jarak jauh ini, atmosfer bertindak sebagai reaktor kimia yang

kompleks yang mengubah zat pencemar setelah berinteraksi dengan substansi lain, uap air dan sinar matahari.

Hujan asam terjadi karena bahan pencemar dalam bentuk oksida nitrogen (NO_x) dan oksida belerang (SO_2) mengalami reaksi fotokimia yang kemudian bereaksi dengan air membentuk asam nitrat (HNO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4). Adanya hujan asam memberikan dampak terhadap baik lingkungan fisik maupun lingkungan hidup, seperti kerusakan hutan dan ekosistem air tawar.



TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Penyebab hujan asam adalah terutama gas-gas di bawah ini, *kecuali*
 - A. gas NO
 - B. gas N_2
 - C. gas NO_2
 - D. gas SO_2

- 2) Pernyataan yang paling benar di bawah ini adalah
 - A. di wilayah hutan terjadi deposisi kering
 - B. hanya gas SO_2 yang mengalami deposisi kering
 - C. di daerah yang dekat sumber pencemar terjadi deposisi kering
 - D. deposisi kering hanya terjadi untuk gas NO_x

- 3) Gas NO_x adalah
 - A. campuran gas NO dengan N_2
 - B. campuran gas NO_2 dengan N_2
 - C. campuran gas NO_3 dengan NO_2
 - D. campuran gas NO dengan NO_2

- 4) Bencana alam yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam adalah
 - A. gempa bumi
 - B. peristiwa tsunami
 - C. letusan gunung berapi
 - D. topan tornado

- 5) Kontribusi yang terbesar dari pembangkit listrik di bawah ini terhadap terjadinya hujan asam

- A. PLTA
 - B. PLTS
 - C. PLTU
 - D. PLTN
- 6) Dampak terhadap lingkungan fisik dari adanya hujan asam sebagai berikut, *kecuali*
- A. merusak cat tembok
 - B. perkaratan benda-benda dari logam
 - C. merusak monumen
 - D. merusak klorofil daun
- 7) Untuk mengurangi gas SO_2 dapat dilakukan melalui hal-hal berikut, *kecuali*
- A. menghemat listrik
 - B. mencari energi alternatif
 - C. menghemat penggunaan BBM
 - D. menanam banyak pohon
- 8) Benda-benda yang ada di luar rumah yang mudah rusak oleh hujan asam adalah terbuat dari
- A. marmer
 - B. kayu
 - C. plastik
 - D. silikon
- 9) Dampak deposisi kering terhadap kesehatan manusia
- A. iritasi saluran napas
 - B. katarak mata
 - C. kanker kulit
 - D. menurunkan daya tahan tubuh
- 10) Istilah yang paling tepat untuk hujan asam adalah deposisi asam karena yang merusak lingkungan adalah
- A. partikel-partikel asam nitrat dan asam sulfat
 - B. endapan garam nitrat dan garam sulfat
 - C. partikel-partikel asam yang larut dalam air hujan
 - D. gas-gas oksida nitrogen dan oksida belerang

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

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

Tes Formatif 2

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

Tes Formatif 3

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

Glosarium

- Acid Rain* : hujan asam artinya air hujan yang turun ke permukaan tanah bersifat asam ($\text{pH} < 7$).
- Acidification* : kerusakan lingkungan terutama air danau dan sungai akibat hujan asam.
- Deposisi Kering : apabila partikel-partikel asam yang ada di udara langsung mengenai benda-benda atau makhluk hidup yang ada di permukaan bumi.
- Global Warming* : pemanasan global artinya suhu rata-rata di permukaan seluruh bumi meningkat.
- Green House Effect* : efek rumah kaca.
- Gas Rumah Kaca : beberapa gas yang dapat menyebabkan terjadinya efek rumah kaca.
- Ozon Depletion Substances (ODS)* : bahan kimia merusak lapisan ozon.
- Protokol Kyoto : sebuah instrumen hukum yang dirancang untuk mengimplementasikan Konvensi Perubahan Iklim yang bertujuan untuk menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca agar tidak mengganggu sistem iklim di bumi.
- Sumber Antropogenik : sumber bahan pencemar yang disebabkan manusia.

Daftar Pustaka

- Bailey, *et al.* (1978). *Chemistry of The Enviroment*. New York: Academic Press.
- Daniel D. Chiras. (1991). *Enviromental Science: Action for a Sustainable Future*. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Donald G. Crosby. (1998) *Enviromental Toxicology and Chemistery*. New York: Oxford University Press, Inc
- Frank C. Lu. (1955). *Toksikologi Dasar (Asas, Organ Sasaran dan Penilaian Resiko)*. Penerjemah Edi Nugroho. Jakarta: UI-Press.
- Kusnoputranto, Haryoto. (1995). *Pengantar Toksikologi Lingkungan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Stanley E. Manahan. (1994). *Environmental Chemistry*. Florida: Lewis Publisher.