



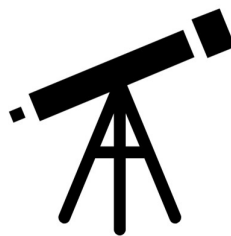
KERJASAMA
DINAS PENDIDIKAN KOTA SURABAYA
DENGAN
FAKULTAS MIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA



MODUL

MATA PELAJARAN IPA

Penanggulangan masalah perubahan iklim



untuk kegiatan

PELATIHAN PENINGKATAN MUTU GURU

DINAS PENDIDIKAN KOTA SURABAYA

TAHUN 2017

PENANGGULANGAN MASALAH PERUBAHAN IKLIM

A. PENGANTAR

Sadarkah kita bahwa dalam beberapa tahun ini semakin banyak bencana alam yang terjadi dan fenomena-fenomena alam yang kacau? Mulai dari banjir, puting beliung, semburan gas, hingga curah hujan yang tidak menentu dari tahun ke tahun. Sadarilah bahwa semua ini adalah tanda-tanda alam yang menunjukkan bahwa planet kita tercinta ini sedang mengalami proses kerusakan yang menuju pada kehancuran! Hal ini terkait langsung dengan isu global yang belakangan ini makin marak dibicarakan oleh masyarakat dunia yaitu Perubahan Iklim dan Pemanasan Global. Apakah pemanasan global dan perubahan iklim itu?

Pemanasan Global adalah meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan jumlah emisi *gas rumah kaca* (GRK) di atmosfer. Sedangkan *Perubahan Iklim* adalah suatu keadaan *berubahnya pola iklim dunia*. Suatu daerah mengalami pemanasan, tetapi daerah lain mengalami pendinginan yang tidak wajar. Akibat kacaunya arus dingin dan panas ini maka perubahan iklim juga menciptakan fenomena cuaca yang kacau, termasuk curah hujan yang tidak menentu, aliran panas dan dingin yang ekstrem, arah angin yang berubah drastis, dan sebagainya.

Meningkatnya suhu global telah menyebabkan perubahan-perubahan seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi (hujan, salju). Akibat pemanasan global yang lain adalah menurunnya hasil pertanian, hilangnya gletser, dan punahnya berbagai jenis tumbuhan dan hewan. Untuk itu diperlukan berbagai upaya penanggulangan terhadap perubahan iklim dan pemanasan global ini jika ingin menyelamatkan sistem kehidupan di bumi ini, baik secara personal maupun kerjasama antar negara. Salah satu diantaranya adalah melalui perubahan gaya hidup, penggunaan energi yang ramah lingkungan, dan melestarikan hutan. Sebagian besar pemerintahan negara-negara di dunia telah menandatangani dan meratifikasi *Protokol Kyoto*, yang mengarah pada pengurangan emisi gas-gas rumah kaca. Pemahaman materi ini sangat penting dikuasai oleh siswa agar dapat berkontribusi positif dalam pencegahan dan penanggulangan perubahan iklim dan pemanasan global.

Kompetensi Dasar yang harus dikuasai siswa adalah:

1. Memahami dan menguasai konsep perubahan iklim dan dampaknya bagi kehidupan.
2. Menguasai dan mengaplikasikan pemahaman tentang penyebab, akibat, dan dampak perubahan iklim dan penanggulangannya dalam kehidupan sehari-hari.

SKL UN SMP yang terkait dengan materi Penanggulangan perubahan iklim adalah sebagai berikut.

1. Siswa dapat memahami tentang: penyebab, akibat, dan dampak perubahan iklim serta masalah yang ditimbulkannya
2. Siswa dapat mengaplikasikan pengetahuan tentang: perubahan iklim
3. Siswa dapat bernalar tentang: cara penanggulangan masalah perubahan iklim.

B. TUJUAN

Tujuan mempelajari modul ini adalah:

1. Peserta Diklat mampu menguasai konsep tentang penyebab, akibat, dan dampak perubahan iklim serta cara penanggulangannya
2. Peserta Diklat mampu merumuskan indikator setara ujian nasional untuk kompetensi yang berkaitan dengan materi penanggulangan perubahan iklim
3. Peserta Diklat mampu menyusun butir soal setara ujian nasional sesuai dengan rumusan indikator.

C. URAIAN MATERI

1. Perubahan iklim

Perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi secara signifikan mengenai pola cuaca yang dihitung berdasarkan angka statistik dalam rentang waktu puluhan hingga ratusan tahun lamanya. Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan iklim seperti proses biologis, radiasi sinar matahari, tekanan tektonik, erupsi gunung berapi, dan masih banyak lagi. Sedangkan pengertian perubahan iklim menurut *Environmental Protection Agency (EPA)* adalah perubahan iklim secara signifikan yang terjadi pada periode waktu tertentu. Dengan kata lain, perubahan iklim juga bisa diartikan sebagai perubahan suhu yang drastis, curah hujan, pola angin, dan lain sebagainya.

Pola curah hujan berubah-ubah tanpa dapat diprediksi sehingga menyebabkan banjir di satu tempat, tetapi kekeringan di tempat yang lain. Topan dan badai tropis baru akan bermunculan dengan kecenderungan makin lama makin kuat. Kita tentu menyadari betapa panasnya suhu di sekitar kita belakangan ini. Kita juga dapat melihat betapa tidak dapat diprediksinya kedatangan musim hujan ataupun kemarau yang mengakibatkan kerugian bagi petani karena musim tanam yang seharusnya dilakukan pada musim kemarau ternyata malah hujan. Kita juga dapat mencermati kasus-kasus badai ekstrim yang belum pernah melanda wilayah-wilayah tertentu di Indonesia. Tahun-tahun belakangan ini kita makin sering dilanda badai-badai, puting beliung, banjir bandang, dan tanah longsor di wilayah-wilayah yang selama ini hal itu tidak pernah terjadi.

Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32^{\circ}\text{F}$) selama seratus tahun terakhir. ***Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)***

menyimpulkan bahwa sebagian besar peningkatan temperatur rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca.

Model iklim yang dijadikan acuan oleh proyek IPCC menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1.1-6.4 °C (2.0-11.5 °F) antara tahun 1990 dan 2100. Perbedaan angka perkiraan itu disebabkan oleh penggunaan skenario-skenario berbeda mengenai emisi gas-gas rumah kaca pada masa mendatang, serta model-model sensitivitas iklim yang berbeda. Walaupun sebagian besar penelitian terfokus pada periode hingga 2100, pemanasan dan kenaikan muka air laut diperkirakan akan terus berlanjut selama lebih dari seribu tahun walaupun tingkat emisi gas rumah kaca telah stabil. Ini mencerminkan besarnya kapasitas kalor lautan.

Sebagian besar pemerintahan negara-negara di dunia telah menandatangani dan meratifikasi Protokol Kyoto, yang mengarah pada pengurangan emisi gas-gas rumah kaca. **Protokol Kyoto** adalah kesepakatan internasional Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC atau FCCC), yang ditujukan untuk melawan pemanasan global. UNFCCC adalah perjanjian lingkungan hidup internasional dengan tujuan mencapai “stabilisasi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang akan mencegah gangguan antropogenik yang berbahaya dengan sistem iklim.” Protokol Kyoto awalnya diadopsi pada tanggal 11 Desember 1997 di Kyoto, Jepang, dan mulai berlaku pada tanggal 16 Februari 2005. Pada April 2010, 191 negara telah menandatangani dan meratifikasi Protokol Kyoto.

1.2. Apa itu perubahan iklim?

Perubahan iklim secara harfiah adalah iklim yang berubah akibat suhu global rata-rata meningkat. Peningkatan emisi gas rumah kaca di atmosfer, khususnya CO₂, telah memerangkap suhu panas di atmosfer bumi. Hal tersebut berdampak pada sistem cuaca global yang menyebabkan segala sesuatu mulai dari curah hujan yang tak terduga hingga gelombang panas yang ekstrim. Bumi telah melalui periode pemanasan dan pendinginan yang terkait dengan perubahan iklim berkali-kali. Hal yang saat ini menjadi perhatian utama dan disetujui oleh para ilmuwan adalah bahwa proses pemanasan yang terjadi jauh lebih cepat daripada yang telah terjadi sebelumnya, hal ini disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca.

1.3. Penyebab Perubahan Iklim

Peristiwa perubahan iklim tidak terjadi secara tiba-tiba, tetapi karena ada faktor-faktor penyebabnya baik karena fenomena alam maupun tingkah laku manusia. Beberapa faktor penyebab perubahan iklim meliputi:

- a. Terjadinya fenomena pemanasan global
- b. Terjadinya peristiwa efek rumah kaca.
- c. Terjadinya El Nino dan La Nina di lautan.

- d. Menipisnya lapisan ozon di atmosfer bumi
- e. Aktivitas dan penggunaan energi yang tidak ramah lingkungan.

Selain penyebab alamiah yang berkontribusi terhadap fluktuasi iklim, tetapi praktik industri merupakan penyumbang terbesar di balik pemanasan global. Tuntutan pertumbuhan populasi telah menyebabkan deforestasi, pembakaran bahan bakar fosil, dan pertanian yang meluas. Kegiatan ini semua menghasilkan gas rumah kaca di atmosfer. Gas rumah kaca menahan panas dari matahari dan tidak terpantulkan kembali ke angkasa. Hal ini menyebabkan atmosfer bumi memanas, yang dikenal sebagai efek rumah kaca. Hanya dalam 200 tahun, konsentrasi karbondioksida di atmosfer telah meningkat sebesar 30%.

1.4. Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim berdampak pada manusia, satwa liar dan lingkungan di seluruh dunia. Di Cina, bencana alam telah melanda 24,89 juta hektar tanaman pada tahun 2014, 3,09 juta hektar di antaranya hancur, sementara kekeringan menyebabkan kerugian ekonomi hingga 83,6 miliar yuan atau lebih dari 13 miliar dolar. Di Turki, panen yang tertunda di wilayah Laut Hitam pada tahun 2014 mengakibatkan produsen teh Turki mengalami kerugian lebih dari 15% dari pendapatan tahunan mereka, karena suhu dingin ekstrem. Secara keseluruhan, bencana alam dalam dekade terakhir telah menelan biaya di seluruh dunia hingga 2,7 triliun dolar. Kebakaran hutan terus mengancam kehidupan spesies yang terancam punah, saat iklim yang berubah-ubah dan pembukaan lahan pertanian memaksa binatang keluar dari kawasan lindung untuk mencari air dan wilayah untuk ditempati.

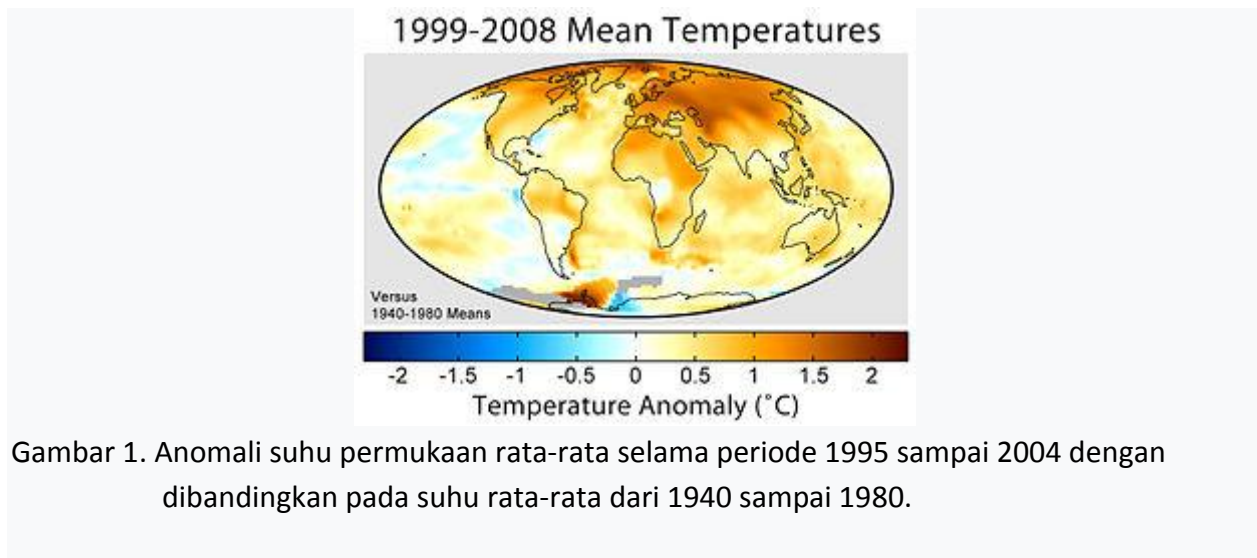
Level dampak yang ditimbulkan oleh perubahan iklim tergantung pada tingkat kenaikan suhu bumi. Kenaikan satu derajat akan memiliki dampak ekologis yang serius dan diperkirakan kerugian yang ditimbulkan sekitar 68 triliun dolar. Perubahan iklim akan menyebabkan beberapa daerah menjadi basah, dan daerah lainnya menjadi lebih hangat. Permukaan air laut akan naik akibat dari gletser yang mencair, sementara beberapa daerah akan lebih berisiko terkena gelombang panas, kekeringan, banjir, dan bencana alam. Perubahan iklim bisa merusak rantai makanan dan ekosistem, menempatkan seluruh spesies terancam kepunahan. Dampak perubahan iklim sangat mengerikan karena mengancam kehidupan umat manusia, diantaranya adalah:

- sarana prasarana (infrastruktur) menjadi rusak
- merebaknya wabah penyakit terutama pernapasan
- kekeringan dan kekurangan sumber air
- terjadinya bencana alam dimana-mana
- harga pangan menjadi semakin mahal
- udara menjadi semakin tercemar.

2. Pemanasan Global

Pemanasan global (*Global warming*) adalah proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Kenaikan suhu tersebut disebabkan oleh peningkatan keluaran (emisi) gas rumah kaca, seperti karbondioksida, metana, dinitro oksida, hidrofluorokarbon, perfluorokarbon, dan sulfur heksafluorida di atmosfer. Selama 20 abad ini, kenaikan suhu diperkirakan mencapai 0,3-0,8°C. Untuk 100 tahun kedepan, kenaikannya diperkirakan mencapai 4°C. Kenaikan suhu ini dapat merubah iklim sehingga menyebabkan perubahan pola cuaca yang dapat menimbulkan peningkatan dan perubahan curah hujan, angin dan badai, serta terjadinya bencana alam yang dapat memakan banyak korban jiwa.

Peningkatan suhu permukaan bumi ini dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi, kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar infra merah diserap oleh udara dan permukaan bumi. Sebagian sinar infra merah dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh gas-gas rumah kaca yang kemudian menyebabkan suhu bumi meningkat. Temperatur global rata-rata setiap tahun dan lima tahunan tampak meningkat, seperti pada diagram berikut (Anonim, 2004).



Gambar 1. Anomali suhu permukaan rata-rata selama periode 1995 sampai 2004 dengan dibandingkan pada suhu rata-rata dari 1940 sampai 1980.

Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0.74 \pm 0.18 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32 \text{ }^\circ\text{F}$) selama seratus tahun terakhir. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa, "sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia" melalui efek rumah kaca. Kesimpulan dasar ini telah dikemukakan oleh setidaknya 30 badan ilmiah dan akademik, termasuk semua akademi sains nasional dari negara-negara G8.

2.1. Penyebab dan Mekanisme Terjadinya Pemanasan Global

1). Efek rumah kaca



Gambar 2. Efek rumah kaca (Sumber: pencemaranudaraipg.blogspot.com)

1.

Sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari. Sebagian besar energi tersebut dalam bentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energi ini mengenai permukaan bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Permukaan bumi akan menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya. Sebagian dari panas ini memantul sebagai radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun, sebagian lagi tetap terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya gas rumah kaca, antara lain uap air, karbon dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi ini. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Hal tersebut terjadi berulang-ulang dan mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat. Gas-gas tersebut berfungsi sebagaimana kaca dalam rumah kaca (*green house*). Dengan makin meningkatnya konsentrasi gas-gas ini di atmosfer, makin banyak panas yang terperangkap di bawahnya. Sebenarnya, efek rumah kaca ini sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup di bumi, karena tanpanya, planet ini akan menjadi sangat dingin. Dengan temperatur rata-rata 15°C (59°F), bumi sebenarnya telah lebih panas 33°C (59°F) dengan efek rumah kaca (tanpanya suhu bumi hanya -18°C sehingga es akan menutupi seluruh permukaan bumi). Akan tetapi saat ini jumlah gas-gas tersebut telah berlebih di atmosfer, sehingga mengakibatkan terjadinya pemanasan global.



Bagan 9.19
Proses penentuan adanya gejala dunia berupa pemanasan global
Sumber: Agus R. dan Rudy S. 2008. GLOBAL WARMING. Edisi Pertama. hiduplebihmulia.wordpress.com

Gambar 3. Faktor-faktor penyebab pemanasan global

Mengapa disebut "Gas Rumah Kaca"?

Atmosfer bumi terdiri dari bermacam-macam gas dengan fungsi yang berbeda-beda. Kelompok gas yang menjaga suhu permukaan bumi agar tetap hangat dikenal dengan istilah "gas rumah kaca". Disebut gas rumah kaca karena sistem kerja gas-gas tersebut di atmosfer bumi mirip dengan cara kerja rumah kaca (*greenhouse*) yang berfungsi menahan panas matahari di dalamnya agar suhu di dalam rumah kaca tetap hangat. Dengan begitu, tanaman di dalamnya pun akan dapat tumbuh dengan baik karena memiliki panas matahari yang cukup.

Tabel 9.1 Jenis-Jenis Gas Rumah Kaca dan Sumbernya

Gas Rumah Kaca	Sumber
Karbondioksida (CO ₂)	Pembakaran bahan bakar fosil di sektor energi, industri, transportasi, deforestasi, pertanian
Metana (CH ₄)	Pertanian, perubahan tata lahan, pembakaran biomassa, tempat pembuangan akhir sampah
Nitroksida (N ₂ O)	Pembakaran bahan bakar fosil, industri, pertanian
Hidrofluorokarbon (HFC)	Industri manufaktur, industri pendingin (freon), penggunaan aerosol
Perfluorokarbon (PFC)	Industri manufaktur, industri pendingin (freon), penggunaan aerosol
Sulfurheksafluorida (SF ₆)	Transmisi listrik, manufaktur, industri pendingin (freon), penggunaan aerosol

Kontributor terbesar pemanasan global saat ini adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), Nitrogen Oksida (NO) dari pupuk, dan gas-gas yang digunakan untuk kulkas dan pendingin ruangan (CFC). Setiap gas rumah kaca memiliki efek pemanasan global yang

berbeda-beda. Beberapa gas menghasilkan efek pemanasan lebih parah dari CO₂. Contoh sebuah molekul metan menghasilkan efek pemanasan 23 kali dari molekul CO₂. Molekul NO menghasilkan efek pemanasan sampai 300 kali dari molekul CO₂. Gas-gas lain seperti chlorofluorocarbon (CFC) menghasilkan efek pemanasan hingga ribuan kali dari CO₂.

2). Efek umpan balik

Efek-efek dari agen penyebab pemanasan global juga dipengaruhi oleh berbagai proses umpan balik yang dihasilkannya. Sebagai contoh adalah pada penguapan air. Pada kasus pemanasan akibat bertambahnya gas-gas rumah kaca seperti CO₂, pemanasan pada awalnya akan menyebabkan meningkatnya air yang menguap ke atmosfer. Karena uap air sendiri merupakan gas rumah kaca, pemanasan akan terus berlanjut dan menambah jumlah uap air di udara hingga tercapainya suatu kesetimbangan konsentrasi uap air. Efek rumah kaca yang dihasilkannya lebih besar bila dibandingkan oleh akibat gas CO₂ sendiri. (Walaupun umpan balik ini meningkatkan kandungan air absolut di udara, kelembaban relatif udara hampir konstan atau bahkan agak menurun karena udara menjadi menghangat). Umpan balik ini hanya dapat dibalikkan secara perlahan-lahan karena CO₂ memiliki usia yang panjang di atmosfer.



Gambar 4. Terjadinya efek umpan balik (Sumber: www.slideshare.net)

Efek-efek umpan balik karena pengaruh awan sedang menjadi objek penelitian saat ini. Bila dilihat dari bawah, awan akan memantulkan radiasi infra merah balik ke permukaan, sehingga akan meningkatkan efek pemanasan. Sebaliknya bila dilihat dari atas, awan tersebut akan memantulkan sinar matahari dan radiasi infra merah ke angkasa, sehingga meningkatkan efek pendinginan. Apakah efek netto-nya pemanasan atau pendinginan tergantung pada beberapa detail tertentu seperti tipe dan ketinggian awan tersebut. Detail-detail ini sulit direpresentasikan dalam model iklim, karena awan sangat kecil bila

dibandingkan dengan jarak antara batas-batas komputasional dalam model iklim (sekitar 125-500 km) untuk model yang digunakan dalam Laporan Pandangan IPCC ke Empat.

Umpan balik penting lainnya adalah hilangnya kemampuan memantulkan cahaya (*albedo*) oleh es. Ketika temperatur global meningkat, es di dekat kutub mencair dengan kecepatan yang terus meningkat. Bersama dengan melelehnya es tersebut, daratan atau air dibawahnya akan terbuka. Baik daratan maupun air memiliki kemampuan memantulkan cahaya lebih sedikit bila dibandingkan dengan es, akibatnya akan menyerap lebih banyak radiasi matahari. Hal ini akan menambah pemanasan dan menimbulkan lebih banyak lagi es yang mencair, dan menjadi suatu siklus yang berkelanjutan. Umpan balik positif akibat terlepasnya CO₂ dan CH₄ dari melunaknya tanah beku (*permafrost*) adalah mekanisme lainnya yang berkontribusi terhadap pemanasan. Selain itu, es yang meleleh juga akan melepas CH₄ yang juga menimbulkan umpan balik positif. Kemampuan lautan untuk menyerap karbon juga akan berkurang bila ia menghangat, hal ini diakibatkan oleh menurunnya kadar nutrisi pada zona mesopelagik sehingga membatasi pertumbuhan diatom (*fitoplankton*) yang merupakan penyerap karbon.

3). Variasi Matahari

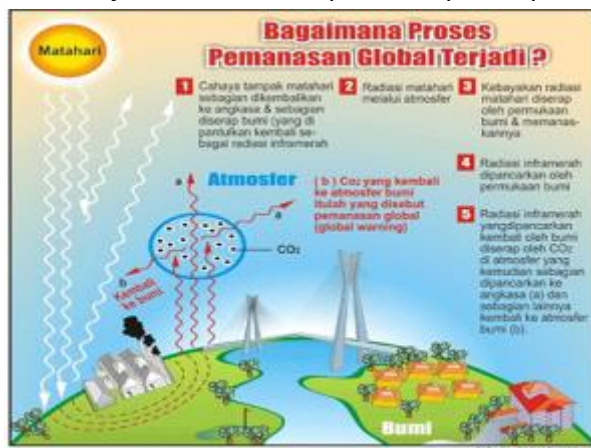
Pemanasan global dapat pula diakibatkan oleh variasi matahari. Suatu hipotesis menyatakan bahwa variasi dari matahari yang diperkuat oleh umpan balik dari awan, dapat memberi kontribusi dalam pemanasan saat ini (Marsh and Henrik, 2000). Perbedaan antara mekanisme ini dengan pemanasan akibat efek rumah kaca adalah meningkatnya aktivitas matahari akan memanaskan stratosfer, sebaliknya efek rumah kaca akan mendinginkan stratosfer. Pendinginan stratosfer bagian bawah paling tidak telah diamati sejak tahun 1960, yang tidak akan terjadi bila aktivitas matahari menjadi kontributor utama pemanasan saat ini. Penipisan lapisan ozon juga dapat memberikan efek pendinginan tersebut tetapi penipisan tersebut terjadi mulai akhir tahun 1970-an. Fenomena variasi matahari dikombinasikan dengan aktivitas gunung berapi mungkin telah memberikan efek pemanasan dari masa pra-industri hingga tahun 1950, serta efek pendinginan sejak tahun 1950 (Hegerl, *et al.* 2007, Ammann, *et al.* 2007).

Hasil penelitian menyatakan bahwa kontribusi matahari mungkin telah diabaikan dalam pemanasan global. Dua ilmuwan dari Duke University mengestimasi bahwa matahari telah berkontribusi terhadap 45-50% peningkatan temperatur rata-rata global selama periode 1900-2000, dan sekitar 25-35% antara tahun 1980 dan 2000 (Scafetta and West, 2006). Selanjutnya menurut Stott (2003) model iklim yang dijadikan pedoman saat ini membuat estimasi berlebihan terhadap efek gas-gas rumah kaca dibandingkan dengan pengaruh matahari, mereka juga mengemukakan bahwa efek pendinginan dari debu vulkanik dan aerosol sulfat juga tidak diperhitungkan. Walaupun demikian, mereka menyimpulkan bahwa bahkan dengan meningkatkan sensitivitas iklim terhadap pengaruh

matahari sekalipun, sebagian besar pemanasan yang terjadi pada dekade-dekade terakhir ini disebabkan oleh gas-gas rumah kaca.

2.2. Proses Pemanasan Global

Proses pemanasan global terjadi melalui tahapan-tahapan seperti Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Proses pemanasan global (Sumber: <http://www.google.com>)

Ketika sinar matahari memasuki atmosfer bumi, harus melalui lapisan gas rumah kaca. Setelah mencapai seluruh permukaan bumi, tumbuhan, tanah, air, dan komponen ekosistem lainnya menyerap energi dari sinar matahari tersebut. Sisanya akan dipantulkan kembali ke atmosfer. Sebagian energi dikembalikan ke angkasa, tetapi sebagian lagi terperangkap oleh gas rumah kaca di atmosfer dan dipantulkan kembali ke bumi sehingga dikenal dengan nama efek rumah kaca (*green house effect*).

2.3. Akibat Pemanasan Global

Bumi merupakan planet yang sangat sempurna bagi makhluk hidup (manusia, binatang dan tumbuhan) apabila dibandingkan dengan planet lainnya, karena mempunyai berbagai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup seperti air, sinar matahari, dan udara yang melimpah. Pemanasan global telah mengakibatkan:

1. Mencairnya es di kutub utara dan kutub selatan bumi

Kenaikan suhu global menyebabkan mencairnya es-es di bumi, termasuk di wilayah kutub. Es di Greenland yang telah mencair hampir mencapai 19 juta ton. Volume es di Artik pada musim panas 2007 hanya tinggal setengah dari yang ada 4 tahun sebelumnya. Pada tanggal 6 Maret 2008, sebuah bongkahan es seluas 414 kilometer persegi (hampir 1,5 kali luas kota Surabaya) di Antartika runtuh.

2. Naiknya permukaan air laut

Naiknya permukaan air laut secara global mengakibatkan sejumlah pulau-pulau kecil tenggelam. Hal ini karena es yang mencair akan mengalir ke dalam lautan dan menambah volume air laut. Kenaikan permukaan air laut selama abad 20 sudah mencapai 10 cm - 25 cm. Prediksi oleh IPCC, kenaikan air laut hingga abad 21 akan mencapai 88 cm. Kehidupan masyarakat di daerah pesisir terancam dilanda banjir rob akibat air pasang yang tinggi.

3. Banyaknya daratan yang tenggelam

Naiknya permukaan air laut akan menggeser garis permukaan pada pantai menjadi naik dan menciutkan wilayah daratan. Akibatnya banyak pulau-pulau kecil yang akan tenggelam atau permukaannya tertutup oleh air. Para ahli memperkirakan apabila seluruh Greenland mencair, level permukaan laut akan naik sampai dengan 7 meter! Cukup untuk menenggelamkan seluruh pantai, pelabuhan, dan dataran rendah di seluruh dunia.

4. Menipisnya lapisan ozon

Lapisan ozon sangat penting karena dapat melindungi bumi dari berbagai macam ancaman buruk, seperti menyaring sinar ultraviolet yang akan masuk ke permukaan bumi sehingga tidak langsung menyinari permukaan bumi dan memberikan berbagai dampak penyakit.

2.4. Dampak Pemanasan Global

a. Iklim mulai tidak stabil

Para ilmuwan memperkirakan selama pemanasan global, daerah bagian Utara dari belahan bumi utara (*Northern Hemisphere*) akan memanas lebih dari daerah-daerah lain di bumi. Akibatnya, gunung-gunung es akan mencair dan daratan akan mengecil. Akan lebih sedikit es yang terapung di perairan Utara tersebut. Daerah-daerah yang sebelumnya mengalami salju ringan, mungkin tidak akan mengalaminya lagi. Pada pegunungan di daerah subtropis, bagian yang ditutupi salju akan semakin sedikit serta akan lebih cepat mencair. Musim tanam akan lebih panjang di beberapa area. Suhu pada musim dingin dan malam hari akan cenderung meningkat, sehingga mengakibatkan:

(1).Terjadinya pergantian musim yang tidak teratur

Pergantian musim yang tidak stabil ini membuat musim yang ada sebelumnya menjadi sulit diprediksi pergantiannya. Terkadang satu musim lebih lama terjadi daripada musim yang lainnya. Sebagai contoh di Indonesia, musim hujan dan musim kemarau pada dasarnya terjadi masing-masing selama enam bulan. Waktu berlangsungnya musim ini pun sangat teratur, yakni musim hujan dari November – Maret dan musim kemarau dari April-Oktober. Namun adanya pemanasan global membuat keberadaan musim-musim tersebut menjadi

tidak teratur dan sulit diprediksi kapan terjadinya. Akibatnya hujan turun di musim-musim yang biasanya berlangsung musim kemarau dan musim kemarau berlangsung lebih lama.

(2). Perubahan iklim yang makin ekstrim

Pola curah hujan berubah-ubah tanpa dapat diprediksi sehingga menyebabkan banjir di satu tempat, tetapi kekeringan di tempat yang lain. Topan dan badai tropis baru akan bermunculan dengan kecenderungan makin lama makin kuat. Frekuensi terjadinya badai dan siklon semakin meningkat. Selain itu, air akan lebih cepat menguap dari tanah. Akibatnya beberapa daerah akan menjadi lebih kering dari sebelumnya. Angin akan bertiup lebih kencang dengan pola yang berbeda. Topan badai (*hurricane*) yang memperoleh kekuatannya dari penguapan air, akan menjadi lebih besar.

b. Produksi pertanian menurun

Lamanya curah hujan turun menjadi berbeda-beda di setiap wilayah, akan mempengaruhi produksi pertanian. Misalnya di Kanada, ketidakstabilan iklim membuat musim hujan di Kanada lebih panjang daripada biasanya. Sehingga produksi pertanian di Kanada akan melimpah karena masa tanam lebih panjang. Sebaliknya, di daerah Afrika akan mengalami masa kekeringan dan musim tanam yang lebih pendek. Hal ini menyebabkan produksi pertanian menurun hingga mencapai 4 persen.

c. Gangguan ekologis

Hewan dan tumbuhan menjadi makhluk hidup yang sulit menghindar dari efek pemanasan global karena sebagian besar lahan telah dikuasai manusia. Hewan cenderung bermigrasi ke arah kutub atau ke atas pegunungan. Tumbuhan akan mengubah arah pertumbuhannya, mencari daerah baru karena habitat lamanya menjadi terlalu hangat. Akan tetapi, pembangunan, manusia akan menghalangi perpindahan ini. Spesies yang bermigrasi ke utara atau selatan yang terhalangi oleh kota-kota atau lahan-lahan pertanian mungkin akan mati. Beberapa spesies yang tidak mampu secara cepat berpindah menuju kutub mungkin akan punah.

d. Dampak sosial dan politik

Perubahan cuaca dan lautan dapat mengakibatkan munculnya penyakit-penyakit yang berhubungan dengan panas (*heat stroke*) dan kematian. Temperatur yang panas menyebabkan gagal panen sehingga akan muncul kelaparan dan malagizi. Perubahan cuaca yang ekstrem dan peningkatan permukaan air laut dapat menyebabkan penyakit-penyakit yang berhubungan dengan bencana alam (banjir, badai dan kebakaran) dan kematian akibat trauma. Timbulnya bencana alam biasanya disertai dengan perpindahan penduduk ke tempat-tempat pengungsian dimana sering muncul penyakit, seperti diare, malagizi, defisiensi mikronutrien, trauma psikologis, penyakit kulit, dan lain-lain.

2.5. Pengendalian Pemanasan global

Ada dua pendekatan utama untuk memperlambat bertambahnya gas rumah kaca, pertama mencegah CO₂ dilepas ke atmosfer dengan menyimpan gas tersebut atau komponen karbon-nya di tempat lain disebut *carbon sequestration* (menghilangkan karbon) dan kedua, mengurangi produksi gas rumah kaca.

a. Menghilangkan karbon

Cara paling mudah untuk menghilangkan karbon dioksida di udara adalah dengan memelihara pepohonan dan menanam pohon lebih banyak lagi. Pohon, terutama yang muda dan cepat pertumbuhannya, menyerap karbon dioksida yang sangat banyak, memecahnya melalui fotosintesis, dan menyimpan karbon dalam kayunya.

Gas karbon dioksida juga dapat dihilangkan secara langsung. Caranya dengan menyuntikkan (menginjeksikan) gas tersebut ke sumur-sumur minyak untuk mendorong agar minyak bumi keluar ke permukaan. Injeksi juga bisa dilakukan untuk mengisolasi gas ini di bawah tanah seperti dalam sumur minyak, lapisan batubara atau *aquifer*. Hal ini telah dilakukan di salah satu anjungan pengeboran lepas pantai Norwegia, di mana karbon dioksida yang terbawa ke permukaan bersama gas alam ditangkap dan diinjeksikan kembali ke *aquifer* sehingga tidak dapat kembali ke permukaan.

b. Persetujuan internasional

Kerja sama internasional diperlukan untuk mensukseskan pengurangan gas-gas rumah kaca. Pada tahun 1992, pada *Earth Summit* di Rio de Janeiro, Brasil, 150 negara berikrar menghadapi masalah gas rumah kaca dan setuju untuk menterjemahkan maksud ini dalam suatu perjanjian yang mengikat. Pada tahun 1997 di Jepang, 160 negara merumuskan persetujuan pengurangan emisi gas rumah kaca dikenal dengan Protokol Kyoto.

2.6. Pencegahan dan Penanggulangan Pemanasan Global

Beberapa cara dalam mencegah, mengatasi, dan menanggulangi dampak dari pemanasan global antara lain sebagai berikut:

1. Mengubah Gaya Hidup (Perilaku Pribadi)

Perilaku pribadi yang dapat dilakukan dalam mencegah dan mengatasi pemanasan global antara lain menghemat listrik, menanam pohon, membiasakan menggunakan transportasi umum, mengurangi penggunaan mobil, mengganti bahan bakar dan bahan pembersih yang ramah lingkungan.

2. Mengubah Mainset Masyarakat (Secara Kolektif)

a. Konservasi Energi dan Efisiensi Energi

Dunia industri merupakan potensi terbesar untuk penghematan energi, di mana sebagian besar energi dikonsumsi. Penghematan energi yang lain adalah sektor rumah tangga dan transportasi, baik dalam penggunaan listrik maupun bahan bakar lainnya.

b. Menukar Bahan Bakar

Emisi gas rumah kaca dari penggunaan bahan bakar fosil atau minyak bumi yang bervariasi atau menggantinya dengan bahan bakar dari biogas atau tumbuh-tumbuhan. Untuk produksi jumlah panas atau listrik yang sama, gas alam menghasilkan karbon dioksida 40% lebih rendah dibandingkan dengan batu bara dan sekitar 25% lebih rendah daripada minyak.

c. Pelestarian dan Reboisasi Hutan

Untuk menyerap 10% emisi karbon dioksida di atmosfer, dapat dilakukan dengan tanaman areal seluas Turki atau Zambia, sedangkan untuk menyerap semua emisi tahunan diperlukan menanam seluas australia.

d. Teknologi Energi yang terbarukan

Dengan mengembangkan suatu teknologi energi yang dapat menekan emisi gas rumah kaca, seperti PLTA, energi surya, energi angin di konversi menjadi listrik maupun penangkapan metana dari tempat sampah dan kotoran manusia atau hewan menjadi energi atau listrik.

e. Eliminasi CFC

Eliminasi CFC sangat diperlukan karena gas-gas tersebut dapat menyumbang 20% dari efek rumah kaca pada tahun 2030 nanti. Oleh karena itu, harus segera diambil tindakan untuk menghapus penggunaan CFC secara menyeluruh. Penggantian gas Freon dengan gas lain dalam sistem atau peralatan pendingin udara perlu segera dilakukan.

D. CONTOH INDIKATOR, SOAL, DAN PENYELESAIAN

Contoh Indikator	Contoh Soal Sesuai Indikator
1. Diberikan berbagai fenomena alam yang terjadi, peserta didik dapat mengemukakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim.	1. Terjadinya badai <i>catarina</i> di California Amerika Serikat, kekeringan yang berkepanjangan di Nusa Tenggara Timur, dan kegagalan panen yang dialami oleh petani bawang merah di Brebes adalah beberapa kejadian yang diakibatkan perubahan iklim global secara drastis. Kondisi ini disebabkan oleh.... A. La Nina B. El Nino C. Efek rumah kaca D. Global warming

Penyelesaian: D. Global warming

Contoh Indikator	Contoh Soal Sesuai Indikator
2. Diberikan berbagai kondisi yang terjadi akibat perubahan iklim dalam kehidupan sehari-hari, peserta didik dapat mengidentifikasi akibat dari perubahan iklim dalam bidang kesehatan dan pangan.	2. Banyaknya kasus flu burung yang menyerang unggas hingga menyebabkan kematian ratusan hewan ternak yang akhirnya termutasi menyerang manusia adalah salah satu akibat dari perubahan iklim yang berkaitan dengan bidang.... A. Pangan B. Kesejahteraan C. Kesehatan D. Industri

Penyelesaian: C. Kesehatan

Contoh Indikator	Contoh Soal Sesuai Indikator
3. Diberikan berbagai fenomena perubahan iklim peserta didik dapat menunjukkan cara penanggulangan dampak terjadinya perubahan iklim dengan benar.	3. Penyebab utama terjadinya pemanasan global adalah terakumulasinya CO ₂ di lapisan atmosfer bumi. Kondisi ini dapat ditanggulangi dengan perubahan gaya hidup kita, salah satu diantaranya dapat dilakukan dengan cara.... A. Melakukan pembersihan sungai B. Membeli produk organik C. Menggunakan moda transportasi massal jika bepergian D. Membangun banyak hutan kota.

Penyelesaian: C. Menggunakan moda transportasi massal jika bepergian

E. SOAL-SOAL LATIHAN

- Penyebab utama terjadinya perubahan iklim adalah:
 - Penurunan suhu bumi
 - Perubahan pola angin
 - Pemanasan global
 - Naiknya permukaan air laut
- Salah satu cara dalam rangka penanggulangan terhadap perubahan iklim adalah:
 - Menghilangkan karbon
 - Konservasi energi
 - Penggunaan energi alternatif
 - Reboisasi

3. Agar dampak buruk dari pemanasan global terhindarkan, maka sebaiknya kita mencegah terjadinya pemanasan global diantaranya dengan cara:
 - A. Menyesuaikan pola tanam
 - B. Konsumsi BBM oktan tinggi
 - C. Eliminasi CFC
 - D. Deforestasi

4. Terkait dengan penggunaan energi yang dapat mendukung penanggulangan dampak pemanasan global adalah....
 - A. Penggunaan energi terbarukan
 - B. Penggunaan transportasi umum
 - C. Konservasi energi
 - D. Penghematan penggunaan energi

5. Gangguan ekologis sebagai dampak pemanasan global yang dialami oleh makhluk hidup yang dapat menyebabkan kepunahan spesies tertentu adalah disebabkan oleh:
 - A. Perubahan iklim
 - B. Peningkatan suhu habitatnya
 - C. Barrier jalur migrasinya
 - D. Penurunan daya adaptasinya

F. LATIHAN MERUMUSKAN INDIKATOR DAN MEMBUAT BUTIR SOAL

Berdasarkan SKL materi Penanggulangan perubahan iklim yang dicantumkan pada bagian Pengantar di atas, rumuskan indikator dan kembangkan butir soal untuk mengukur indikator tersebut.

G. DAFTAR PUSTAKA

"Summary for Policymakers" (PDF). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 05-02-2007. Diarsipkan dari versi asli (PDF) tanggal 2007-02-03. Diakses tanggal 02-02-2007.

NASA: Global Warming to Cause More Severe Tornadoes, Storms, Fox News, August 31, 2007.

Stocker, Thomas F.; *et al.* (20-01-2001). "7.5.2 Sea Ice". *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Diakses tanggal 11-02-2007.

- Buesseler, K.O., C.H. Lamborg, P.W. Boyd, P.J. Lam, T.W. Trull, R.R. Bidigare, J.K.B. Bishop, K.L. Casciotti, F. Dehairs, M. Elskens, M. Honda, D.M. Karl, D.A. Siegel, M.W. Silver, D.K. Steinberg, J. Valdes, B. Van Mooy, S. Wilson. (2007) "Revisiting carbon flux through the ocean's twilight zone." *Science* **316**: 567-570.
- Marsh, Nigel; Henrik, Svensmark (November 2000). "Cosmic Rays, Clouds, and Climate" (PDF). *Space Science Reviews* **94** (1-2): 215–230. doi:10.1023/A:1026723423896. Diakses tanggal 17-04-2007.
- "Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis (Fig. 2.12)". 2001. Diakses tanggal 08-05-2007.
- Scafetta, Nicola; West, Bruce J. (09-03-2006). "Phenomenological solar contribution to the 1900-2000 global surface warming" (PDF). *Geophysical Research Letters* **33** (5). doi:10.1029/2005GL025539. L05708. Diakses tanggal 08-05-2007.
- Stott, Peter A.; *et al.* (03-12-2003). "Do Models Underestimate the Solar Contribution to Recent Climate Change?" (PDF). *Journal of Climate* **16** (24): 4079–4093. doi:10.1175/1520-0442(2003)016%3C4079:DMUTSC%3E2.0.CO;2. Diakses tanggal 16-04-2007.
- Foukal, Peter; *et al.* (14-09-2006). "Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate.". *Nature*. Diakses tanggal 16-04-2007.
- "Changes in Solar Brightness Too Weak to Explain Global Warming". National Center for Atmospheric Research. 14-09-2006. Diakses tanggal 13-07-2007.
- Hansen, James (2000). "Climatic Change: Understanding Global Warming". *One World: The Health & Survival of the Human Species in the 21st Century*. Health Press. Diakses tanggal 2007-08-18.
- "Summary for Policymakers". *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 20-01-2001]]. Diakses tanggal 28-04-2007.
- Torn, Margaret; Harte, John (26-05-2006). "Missing feedbacks, asymmetric uncertainties, and the underestimation of future warming". *Geophysical Research Letters* **33** (10). L10703. Diakses tanggal 04-03-2007.
- Harte, John; *et al.* (30-10-2006). "Shifts in plant dominance control carbon-cycle responses to experimental warming and widespread drought". *Environmental Research Letters* **1** (1). 014001. Diakses tanggal 02-05-2007.
- Scheffer, Marten; *et al.* (26-05-2006]]. "Positive feedback between global warming and atmospheric CO₂ concentration inferred from past climate change." (PDF). *Geophysical Research Letters* **33**. doi:10.1029/2005gl025044. Diakses tanggal 04-05-2007.

Stocker, Thomas F.; *et al.* (20-01-2001). "7.2.2 Cloud Processes and Feedbacks". *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Diakses tanggal 04-03-2007.

Hart, John. "Global Warming." Microsoft® Encarta® 2006 [DVD]. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2005.

<http://www.g-excess.com/pengertian-pemanasan-global-atau-global-warming.html> diakses pada hari Kamis, 19 Maret 2015. Pukul 09.00 WIB

<http://carakata.org/pemanasan-global-pengertian-penyebab-dampak-dan-akibat-efek-rumah-kaca/> diakses pada hari Kamis, 19 Maret 2015. Pukul 09.00 WIB

Soekidjo Notoatmodjo, 2007. *Kesehatan Masyarakat : Ilmu dan Seni*. Yang Menerbitkan PT Rineka Cipta : Jakarta.