

BBM 9. EFEK RADIASI MATAHARI TERHADAP BUMI

Oleh : Andi Suhandi

PENDAHULUAN

Apakah pentingnya radiasi Matahari bagi kehidupan di Bumi? Radiasi Matahari sangat berguna bagi keseimbangan panas Bumi. Bumi dan atmosfer secara tetap menyerap radiasi Matahari dan mengemisikan kembali radiasinya ke angkasa hingga sistem Bumi-atmosfer berada dalam keseimbangan radiatif dengan Matahari. Dapatkah proses alamiah ini mengalami gangguan? Proses alamiah ini dapat terganggu oleh aktivitas manusia di Bumi, yang menghasilkan polutan-polutan yang dapat menghambat proses radiasi Bumi ke angkasa, sehingga mengganggu keseimbangan radiatif dengan Matahari. Gangguan ini tentu akan merugikan dan membahayakan kehidupan di Bumi. Terhambatnya radiasi permukaan Bumi menuju angkasa, akan menimbulkan efek pemanasan Bumi. Jika hal ini terus menerus terjadi, maka dapat Anda bayangkan apa yang akan terjadi ketika efek pemanasan ini mencairkan daratan es di kutub. Selain itu polutan-polutan juga dapat merusak lapisan Ozon di atmosfer. Lapisan Ozon berperan sebagai pelindung mahluk hidup di Bumi dari radiasi Matahari yang berbahaya seperti radiasi ultraviolet. Jika Ozon rusak maka mahluk hidup akan rentan terhadap bahaya yang ditimbulkan radiasi Matahari. Untuk mengurangi efek-efek tersebut, maka tidak bisa ditawar lagi untuk segera membatasi aktivitas manusia yang dapat menghasilkan polutan-polutan tersebut. Sangat penting bagi kita untuk memiliki pengetahuan yang baik tentang bagaimana mekanisme pemanasan global, zat-zat polutan apa saja yang dapat menimbulkan efek tersebut, aktivitas manusia apa saja yang dapat menghasilkan polutan seperti itu, bagaimana mekanisme perusakan Ozonosfer, zat-zat apa saja yang dapat merusak Ozon, dari aktivitas apa saja yang dapat menghasilkan zat-zat polutan tersebut, dan lain-lain yang ada kaitannya dengan peristiwa ini. Dengan mengetahui itu semua, diharapkan kita memiliki pola perilaku hidup yang senantiasa bebas polutan. Kita diharapkan menjaga kelestarian hutan dan biota-biota di perairan baik perairan darat maupun laut. Tentu yang terpenting adalah dapat menekan jumlah gas

polutan yang dihasilkan dari aktivitas hidup kita dan mengurangi penggunaan gas-gas yang tergolong polutan pada berbagai alat rumah tangga yang kita gunakan.

Secara umum BBM ini menjelaskan tentang radiasi Matahari dan keseimbangan panas Bumi serta perubahan musim, Efek pemanasan global di Bumi, dan Mekanisme perusakan lapisan Ozonosfer.

Setelah mempelajari Bahan Belajar Mandiri (BBM) ini, secara khusus Anda diharapkan dapat :

1. Menjelaskan tentang keseimbangan radiasi Matahari
2. Menjelaskan tentang keseimbangan radiasi Bumi
3. Menjelaskan hubungan pergerakan semu matahari dengan musim
4. Menyebutkan jenis-jenis musim yang ada di Bumi dan karakteristiknya
5. Menjelaskan efek rumah kaca
6. Menjelaskan mekanisme terbentuknya efek rumah kaca
7. Menyebutkan faktor-faktor penyebab terjadinya efek rumah kaca
8. Menjelaskan mekanisme penipisan lapisan Ozon
9. Menyebutkan faktor-faktor penyebab terjadinya penipisan lapisan Ozon

Untuk membantu Anda mencapai tujuan tersebut, BBM ini diorganisasikan menjadi dua Kegiatan Belajar (KB), yaitu :

KB 1 : Efek Radiasi Matahari terhadap keseimbangan panas Bumi dan perubahan musim, dan

KB 2 : Hubungan radiasi dengan efek rumah kaca dan penipisan Ozonosfer

Untuk membantu Anda dalam mempelajari BBM ini, ada baiknya diperhatikan beberapa petunjuk belajar berikut ini :

1. Bacalah dengan cermat bagian pendahuluan ini sampai Anda memahami secara tuntas tentang apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari bahan belajar ini
2. Baca sepintas bagian demi bagian dan temukan kata-kata kunci dari kata-kata yang dianggap baru. Carilah dan baca pengertian kata-kata kunci tersebut dalam kamus yang Anda miliki
3. Tangkaplah pengertian demi pengertian melalui pemahaman sendiri dan tukar pikiran dengan mahasiswa lain atau dengan tutor Anda

4. Untuk memperluas wawasan, baca dan pelajari sumber-sumber lain yang relevan. Anda dapat menemukan bacaan dari berbagai sumber, termasuk dari internet
5. Mantapkan pemahaman Anda dengan mengerjakan latihan dan melalui kegiatan diskusi dalam kegiatan tutorial dengan mahasiswa lainnya atau teman sejawat
6. Jangan dilewatkan untuk mencoba menjawab soal-soal yang dituliskan pada setiap akhir kegiatan belajar. Hal ini berguna untuk mengetahui apakah Anda sudah memahami dengan benar kandungan bahan belajar ini.

Selamat belajar !

KEGIATAN BELAJAR 1

EFEK RADIASI MATAHARI TERHADAP KESEIMBANGAN PANAS BUMI DAN MUSIM

PENGANTAR

Kapan keseimbangan panas Bumi dapat tercapai? Keseimbangan panas Bumi (temperatur Bumi sepanjang tahun tidak meningkat atau tidak menurun) akan tercapai jika radiasi Matahari yang diserap oleh sistem atmosfer Bumi seluruhnya diradiasikan kembali oleh Bumi ke angkasa. Untuk menuju keadaan tersebut, Bumi memancarkan radiasi ke angkasa dalam bentuk dan kuantitas pancaran seperti berikut; 14 % hilang ke ruang angkasa dan tidak memanasi atmosfer, 6 % radiasi Bumi diserap atmosfer yang disebut radiasi efektif, 9 % diterima atmosfer melalui panas yang dibawa oleh arus turbulensi dan konveksi. 19 % diterima atmosfer melalui kondensasi dari uap air, dimana panas laten kondensasi dilepaskan. Jumlah ini pas sama dengan radiasi Matahari yang diserap sistem atmosfer-Bumi.

Apakah yang dapat menyebabkan variasi radiasi Matahari di seluruh permukaan Bumi? Pergerakan semu Matahari menyebabkan adanya variasi radiasi matahari di seluruh permukaan Bumi, sehingga menyebabkan adanya variasi musim di belahan bumi pada kurun-kurun waktu tertentu. Di bumi terdapat empat jenis musim, yaitu ; musim dingin, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari, sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus; musim semi, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Maret, April, dan Mei, sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan September, Oktober, dan November; musim panas, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus, sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari; dan musim gugur, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan September, Oktober, dan November, sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Maret, April, dan Mei.

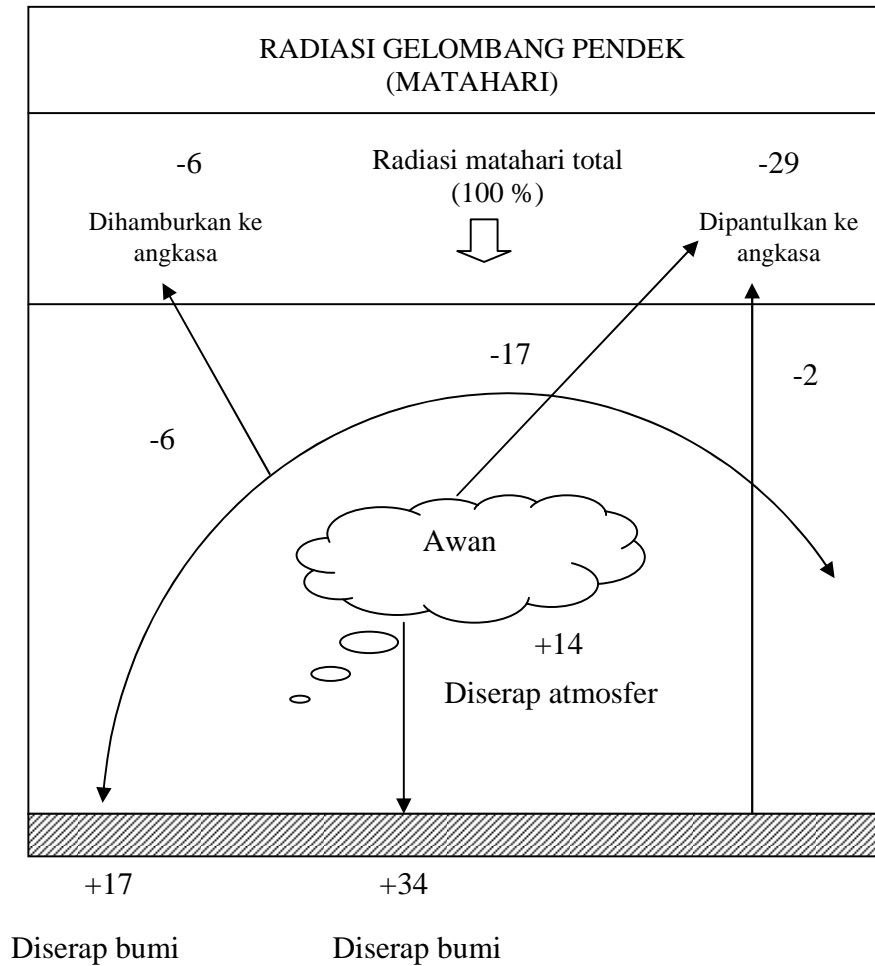
Apakah di Indonesia dijumpai keempat musim ini? Di Indonesia ke empat musim ini tidak dijumpai, karena variasi temperatur sepanjang tahun di Indonesia sangat kecil. Hal ini terjadi berkaitan dengan letak Indonesia di khatulistiwa.

A. KESEIMBANGAN PANAS BUMI

Bagaimanakah proses penyerapan dan pengemisiaan radiasi Matahari oleh atmosfer Bumi dan permukaan Bumi? Diperkirakan bahwa 35 % dari radiasi Matahari yang diterima pada batas atas atmosfer Bumi dikembalikan kembali ke ruang angkasa dalam bentuk gelombang pendek oleh proses hamburan, dan pemantulan-pemantulan oleh awan, oleh partikel-partikel debu, oleh molekul-molekul udara, dan oleh permukaan Bumi, dengan perincian; 2 % dipantulkan oleh permukaan Bumi, 6 % dipantulkan atau dihamburkan oleh atmosfer, dan 27 % dipantulkan oleh awan. Sisanya sebesar 65 % diserap oleh atmosfer Bumi dan permukaan Bumi. Atmosfer menyerap sebesar 14 % radiasi Matahari dan permukaan Bumi menyerap sebesar 51 % radiasi. Radiasi yang diserap permukaan Bumi dipergunakan untuk memanasi atmosfer dari bawah. Dari 51 % radiasi yang diserap permukaan Bumi, 34 % berasal dari radiasi Matahari langsung, dan 17 % lagi dari radiasi difus atau radiasi langit (*sky radiation*). Dengan demikian hanya 65 % dari radiasi Matahari yang dapat digunakan untuk memanaskan atmosfer Bumi, yaitu sebesar 14 % langsung diserap oleh atmosfer, dan 51 % yang diserap permukaan Bumi. Gambar 9.1 menunjukkan keseimbangan radiasi Matahari dan Gambar 9.2 menunjukkan keseimbangan radiasi Bumi (Tjasyono, 2006).

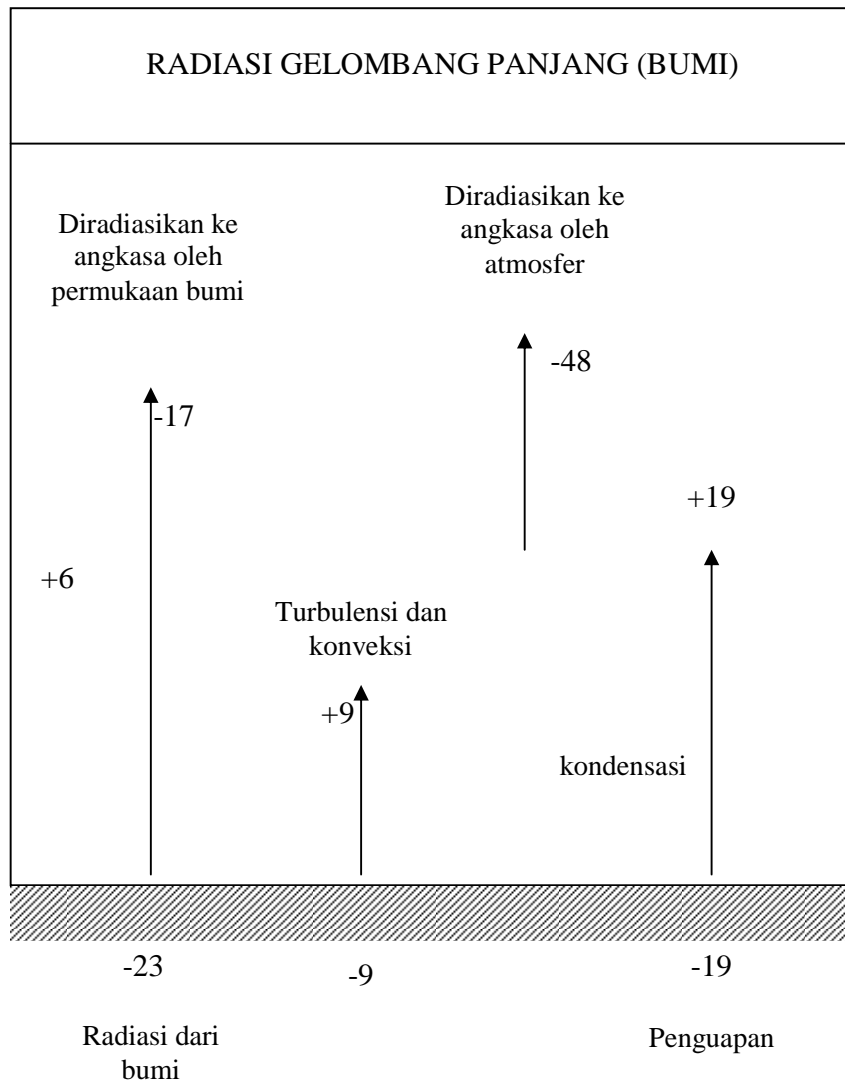
Karena temperatur rata-rata tahunan Bumi secara keseluruhan konstan, artinya Bumi tidak bertambah panas atau bertambah dingin, maka 65 % dari radiasi Matahari yang diserap atmosfer dan permukaan Bumi harus dipancarkan kembali ke ruang angkasa dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Tidak boleh ada radiasi yang menumpuk di Bumi. Bentuk dan kuantitas pancaran radiasi sistem atmosfer Bumi adalah (Gambar 9.2) : 14 % hilang ke ruang angkasa dan tidak memanasi atmosfer, 6 % radiasi Bumi diserap atmosfer yang disebut radiasi efektif, 9 % diterima atmosfer

melalui panas yang dibawa oleh arus turbulensi dan konveksi. 19 % diterima atmosfer melalui kondensasi dari uap air, dimana panas laten kondensasi dilepaskan.



Gambar 9.1. Keseimbangan radiasi Matahari

Jadi jumlah radiasi yang dipancarkan ke ruang angkasa oleh atmosfer sama dengan $14 + 6 + 9 + 19 = 48 \%$, dan jumlah yang dipancarkan langsung oleh permukaan Bumi ke ruang angkasa adalah 17% . Sehingga jumlah total radiasi yang pancarkan kembali oleh sistem atmosfer-Bumi ke ruang angkasa adalah $48 + 17 = 65 \%$. Jumlah ini tepat seimbang dengan radiasi Matahari yang diserap oleh sistem atmosfer-Bumi, yaitu 65% (Tjasyono, 2006).



Gambar 9.2. Keseimbangan radiasi Bumi

B. MUSIM

Bagaimanakah pengaruh musim terhadap lamanya siang dan malam? Musim mempengaruhi lamanya siang hari dan lamanya insolasi. Di ekuator, lamanya siang dan malam hari sama yaitu 12 jam, sedangkan di daerah kutub, 6 bulan siang dan 6

bulan berikutnya malam. Pada tempat-tempat di lintang lain, lamanya siang dan malam hari tidak sama, seperti ditunjukkan pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1. Hubungan posisi lintang dengan lamanya siang

Lintang tempat	Lamanya siang hari
0° (ekuator)	12 jam
17°	13 jam
41°	15 jam
49°	16 jam
63°	20 jam
66°30'	24 jam
67°21'	1 bulan
69°51'	2 bulan
78°11'	4 bulan
90° (kutub)	6 bulan

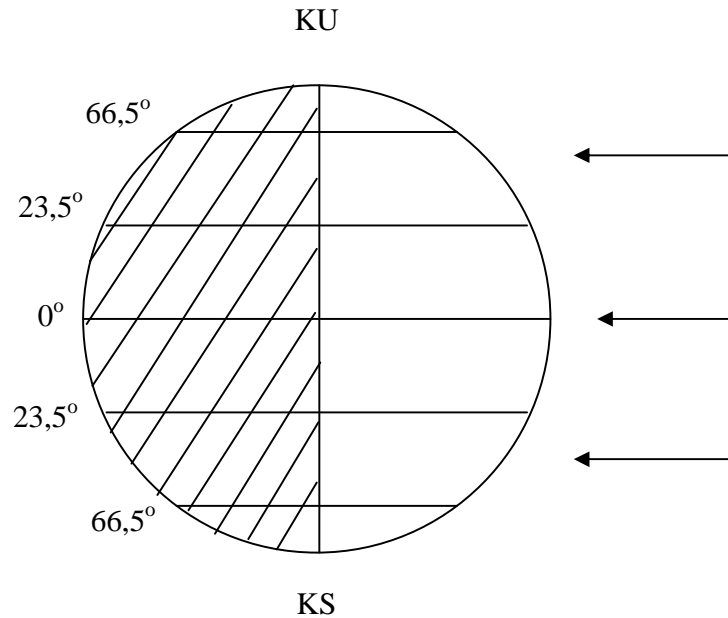
Di bumi terdapat empat jenis musim, yaitu : (Tjasyono, 2006).

1. Musim dingin, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Desember , Januari, dan Februari. Sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus

2. Musim semi, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Maret, April, dan Mei. Sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan September, Oktober, dan November.
3. Musim panas, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari
4. Musim gugur, di belahan bumi bagian utara terjadi pada bulan September, Oktober, dan November. Sedangkan di belahan bumi bagian selatan terjadi pada bulan Maret, April, dan Mei.

Karena variasi temperatur sepanjang tahun sangat kecil, di Indonesia tidak lazim disebut musim panas dan musim dingin, dan lebih lazim disebut musim kering dan musim basah atau disebut musim kemarau dan musim hujan, karena variasi musiman curah hujan sangat besar. Musim yang terdapat di Indonesia adalah musim hujan yang biasa terjadi pada bulan-bulan Desember, Januari, dan Februari; musim pancaroba ke satu yang terjadi pada bulan-bulan Maret, April, dan Mei; musim kemarau yang terjadi pada bulan-bulan Juni, Juli, dan Agustus; dan musim pancaroba ke dua yang terjadi pada bulan-bulan September, Oktober, dan November.

Berapa kali dalam satu tahun kedudukan matahari tepat di ekuator? Kedudukan Matahari pada ekuator yang disebut Ekinoks, terjadi dua kali selama periode revolusi bumi (1 tahun), yaitu pada tanggal 21 Maret yang disebut ekinoks musim semi dan pada tanggal 23 September yang disebut ekinoks musim gugur. Sinar Matahari pada jam 12.00 (tengah hari) tepat berada di atas ekuator. Oleh karena itu sinar Matahari menyinggung kedua kutub (kutub utara dan selatan), dan dengan demikian maka lingkaran terang (penyinaran) juga melalui kedua kutub tersebut. Akibatnya di seluruh Bumi lamanya siang hari dan malam hari menjadi sama, yaitu masing-masing 12 jam. Pada saat ekinoks, energi Matahari yang diterima di daerah ekuator bernilai maksimum. Besar energi Matahari berkurang ketika kita bergerak dari ekuator ke arah kutub, dan pas di kutub, besar energi matahari menjadi nol. Posisi ekinoks Matahari ditunjukkan pada Gambar 9.3. (Tjasyono, 2006).



Gambar 9.3. Ekinoks, lamanya siang dan malam sama di Bumi

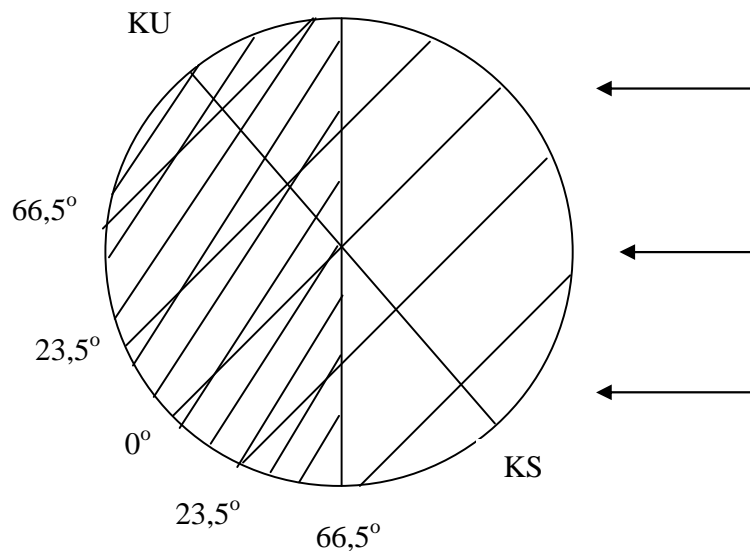
Berapa kali dalam setahun kedudukan Matahari berada pada titik balik gerak semunya? Kedudukan Matahari berada pada titik balik yang disebut Solistis, terjadi dua kali selama periode revolusi Bumi, yaitu posisi $23,5^{\circ}$ LU yang terjadi pada tanggal 22 Juni dan disebut solistis musim panas, dan posisi $23,5^{\circ}$ LS yang terjadi pada tanggal 22 Desember dan disebut solistis musim dingin untuk belahan Bumi bagian utara.

Solistis musim panas tanggal 22 Juni mempunyai ciri-ciri sebagai berikut : (Tjasyono, 2006).

1. kutub utara condong $23,5^{\circ}$ ke Matahari
2. Sinar Matahari jam 12.00 vertikal pada $23,5^{\circ}$ LU
3. Di belahan bumi bagian utara, sinar Matahari menyinggung $66,5^{\circ}$ LU setelah melewati kutub utara. Di belahan bumi bagian selatan, sinar matahari tidak menyinggung kutub selatan tetapi berakhir pada $66,5^{\circ}$ LS.

4. Lingkaran terang tidak membagi lintang sama besar, kecuali pada ekuator, sehingga lamanya siang tidak sama dengan malam hari kecuali pada ekuator.
5. Belahan Bumi bagian utara lebih luas mengarah ke arah Matahari daripada belahan Bumi bagian selatan, sehingga siang hari lebih lama di belahan Bumi utara. Daerah $66,5^{\circ}$ sampai 90° LU siang hari mencapai 6 bulan.

Solistis musim panas ditunjukkan oleh Gambar 9.4,



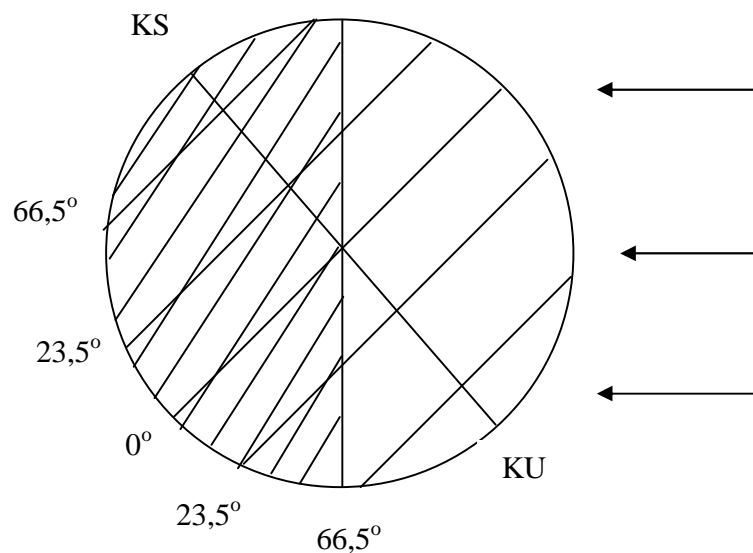
Gambar 9.4. Solistis musim panas

Solistis musim dingin tanggal 22 Desember mempunyai ciri-ciri sebagai berikut : (Tjasyono, 2006).

1. Kutub selatan condong $23,5^{\circ}$ ke Matahari
2. Sinar Matahari jam 12.00 vertikal pada $23,5^{\circ}$ LS
3. Di belahan bumi bagian selatan, sinar Matahari menyinggung $66,5^{\circ}$ LS sehingga ada cahaya, sedangkan pada $66,5^{\circ}$ LU tidak ada cahaya. Daerah $66,5^{\circ}$ sampai 90° LU, malamnya sampai 6 bulan.

4. Lingkaran terang tidak membagi lintang sama besar, kecuali pada ekuator, sehingga lamanya siang tidak sama dengan malam hari kecuali pada ekuator.
5. Luas belahan Bumi bagian utara lebih kecil mengarah ke arah Matahari daripada belahan Bumi bagian selatan, sehingga malam hari lebih lama di belahan bumi utara.
6. Pada tanggal 22 Desember, di belahan Bumi bagian utara temperatur menjadi rendah, sehingga terjadi solistis musim dingin.

Solistis musim dingin di belahan bumi utara ditunjukkan oleh Gambar 9.5.



Gambar 9.5. Solistis musim dingin di belahan bumi utara

LATIHAN

Petunjuk : Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan cermat.

1. Coba identifikasi kembali bentuk dan kuantitas pancaran radiasi Matahari dan radiasi sistem atmosfer Bumi !
2. Sebutkan kembali ciri-ciri solistis musim panas tanggal 22 Juni dan solistis musim dingin tanggal 22 Desember !

Rambu-Rambu Jawaban

1. Pelajari dengan seksama gambar 9.1 dan 9.2.
2. Pelajari dengan seksama bahasan tentang pengaruh radiasi terhadap perubahan musim, bila perlu pelajari gambar 9.3 sampai gambar 9.5..

RANGKUMAN

Diperkirakan bahwa 35 % dari radiasi Matahari yang diterima pada batas atas atmosfer Bumi dikembalikan kembali ke ruang angkasa dalam bentuk gelombang pendek oleh proses hamburan, dan pemantulan-pemantulan oleh awan, oleh partikel-partikel debu, oleh molekul-molekul udara, dan oleh permukaan Bumi, sedangkan sisanya sebesar 65 % diserap oleh atmosfer Bumi dan permukaan Bumi. Radiasi yang diserap permukaan Bumi dipergunakan untuk memanasi atmosfer dari bawah. Dari 51 % radiasi yang diserap permukaan Bumi, 34 % berasal dari radiasi Matahari langsung, dan 17 % lagi dari radiasi difus atau radiasi langit (*sky radiation*).

Karena temperatur rata-rata tahunan Bumi secara keseluruhan konstan, artinya Bumi tidak bertambah panas atau bertambah dingin, maka 65 % dari radiasi Matahari yang diserap atmosfer dan permukaan Bumi harus dipancarkan kembali ke ruang angkasa dalam bentuk radiasi gelombang panjang.

Musim mempengaruhi lamanya siang hari dan lamanya insolasi. Di ekuator, lamanya siang dan malam hari sama yaitu 12 jam, di daerah kutub 6 bulan siang dan 6 bulan berikutnya malam, dan pada tempat-tempat di lintang lain, lamanya siang dan malam hari tidak sama. Di bumi terdapat empat jenis musim, yaitu musim dingin, musim semi, musim panas, dan musim gugur. Karena variasi temperatur sepanjang tahun sangat kecil, di Indonesia tidak lazim disebut musim panas dan musim dingin, dan lebih lazim disebut musim kering dan musim basah atau disebut musim kemarau dan musim hujan, karena variasi musiman curah hujan sangat besar.

Ekinoks yang berarti kedudukan Matahari pada ekuator, terjadi dua kali selama periode revolusi bumi (1 tahun), yaitu pada tanggal 21 Maret yang disebut ekinoks musim semi dan pada tanggal 23 September yang disebut ekinoks musim gugur. Solistis yang berarti kedudukan Matahari berada pada titik balik, terjadi dua kali selama periode revolusi Bumi, yaitu posisi $23,5^{\circ}$ LU yang terjadi pada tanggal 22 Juni dan disebut solistis musim panas, dan posisi $23,5^{\circ}$ LS yang terjadi pada tanggal 22 Desember dan disebut solistis musim dingin untuk belahan bumi utara.

TES FORMATIF 1

Petunjuk : Pilihlah salah satu jawaban yang anda anggap paling tepat, dengan cara membubuhkan tanda silang (X) pada option yang disediakan.

1. Berikut ini adalah perbedaan utama antara radiasi Matahari dan radiasi Bumi, kecuali
 - A. Panjang gelombang yang diradiasikan
 - B. energi yang diradiasikan
 - C. frekuensi radiasi
 - D. intensitas radiasi
 - E. bentuk radiasi
2. Yang secara langsung menyebabkan terjadinya perbedaan radiasi Matahari dan radiasi Bumi adalah
 - A. perbedaan ukuran Bumi dan Matahari
 - B. perbedaan bahan penyusun Bumi dan Matahari
 - C. Perbedaan temperatur permukaan Bumi dan permukaan Matahari
 - D. perbedaan tekstur permukaan Bumi dan Matahari
 - E. perbedaan warna permukaan Bumi dan Matahari
3. Jumlah radiasi Matahari yang diserap permukaan Bumi adalah
 - A. 65 %
 - B. 17 %
 - C. 14 %
 - D. 51 %
 - E. 34 %
4. Energi radiasi yang digunakan untuk memanaskan atmosfer Bumi adalah
 - A. 65 %
 - B. 17 %
 - C. 14 %
 - D. 51 %

- E. 48 %
5. Energi Matahari yang diterima di daerah ekuator akan bernilai maksimum, ketika terjadi
- A. Ekinoks
 - B. Musim panas
 - C. Solistis
 - D. Musim kemarau
 - E. Musim semi
6. Kedudukan Matahari pada ekuator yang terjadi pada tanggal 21 Maret disebut.....
- A. ekinoks musim dingin
 - B. ekinoks musim semi
 - C. ekinoks musim gugur
 - D. ekinoks musim panas
 - E. ekinoks musim basah
7. Di Indonesi tidak terdapat musim dingin dan musim panas, karena
- A. Karena merupakan kepulauan
 - B. Indobesia negara lautan
 - C. Temperatur bumi di Indonesia tergolong sedang
 - D. Variasi temperatur bulanan sangat kecil
 - E. Variasi temperatur tahunan sangat kecil
8. Lamanya siang dan malam di Bumi akan sama ketika terjadi
- A. Musim semi
 - B. Solistis
 - C. Musim gugur
 - D. Musim pancaroba
 - E. Ekinoks

BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 9.1 yang terdapat pada bagian belakang BBM ini. Hitunglah jumlah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus berikut ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi kegiatan belajar 1 pada BBM ini.

Rumus :

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Anda yang Benar}}{\text{Jumlah soal}} \times 100\%$$

Klasifikasi tingkat penguasaan materi :

Rentang tingkat penguasaan	Kriteria
90 % - 100 %	Baik Sekali
80 % - 89 %	Baik
70 % - 79 %	Cukup
≤ 69 %	Kurang

Jika anda mencapai tingkat penguasaan materi 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan pada kegiatan belajar selanjutnya yaitu kegiatan belajar 2, Bagus ! Tetapi apabila tingkat penguasaan materi anda masih di bawah 80 %, anda harus mengulang kembali kegiatan belajar 1, terutama pada bagian yang belum anda kuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

HUBUNGAN RADIASI DENGAN EFEK RUMAH KACA DAN PENIPISAN OZONOSFER

PENGANTAR

Apakah aktivitas manusia dapat mengganggu keseimbangan panas Bumi? Aktivitas manusia di permukaan Bumi banyak menghasilkan polutan yang ditransfer ke atmosfer. Diantara polutan-polutan tersebut ada yang dapat menghambat radiasi Bumi menuju angkasa, yaitu gas CO₂. Gas ini akan menyerap radiasi gelombang panjang Bumi, sehingga radiasi tersebut terkungkung di atmosfer Bumi. Kungkungan ini akan menimbulkan efek pemanasan Bumi yang dikenal dengan istilah efek rumah kaca. CO₂ banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang banyak terjadi pada sektor transportasi dan industri di Bumi.

Polutan-polutan juga dapat menyebabkan kerusakan atau penipisan Ozonosfer. Kerusakan ini terjadi akibat adanya reaksi kimia antara lapisan ozon dengan klorin yang dihasilkan dari gas-gas klorin seperti CFC yang banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti gas pengisi refrigerator, atau alat pendingin udara.

A. EFEK RUMAH KACA

Bagaimana mekanisme terjadinya efek rumah kaca? Karbon monoksida (CO) adalah senyawa karbon sebagai hasil pembakaran bahan bakar fosil (produk minyak bumi ; bensin, solar, minyak diesel, dll) yang tidak sempurna, sedangkan karbon dioksida (CO₂) merupakan bentuk akhir senyawa karbon sebagai hasil pembakaran bahan bakar fosil yang sempurna. Sebenarnya CO₂ tidak beracun, tidak berbau, dan tidak berwarna, tetapi mempunyai waktu tinggal di atmosfer sekitar 4 sampai 6 tahun. Alasan bahwa CO₂ merupakan zat pencemar hanya karena dapat menimbulkan adanya efek rumah kaca saja.

Uap air menyerap radiasi dengan kuat pada panjang gelombang 5 μm sampai 7 μm dan di atas 12 μm, sedangkan CO₂ menyerap radiasi matahari pada panjang

gelombang 4 μm sampai 5 μm dan di atas 14 μm . Karena radiasi matahari terletak dalam panjang gelombang pendek, maka sebagian radiasi matahari yang diterima Bumi dapat lewat melalui atmosfer yang mengandung uap air dan gas CO_2 mencapai permukaan Bumi. Akan tetapi pada saat permukaan Bumi meradiasikan kembali energi yang diserapnya ke atmosfer, maka radiasi permukaan Bumi tersebut akan segera diserap oleh uap air dan karbon dioksida, karena radiasi Bumi memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dari radiasi Matahari. Semakin banyak kadar CO_2 di atmosfer, maka penyerapan radiasi Bumi oleh atmosfer akan semakin besar pula. Oleh karena itu kenaikan konsentrasi gas CO_2 pada lapisan atmosfer akan dapat meningkatkan pemanasan atmosfer Bumi. Efek pemanasan ini dikenal sebagai **efek rumah kaca** (Tjasyono, 2006).

Uap air dan CO_2 pada lapisan atmosfer membiarkan gelombang pendek radiasi Matahari melaluinya, tetapi menyerap gelombang panjang yang diradiasikan kembali oleh permukaan Bumi ke angkasa. Jadi variasi jumlah karbon dioksida pada atmosfer dapat menyebabkan perubahan iklim. Meskipun CO_2 merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi iklim Bumi, tetapi kadar CO_2 bukan satu-satunya penyebab perubahan iklim Bumi. Ada faktor-faktor lain yang juga berpengaruh pada perubahan iklim, misalnya kenaikan jumlah aerosol dan pembentukan awan dapat menyebabkan efek pendinginan yang besar pada atmosfer.

Bagaimana kecenderungan konsentrasi CO_2 di atmosfer Bumi dari masa ke masa? Konsentrasi CO_2 di atmosfer dari sekitar 295 ppmv (part per million volume) sebelum zaman industri hingga sekarang menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat. Sebenarnya selama masih banyak pohon hijau di daerah hutan hujan tropis dan banyak tanaman hijau yang tumbuh di laut, para ilmuwan tidak mengkhawatirkan peningkatan pembakaran bahan bakar fosil sebagai sumber gas CO_2 . Kekhawatiran mulai menghantui para ilmuwan manakala terjadi aktivitas pengrusakan hutan dan pengalihan hutan menjadi lahan pertanian atau perkebunan yang dilakukan secara besar-besaran dan liar, juga adanya kerusakan biota laut akibat pencemaran limbah. Kerusakan hutan dan plankton-plankton laut akan menyebabkan

daur CO₂ menjadi terganggu, dan sebagai efeknya maka kadarnya di atmosfer akan terus meningkat.

Adakah zat selain CO₂ yang juga dapat menimbulkan efek rumah kaca? Selain gas karbon dioksida, diperkirakan terdapat gas-gas polutan lain yang juga dapat menimbulkan efek rumah kaca yang dapat mempengaruhi iklim Bumi, yakni nitrous oksida atau dinitrogen oksida (N₂O), metan (CH₄), khlorofluorokarbon (CFC) dan Ozon (O₃), seperti ditunjukkan pada Tabel 9.2. (Tjasyono, 2006).

Tabel 9.2. Hubungan sumber polutan dengan efek rumah kaca

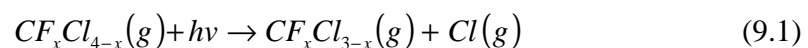
Sumber polutan	Polusi atmosfer	Efek Rumah Kaca
Energi dari bahan bakar fosil : - transportasi - industri - rumah tangga	Sulfur dioksida SO ₂	-
	Nitrogen oksida NO _x	-
	Hidrokarbon C _x H _y	-
	Karbon dioksida CO ₂	55 %
	Ozon O ₃	5 %
Peternakan	Amonia NH ₃	-
Pertanian	Metan CH ₄	20 %
Mikro-organisme	Nitrous oksida N ₂ O	5 %
Refrigerators	Khlorofluorokarbon CFC	15 %
Airconditioners		
Semprotan Aerosol		

Jika ditelusuri lebih lanjut tentang asal muasal gas-gas polutan tersebut, maka efek rumah kaca sangat erat kaitannya dengan aktivitas atau kegiatan manusia, seperti aktivitas transportasi, industri, dan rumah tangga.

B. PENIPISAN OZONOSFER

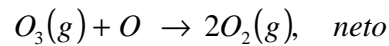
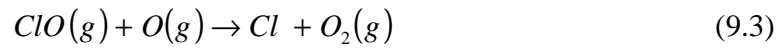
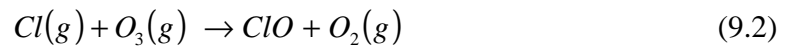
Bagaimana terjadi penipisan Ozonosfer dan apa akibatnya? Pada tahun 1974, Sherwood, Rowland dan Mario Molina dari Universitas California menyatakan bahwa Chlorin dari CFC (*Chlorofluorocarbons*) dapat merusak lapisan Ozon di atmosfer. Bahan ini terutama CFCl_3 (Freon 11) dan CFCl_2 (Freon 12) telah banyak dipakai sebagai bahan pembakar (*propellants*) dalam kaleng-kaleng semprotan, gas alat pendingin (refrigerator), gas pengatur udara (*air conditioner*), dan sebagai agen busa untuk plastik. CFC sebenarnya tidak reaktif di lapisan atmosfer bawah dan relatif tidak larut (*insoluble*) dalam air, sehingga CFC tidak jatuh terbawa oleh tetes-tetes hujan ke permukaan Bumi. Kurang reaktifnya CFC membuat bahan ini secara komersial bermanfaat, tetapi waktu hidup CFC di atmosfer menjadi lebih lama, dan akhirnya dapat berdifusi masuk ke lapisan stratosfer. Diperkirakan beberapa juta ton CFC berada di lapisan atmosfer.

Ketika CFC berdifusi ke lapisan stratosfer, maka radiasi energi tinggi Matahari yaitu yang memiliki panjang gelombang dalam daerah antara 190 dan 225 nm menyebabkan fotolisis atau pemecahan ikatan karbon-klorin dari CFC melalui reaksi kimia seperti berikut : (Tjasyono, 2006).



Dimana h adalah konstanta Planck yang nilainya $6,625 \times 10^{-34}$ J.s, ν adalah frekuensi radiasi, g artinya berbentuk gas, dan $h\nu$ adalah energi foton (radiasi).

Dari reaksi tersebut dihasilkan atom khlor (Cl). Pembentukan atom khlor dengan laju terbesar terjadi pada ketinggian sekitar 30 km di atas permukaan Bumi. Atom khlor yang dihasilkan dapat bereaksi cepat dengan Ozon untuk membentuk khlor monoksida (ClO) dan molekul oksigen (O_2). Selanjutnya ClO dapat bereaksi dengan atom O untuk kembali membentuk atom khlor, menurut persamaan reaksi :



Hasil reaksi di atas adalah perubahan Ozon (O_3) menjadi O_2 . Artinya lapisan Ozon (O_3) menjadi rusak. Dalam reaksi ini khlor berperan sebagai katalisator, karena Cl dipakai pada langkah pertama dalam mekanisme persamaan 9.2 yang kemudian terbentuk kembali dalam langkah kedua persamaan 9.3. Diperkirakan bahwa setiap atom Cl akan merusak sekitar 100.000 molekul Ozon sebelum khlor sendiri rusak oleh reaksi-reaksi lain.

Apakah efek dari penipisan lapisan Ozon ini bagi kehidupan mahluk hidup di Bumi? Meskipun kecepatan molekul CFC berdifusi kedalam lapisan stratosfer dari permukaan Bumi kemungkinan rendah, tetapi kerusakan Ozonosfer oleh CFC telah diyakini keberadaannya berdasarkan hasil observasi. Sejak akhir 1970an, para peneliti telah mendapatkan bukti penipisan lapisan ozon di kutub selatan yang terjadi selama musim semi Australia. Demikian juga di kutub utara. Salah satu fungsi ozon adalah melindungi Bumi dari radiasi-radiasi Matahari yang berbahaya bagi mahluk hidup yaitu yang dapat merusak jaringan-jaringan sel mahluk hidup. Meningkatnya penyakit kanker kulit dan katarak, diyakini sebagai efek dari rusaknya lapisan Ozon ini. Sehingga apabila lapisan Ozon ini rusak maka tidak ada pelindung lagi bagi mahluk akan sengatan radiasi Matahari berenergi sangat tinggi.

LATIHAN

Petunjuk : Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan cermat.

1. Coba anda identifikasi kegiatan manusia yang dapat menghasilkan polutan-polutan yang dapat menimbulkan efek rumah kaca !
2. Ceritakan kembali dengan kata-kata anda sendiri, bagaimana mekanisme pengrusakan Ozon oleh CFC !

Rambu-Rambu Jawaban

1. tulis dalam bentuk tabel seperti tabel 9.2.
2. Baca dan pelajari dengan seksama persamaan-persamaan reaksi 9.1 sampai 9.3.

RANGKUMAN

CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil sebenarnya tidak beracun, tidak berbau, dan tidak berwarna, tetapi mempunyai waktu tinggal di atmosfer sekitar 4 sampai 6 tahun. Alasan bahwa CO₂ merupakan zat pencemar hanya karena dapat menimbulkan adanya efek rumah kaca saja. CO₂ dapat menyerap radiasi gelombang panjang 4 μm sampai 5 μm dan di atas 14 μm. Karena radiasi matahari terletak dalam panjang gelombang pendek, maka sebagian radiasi matahari yang diterima Bumi tidak diserap oleh CO₂ dan dapat mencapai permukaan Bumi. Akan tetapi pada saat permukaan Bumi meradiasikan kembali energi yang diserapnya ke atmosfer, maka radiasi tersebut karbon dioksida, karena radiasi Bumi tergolong gelombang panjang. Semakin banyak kadar CO₂ di atmosfer, maka penyerapan radiasi Bumi oleh atmosfer akan semakin besar pula. Oleh karena itu kenaikan konsentrasi gas CO₂ pada lapisan atmosfer akan dapat meningkatkan pemanasan atmosfer Bumi. Efek pemanasan ini dikenal sebagai **efek rumah kaca**.

Selain gas karbon dioksida, diperkirakan terdapat gas-gas polutan lain yang juga dapat menimbulkan efek rumah kaca yang dapat mempengaruhi iklim Bumi, yakni nitrous oksida atau dinitrogen oksida (N₂O), metan (CH₄), klorofluorokarbon (CFC) dan Ozon (O₃),

Konsentrasi CO₂ di atmosfer cenderung terus meningkat seiring dengan semakin maraknya pengrusakan hutan dan pengalihan fungsinya menjadi lahan pertanian atau perkebunan, serta kerusakan biota laut akibat pencemaran limbah. Kerusakan hutan dan plankton-plankton laut akan menyebabkan daur CO₂ menjadi terganggu. Jika ditelusuri lebih lanjut tentang asal muasal gas-gas polutan tersebut, maka efek rumah kaca sangat erat kaitannya dengan aktivitas atau kegiatan manusia, seperti aktivitas transportasi, industri, dan rumah tangga.

Gas Chlorin dari CFC (*Chlorofluorocarbons*) dapat merusak lapisan Ozon di atmosfer. Bahan ini terutama CFC₁₃ (Freon 11) dan CFC₁₂ (Freon 12) banyak dipakai sebagai bahan pembakar (propellants) dalam kaleng-kaleng semprotan, gas alat pendingin (refrigerator), gas pengatur udara (air conditioner), dan sebagai agen busa

untuk plastik. CFC sebenarnya tidak reaktif di lapisan atmosfer bawah dan relatif tidak larut (insoluble) dalam air.

Ketika CFC berdifusi ke lapisan stratosfer, maka radiasi Matahari yang memiliki panjang gelombang dalam daerah antara 190 dan 225 nm dapat menyebabkan fotolisis atau pemecahan ikatan karbon-klorin dari CFC yang akan menghasilkan atom klorin (Cl). Atom klorin yang dihasilkan dapat bereaksi cepat dengan Ozon untuk membentuk klorin monoksida (ClO) dan molekul oksigen (O_2). Selanjutnya ClO dapat bereaksi dengan atom O untuk kembali membentuk atom klorin. Hasil reaksi tersebut adalah perubahan Ozon (O_3) menjadi O_2 . Dalam hal ini klorin berperan sebagai katalisator, Diperkirakan bahwa setiap atom Cl akan merusak sekitar 100.000 molekul Ozon.

Salah satu fungsi ozon adalah melindungi Bumi dari radiasi-radiasi Matahari yang berbahaya bagi makhluk hidup yaitu yang dapat merusak jaringan-jaringan sel makhluk hidup, dan jika lapisan Ozon ini rusak maka tidak ada pelindung lagi bagi makhluk akan sengatan radiasi Matahari berenergi sangat tinggi.

TES FORMATIF 2

Petunjuk : Pilihlah salah satu jawaban yang anda anggap paling tepat, dengan cara membubuhkan tanda silang (X) pada option yang disediakan.

1. Gas CO₂ digolongkan polutan bagi atmosfer, karena

 - A. Beracun
 - B. berwarna
 - C. berbau
 - D. menimbulkan efek rumah kaca
 - E. merusak Ozon

2. Efek rumah kaca adalah

 - A. meningkatnya temperatur Bumi akibat penyerapan radiasi gelombang pendek Matahari oleh gas CO₂ di atmosfer
 - B. meningkatnya temperatur Bumi akibat penyerapan radiasi gelombang panjang yang diradiasikan permukaan Bumi
 - C. meningkatnya temperatur Bumi akibat penyerapan radiasi gelombang panjang Matahari oleh gas CO₂ di atmosfer
 - D. meningkatnya temperatur Bumi akibat penyerapan radiasi gelombang pendek yang diradiasikan permukaan Bumi
 - E. meningkatnya temperatur Bumi akibat penyerapan radiasi kosmik oleh gas CO₂ di atmosfer

3. Gas-gas berikut adalah penyebab munculnya efek rumah kaca, kecuali

 - A. CO₂
 - B. O₃
 - C. CH₄
 - D. NH₃
 - E. CFC

4. Kerusakan hutan dan plankton-plankton laut turut andil dalam meningkatnya efek rumah kaca, karena
 - A. Terganggunya daur NH_3
 - B. Berkurangnya penetralisir Aerosol
 - C. Terganggunya daur CO_2
 - D. Berkurangnya penyerap gas Metan
 - E. Pengrusakan hutan menghasilkan gas hidrokarbon
5. Berikut ini adalah kegiatan Manusia yang dapat menyebabkan munculnya efek rumah kaca, kecuali
 - A. Menanam pohon
 - B. Memakai kendaraan bermotor
 - C. Menjalankan mesin pabrik
 - D. Menggunakan kulkas
 - E. Menyalakan AC
6. Chlorin dari CFC (*Chlorofluorocarbons*) dapat merusak lapisan Ozon, karena
 - A. sangat reaktif
 - B. dapat menghasilkan khlor yang dapat bereaksi dengan Ozon
 - C. dapat menghasilkan fluor yang dapat bereaksi dengan Ozon
 - D. larut dalam air
 - E. dapat menghasilkan khlor yang dapat bereaksi dengan Oksigen
7. Pemecahan ikatan karbon-klorin dari CFC terjadi pada lapisan
 - A. ionosfer
 - B. termosfer
 - C. mesosfer
 - D. Stratosfer
 - E. troposfer
8. Berikut ini adalah peralatan rumah tangga yang menggunakan CFC yang dapat merusak Ozon, kecuali
 - A. bahan pembakar (propellants) dalam kaleng-kaleng semprotan,
 - B. gas alat pendingin (refrigerator),

- C. gas pengatur udara (air conditioner), dan
- D. sebagai agen busa untuk plastik
- E. gas untuk memasak (elpiji)

BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 9.2 yang terdapat pada bagian belakang BBM ini. Hitunglah jumlah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus berikut ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi kegiatan belajar 1 pada BBM ini.

Rumus :

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Anda yang Benar}}{\text{Jumlah soal}} \times 100\%$$

Klasifikasi tingkat penguasaan materi :

Rentang tingkat penguasaan	Kriteria
90 % - 100 %	Baik Sekali
80 % - 89 %	Baik
70 % - 79 %	Cukup
≤ 69 %	Kurang

Jika anda mencapai tingkat penguasaan materi 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan pada kegiatan belajar BBM selanjutnya yaitu BBM 10, Sangat Bagus ! Tetapi apabila tingkat penguasaan materi anda masih di bawah 80 %, anda harus

mengulang kembali kegiatan belajar 2 ini, terutama pada bagian yang belum anda kuasai.

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

Kunci Jawaban Tes Formatif 1

1. E
2. C
3. D
4. A
5. A
6. B
7. E
8. E

Alasan :

1. Radiasi Matahari dan radiasi Bumi memiliki bentuk yang sama yaitu berupa gelombang elektromagnetik, perbedaannya terletak pada panjang gelombang, frekuensi, energi, dan intensitas gelombang elektromagnetik yang diradiasikan.
2. Energi radiasi suatu benda bergantung pada temperatur permukaan benda, temperatur permukaan Matahari sangat jauh lebih tinggi dari temperatur permukaan Bumi, sehingga radiasi Matahari berbeda dengan radiasi Bumi.
3. Radiasi Matahari yang menuju Bumi, 2 % dipantulkan oleh permukaan Bumi, 6 % dipantulkan oleh atmosfer, 27 % dipantulkan oleh awan, 14 % diserap atmosfer, dan 51 % diserap permukaan Bumi.

4. Radiasi Matahari yang digunakan untuk memanaskan sistem atmosfer Bumi adalah 65 %, dengan rincian 14 % diserap langsung atmosfer dan 51% diserap permukaan Bumi.
5. Kedudukan Matahari pada ekuator disebut ekinoks, terjadi dua kali setahun. Ketika ekinoks sinar Matahari pada jam 12.00 sinar Matahari tepat di atas ekuator, sehingga energi Matahari yang diterima di daerah ekuator bernilai maksimum.
6. Ekinoks terjadi dua kali yaitu tanggal 21 Maret dan 23 September, Karena pada bulan maret di belahan bumi utara terjadi musim semi, maka ekinoks yang terjadi pada tanggal 21 Maret disebut ekinoks musim semi.
7. Musim dingin dan musim panas terjadi jika variasi temperatur di suatu wilayah sepanjang tahun cukup besar. Di Indonesia variasi temperatur sepanjang tahun tergolong kecil, jadi di Indonesia tidak dikenal musim panas dan dingin.
8. Lamanya siang dan malam di Bumi yaitu masing-masing 12 jam terjadi ketika kedudukan matahari pada ekuator yang disebut sebagai ekinoks.

Kunci Jawaban Tes Formatif 2

1. D
2. B
3. D
4. C
5. A
6. B
7. D
8. E

Alasan :

1. Gas CO₂ merupakan bentuk akhir senyawa karbon sebagai hasil pembakaran bahan bakar fosil yang sempurna. CO₂ sebenarnya tidak beracun, tidak berbau, dan tidak

berwarna. Tetapi gas ini dapat menimbulkan efek rumah kaca, sehingga digolongkan polutan (pencemar).

2. Efek rumah kaca adalah meningkatnya temperatur permukaan Bumi yang diakibatkan penyerapan radiasi gelombang panjang dari permukaan Bumi oleh gas-gas polutan seperti CO₂.
3. Gas-gas polutan yang dapat menyebabkan efek rumah kaca antara lain : CO₂, N₂O, CH₄, CFC, dan O₃.
4. Pohon-pohon di hutan dan plankton-plankton di perairan merupakan penyerap CO₂ dan menghasilkan Oksigen melalui proses fotosintesis, jadi dapat mengendalikan kadar CO₂ di atmosfer. Jika pohon-pohon ditebang dan plankton-plankton di lautan rusak, maka daur CO₂ akan terganggu dan konsentrasinya di atmosfer makin meningkat, akibatnya efek rumah kaca semakin meningkat pula.
5. Gas-gas polutan yang menyebabkan efek rumah kaca dihasilkan dari kegiatan-kegiatan manusia terkait aktivitas transportasi, industri dan rumah tangga.
6. CFC dapat merusak Ozon karena klorin dari CFC dapat menghasilkan klor yang dapat bereaksi dengan Ozon (O₃) menghasilkan O₂. Semakin banyak O₃ yang diubah menjadi O₂ maka lapisan O₃ (Ozon) akan semakin tipis.
7. Pemecahan ikatan karbon-klorin dari CFC terjadi pada lapisan stratosfer, dimana lapisan Ozon berada.
8. Alat-alat rumah tangga yang menggunakan CFC yang dapat merusak lapisan ozon antara lain : bahan pembakar (propellants) dalam kaleng-kaleng semprotan, gas pengisi alat pendingin (refrigerator), gas pengatur suhu udara (AC), dan berbagai agen busa untuk plastik.

DAFTAR PUSTAKA

Tjasyono, B., 2006, Ilmu Kebumihan dan Entariksa, Rosdakarya, Bandung

GLOSARIUM

Ekinoks : Kedudukan Matahari pada ekuator, terjadi dua kali selama periode revolusi bumi (1 tahun),

Solistis : Kedudukan Matahari berada pada titik balik, terjadi dua kali selama periode revolusi Bumi

Polutan : Gas-gas buang hasil aktivitas manusia di permukaan Bumi yang ditransfer ke atmosfer, yang dapat menghambat radiasi Bumi menuju angkasa atau menyebabkan kerusakan atau penipisan Ozonosfer

Efek Rumah Kaca : Efek pemanasan atmosfer Bumi akibat kenaikan konsentrasi gas CO₂ pada lapisan atmosfer yang menghambat radiasi Bumi menuju angkasa.

Ozonosfer : Lapisan di atmosfer yang banyak mengandung Ozon (O₃) yang berfungsi melindungi makhluk hidup di Bumi dari radiasi ultraviolet

CFC (*Chlorofluorocarbons*) : Bahan ini terutama CFCl₃ (Freon 11) dan CFCl₂ (Freon 12) telah banyak dipakai sebagai bahan pembakar (*propellants*) dalam kaleng-kaleng semprotan, gas alat pendingin (refrigerator), gas pengatur udara (*air conditioner*), dan sebagai agen busa untuk plastik dapat merusak lapisan Ozon di atmosfer.