

## **BBM 8. RADIASI ENERGI MATAHARI**

**Oleh : Andi Suhandi**

### **PENDAHULUAN**

Kita meyakini sumber-sumber kehidupan dan berbagai fenomena fisis yang terjadi di Bumi kita sangat erat kaitannya dengan aktivitas Matahari. Oleh karena itu sangat penting bagi Anda untuk mengetahui dan memahami aktivitas apa saja yang terjadi di Matahari, produk-produk apa saja yang dihasilkan dari berbagai aktivitas tersebut, dengan cara bagaimana produk-produk tersebut disalurkan ke ruang angkasa hingga mencapai Bumi, Bagaimana pengaruh atmosfer Bumi terhadap produk-produk yang datang dari Matahari dan Efek-efek apa saja yang terjadi di sistem atmosfer Bumi akibat diterimanya produk-produk matahari di planet Bumi. Dengan mengetahui hal-hal tersebut, maka Kita dapat semaksimal mungkin memanfaatkan produk-produk yang menguntungkan bagi kehidupan makhluk hidup di Bumi dan dapat sedini mungkin melakukan antisipasi untuk menghindari berbagai produk dan fenomena fisis yang merugikan dan membahayakan kehidupan di Bumi tersebut.

Secara umum BBM ini menjelaskan tentang bentuk-bentuk aktivitas permukaan Matahari, pembentukan energi Matahari pada inti, radiasi elektromagnetik, intensitas insolasi, karakteristik radiasi, dan efek atmosfer bumi terhadap radiasi Matahari.

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

1. Menjelaskan bentuk-bentuk aktivitas Matahari
2. Menjelaskan efek-efek yang timbul dari aktivitas Matahari terhadap Bumi
3. Menjelaskan proses pembentukan energi Matahari
4. Menjelaskan proses penyaluran energi Matahari ke seluruh ruang angkasa
5. Menjelaskan karakteristik fisis gelombang radiasi Matahari
6. Menjelaskan intensitas insolasi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya
7. Menjelaskan pengaruh keberadaan atmosfer Bumi terhadap radiasi Matahari yang menuju Bumi.

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

KB 1 : Aktivitas dan Radiasi Matahari, dan

KB 2 : Karakteristik Radiasi dan Efek Atmosfer terhadap Radiasi Matahari

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**

### **AKTIVITAS DAN RADIASI MATAHARI**

#### **PENGANTAR**

Setelah kita mengetahui struktur dan karakteristik Matahari, selanjutnya kita perlu mengetahui aktivitas-aktivitas dan proses-proses yang terjadi di Matahari dan apa saja produk yang dihasilkan dari aktivitas-aktivitas tersebut. Matahari meradiasikan produk-produk aktivitasnya ke ruang angkasa dan mencapai planet-planet. Proses apa yang terjadi di bagian inti matahari ? Di bagian inti matahari terjadi proses-proses reaksi inti (nuklir) berupa reaksi fusi (penggabungan inti) inti hidrogen menjadi inti helium, disertai pelepasan energi yang sangat besar. Energi ini dihantarkan ke ruang angkasa dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang memiliki kecepatan sangat tinggi yaitu  $3 \times 10^8$  m/s dan dapat melewati ruang hampa. Energi Matahari adalah merupakan sumber energi utama untuk proses-proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi. Intensitas radiasi Matahari yang diterima Bumi (intensitas insolasi) bergantung pada lintang atau letak suatu tempat di permukaan Bumi. Intensitas insolasi di suatu tempat bergantung terutama pada dua faktor, yaitu sudut jatuh sinar Matahari dan lamanya radiasi.

Aktivitas apa yang terjadi di bagian permukaan Matahari? Di permukaan Matahari juga terjadi berbagai bentuk aktivitas, yaitu granula atau gumpalan Matahari, Bintik Matahari dan lidah api Matahari. Aktivitas Matahari selama terbentuknya suatu bintik Matahari maupun terbentuknya lidah api Matahari selalu disertai dengan pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron yang melewati korona ke arah ruang angkasa dan dapat mencapai planet-planet. Pancaran partikel bermuatan ini disebut sebagai angin Matahari (*solar wind*). Interaksi angin Matahari dengan Bumi dapat mempengaruhi proses-proses di atmosfer Bumi.

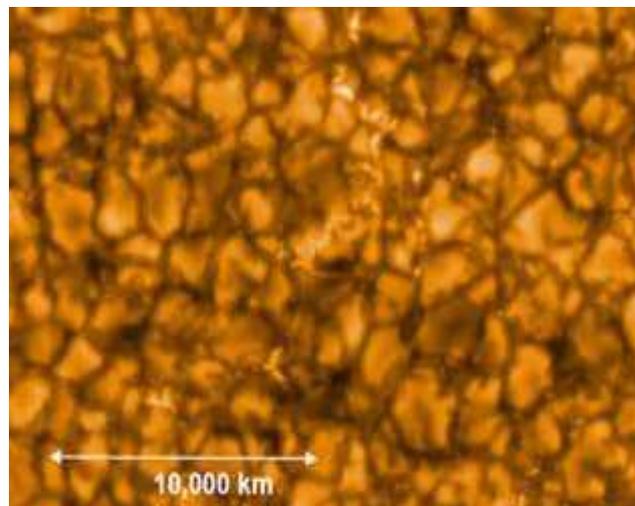
#### **A. AKTIVITAS MATAHARI**

Pada awalnya fotosfer (lapisan cahaya) dianggap sebagai sebuah bola cahaya yang seragam dan sempurna. Akan tetapi pengamatan menunjukkan bahwa pada fotosfer terdeteksi ada berbagai noda. Noda-noda ini muncul akibat

adanya aktivitas di lapisan cahaya ini. Aktivitas atau kegiatan di permukaan Matahari digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu ; gumpalan Matahari (*granula*), bintik Matahari atau noda hitam (*sunspot*), dan lidah api Matahari (*prominensa* atau *protuberans*) (Kanginan, 1999).

### **Gumpalan Matahari (granula)**

Apa yang disebut gumpalan Matahari dan bagaimana gumpalan ini dapat terjadi? Fotosfer bila diamati melalui sebuah teleskop yang dilengkapi dengan filter akan tampak adanya bentuk gumpalan-gumpalan. Gumpalan-gumpalan ini merupakan bintik-bintik panas (*hot spots*) yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu yang sangat tinggi antara daerah panas dan daerah dingin pada fotosfer. Suhu gumpalan diperkirakan sekitar 100 kali lebih tinggi dibanding permukaan sekitarnya. Setiap gumpalan dapat memiliki garis tengah yang berukuran ratusan kilometer dan dapat bertahan hanya beberapa menit saja. Gambar 8.1 melukiskan granula atau gumpalan Matahari (Kanginan, 1999).



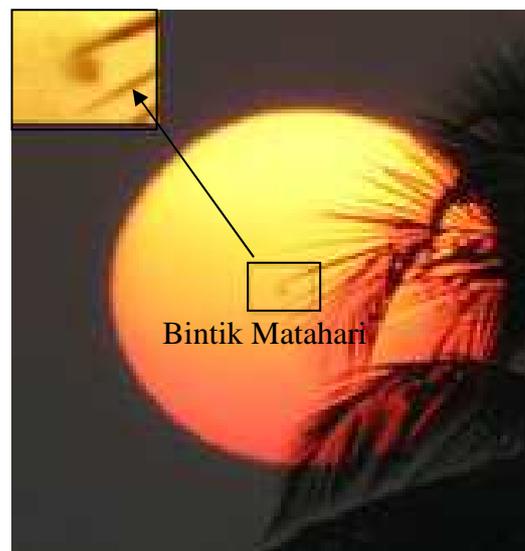
Gambar 8.1. Gumpalan Matahari (granula) (<http://en.wikipedia.org>)

### **Bintik Matahari**

Apa yang disebut bintik Matahari dan bagaimana bisa terbentuk? Bintik Matahari atau noda Matahari (*sunspot*) adalah daerah gelap pada fotosfer yang

muncul akibat suhunya lebih rendah dari suhu daerah di sekitarnya. Sebuah bintik Matahari suhunya berkisar antara 4000 K sampai 5000 K. Bintik Matahari ditimbulkan oleh perubahan medan magnetik di Matahari. Bintik Matahari bisa tunggal atau berkelompok. Bintik ini tampak bergerak melintasi fotosfer akibat adanya rotasi Matahari pada sumbunya. Ukuran diameter bintik Matahari bervariasi, bintik yang besar dapat memiliki ukuran antara 200.000 – 300.000 km, sedangkan bintik yang kecil atau disebut pori-pori ukurannya kurang dari 3000 km. Sebuah pori-pori dapat bertahan dalam selang waktu dibawah satu jam, sedangkan bintik yang besar mampu bertahan hingga 250 hari. Gambar 8.2 menunjukkan Bintik matahari.

Kapan keberadaan bintik Matahari mulai terdeteksi? Keberadaan bintik Matahari baru disadari pada tahun 1613, ketika Galileo melakukan pengamatan dan menyimpulkan bahwa bintik Matahari berlokasi di permukaan Matahari dan dibawa mengitari Matahari oleh gerak rotasinya. Pergerakan bintik itulah yang kemudian digunakan untuk menentukan periode rotasi Matahari, yang kemudian menunjukkan bahwa periode rotasi Matahari adalah kira-kira 25 hari terhadap ekuatornya.



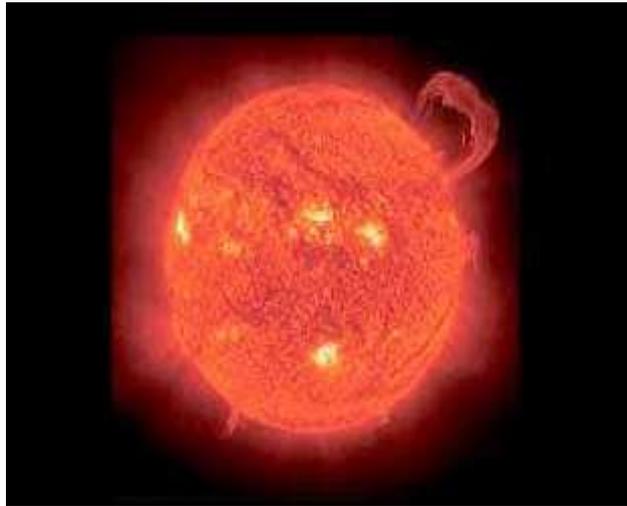
Gambar 8.2. Bintik Matahari (<http://en.wikipedia.org>)

Para ahli memperkirakan bahwa bintik Matahari mencapai jumlah maksimum dalam kurun waktu setiap 11 tahun sebelum akhirnya jumlahnya menurun kembali. Jadi frekuensi bintik Matahari mengikuti suatu siklus dengan periode rata-rata 11 tahun. Suatu teori bintik Matahari modern yang dibangun berdasarkan penemuan baru tentang medan magnetik di Matahari menyatakan bahwa suatu zat cair yang panas dan bermuatan listrik, seperti gas Matahari, dapat menghasilkan sifat kemagnetan. Pada saat gas bergerak, garis-garis medan magnetik mengikutinya. Gerakan gas Matahari yang teratur yang diikuti oleh medan magnetiknya itulah yang kemungkinan besar menimbulkan siklus bintik Matahari (Kanginan, 1999).

### **Lidah api Matahari**

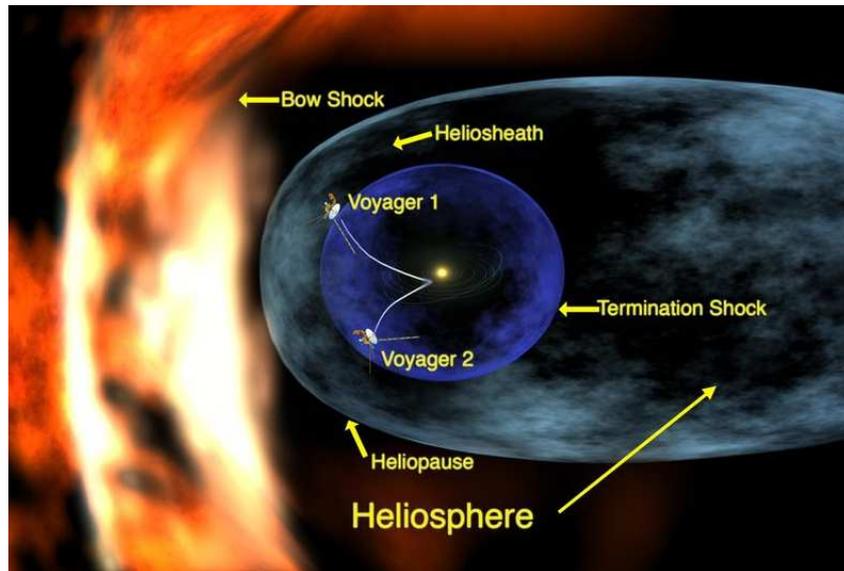
Bagaimana lidah api Matahari dapat terbentuk? Lidah api Matahari (*prominensa atau protuberans*) muncul akibat gangguan pada permukaan Matahari. Prominensa terjadi pada bagian tepi kromosfer. Prominensa merupakan gas panas yang tersembur dengan dahsyat dari permukaan Matahari. Semburan tersebut menyerupai lidah api besar berwarna kemerahan dan memiliki bentuk yang bervariasi. Prominensa dapat berbentuk seperti pita, simpal (*loop*), spiral, gunung, atau tabir. Prominensa dapat memanjang ke luar dari permukaan Matahari sejauh ribuan mil dan dapat mencapai ketinggian sampai satu juta mil, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.3. Kapan Prominensa dapat diamati? Prominensa dapat diamati pada saat terjadi gerhana Matahari total.

Aktivitas Matahari selama terbentuknya suatu bintik Matahari maupun terbentuknya lidah api Matahari selalu disertai dengan pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron yang melewati korona ke arah planet-planet. Pancaran partikel bermuatan ini disebut sebagai angin Matahari (*solar wind*). Jika dibandingkan dengan atmosfer Bumi yang mengandung sekitar  $10^{19}$  partikel/cm<sup>3</sup>, konsentrasi partikel pada angin Matahari sangat kecil, yaitu hanya mengandung sekitar 5 partikel/cm<sup>3</sup>. Meskipun demikian kecepatan gerak partikel-partikel tersebut amatlah tinggi sehingga memiliki energi yang sangat tinggi pula (Kanginan, 1999).



Gambar 8.3 Lidah api Matahari (Prominensa) (<http://en.wikipedia.org>)

Apakah keberadaan angin Matahari dapat mempengaruhi atmosfer Bumi? Meskipun kerapatan massa angin Matahari sangat rendah, angin Matahari dapat mempengaruhi bumi dalam beberapa hal. Pengaruh ini muncul ketika terjadi interaksi antara partikel-partikel bermuatan listrik dari angin Matahari dengan medan magnetik Bumi. Seperti telah diketahui bahwa ketika partikel bermuatan listrik melintasi daerah medan magnet dengan arah gerak membentuk sudut dengan arah medan magnet, maka partikel tersebut akan dibelokkan (disimpangkan). Selain itu akibat adanya interaksi partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet Bumi, maka akan dihasilkan suatu arus listrik induksi. Ketika proton-proton dan elektron-elektron berkecepatan tinggi dari angin Matahari melintasi medan magnet Bumi, kebanyakan dari partikel tersebut dibelokkan untuk seterusnya bergerak mengitari Bumi, meninggalkan suatu daerah yang menyerupai komet di sekitar Bumi, yang biasa disebut *Magnetosphere* (Gambar 8.4). Dengan demikian, medan magnet Bumi bertindak sebagai suatu perisai pelindung untuk menjaga agar sebagian besar partikel-partikel berenergi tinggi tidak mencapai permukaan Bumi.



Gambar 8.4. Bumi dan *Magnetosfer*nya (<http://en.wikipedia.org>)

Apakah efek dari adanya pergerakan partikel-partikel bermuatan listrik mengelilingi Bumi? Sebagai efek dari pergerakan partikel-partikel bermuatan listrik mengelilingi Bumi akan timbul arus listrik di sekitar Bumi. Melalui serangkaian proses interaksi yang cukup kompleks, beberapa diantara partikel bermuatan tersebut mampu menembus ke dalam *Magnetosphere*. Beberapa partikel yang menembus *magnetosphere* tersebut berkumpul dalam beberapa zone di sekitar Bumi. Arus listrik yang dibangkitkan akan memberikan energi untuk mempercepat beberapa partikel ini untuk kembali menuju Bumi dengan arah gerak sejajar dengan garis-garis gaya magnetik Bumi yang mengarah dari kutub utara magnetik ke kutub selatan. Partikel-partikel ini kemudian menabrak atmosfer Bumi bagian atas, mengionisasi beberapa atom dan molekul yang berada di atmosfer dan mengeksitasi atom-atom dan molekul-molekul lainnya ke tingkat energi yang lebih tinggi (keadaan eksitasi). Ketika atom-atom ini kembali ke keadaan dasarnya, maka atom-atom dan molekul-molekul ini akan membebaskan energi radiasi berupa energi cahaya (foton) dengan panjang gelombang tertentu. Gelombang-gelombang cahaya tampak yang diradiasikan akan membentuk **aurora** yang dapat dilihat dari tempat-tempat yang memiliki lintang tinggi di Bumi seperti di kutub utara atau kutub selatan Bumi. Aurora yang

terlihat dari kutub utara dinamai *aurora Borealis* (Gambar 8.5) atau cahaya utara yang indah, sedangkan yang terlihat dari kutub selatan dinamai *aurora Australis* (Gambar 8.6) (Kanginan, 1999).



Gambar 8.5. Aurora Borealis (<http://en.wikipedia.org>)



Gambar 8.5. Aurora Australis (<http://en.wikipedia.org>)

## B. ENERGI MATAHARI

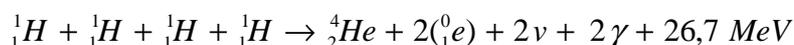
Bagaimana proses terbentuknya energi Matahari yang diradiasikan ke ruang angkasa dalam bentuk gelombang elektromagnetik? Energi yang diradiasikan oleh Matahari ke ruang angkasa terbentuk pada bagian inti Matahari. Energi ini terbentuk bukan merupakan hasil pembakaran, karena proses pembakaran selalu melibatkan reaksi antara oksigen dan bahan kimia lain untuk membentuk senyawa. Akan tetapi suhu di bagian inti Matahari sangatlah tinggi dan tidak memungkinkan untuk terbentuknya senyawa di sana. Selain itu energi yang dihasilkan dari proses pembakaran biasanya sangat kecil, sehingga tidak cocok dengan kenyataan bahwa energi Matahari yang diradiasikan amatlah besar.

Para ahli telah bersepakat bahwa energi yang terbentuk pada inti Matahari dihasilkan dari suatu proses reaksi inti (*nuklir*) yang biasa disebut reaksi fusi (reaksi penggabungan) inti-inti hidrogen membentuk inti helium. Reaksi fusi nuklir ini diperkirakan meliputi tiga tahapan yang disebut rantai proton-proton, yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan reaksi seperti berikut : (Tjasyono, 2003; Kanginan, 1999)

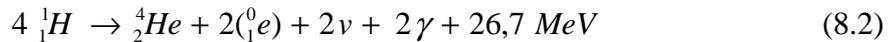


disini  ${}^1_1\text{H}$  adalah inti hidrogen (proton),  ${}^4_2\text{He}$  adalah inti helium,  ${}^0_1\text{e}$  adalah positron (elektron bermuatan positif).

Jika persamaan reaksi (8.1.a) dan (8.1.b) dikalikan dengan dua dan hasilnya dijumlahkan dengan persamaan reaksi (8.1.c), maka akan didapatkan reaksi akhir yang dapat dituliskan dalam persamaan reaksi berikut :



atau



dari reaksi inti (8.2), ternyata massa  $\text{}^4_2\text{He}$  lebih kecil dari massa  $4 \text{}^1_1\text{H}$ , jadi terdapat massa yang hilang. Sesuai dengan teori relativitas Einstein, massa tersebut tidak hilang begitu saja, melainkan diubah menjadi bentuk energi, menurut persamaan kesetaraan massa dan energi berikut ini ;

$$E = m c^2 \quad (8.3)$$

dimana E adalah energi yang dihasilkan, m adalah massa yang hilang, dan c adalah kecepatan rambat cahaya yang nilainya  $3 \times 10^8$  m/s.

Setiap detik pada inti Matahari 630 juta ton hidrogen ( $\text{}^1_1\text{H}$ ) diubah menjadi 625,4 juta ton helium  $\text{}^4_2\text{He}$  dengan membebaskan energi yang setara dengan 4,6 juta ton. Dengan berkurangnya massa matahari sebesar 4,6 juta ton/sekon maka diprediksi Matahari masih dapat memancarkan energi sekitar 5 milyar tahun lagi.

Berapakah intensitas energi Matahari yang diradiasikan? Setiap menit Matahari meradiasikan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori. Energi Matahari persatuan luas yang jatuh pada permukaan bersimetri bola yang memotong Bumi dengan Matahari terletak di pusatnya, dan jari-jari bola 150 juta kilometer (jarak rata-rata Bumi Matahari), dapat dihitung seperti berikut : (Tjasyono, 2003: Tjasyono, 2006)

$$S = \frac{E_{rad}}{4\pi R^2} \quad (8.4)$$

$$S = \frac{56 \times 10^{26} \text{ kal. menit}^{-1}}{4\pi \times (15 \times 10^{12} \text{ cm})^2}$$

$$S \approx 2,0 \text{ kal.cm}^{-2}.\text{menit}^{-1}$$

$$S \approx 2,0 \text{ langley/menit}$$

S disebut juga konstanta Matahari

Dengan demikian energi radiasi Matahari yang diterima Bumi yang berjari-jari 6370 km dapat dihitung seperti berikut :

$$\begin{aligned} E_b &= \pi r^2 S & (8.5) \\ &= 3,14 \times (637 \times 10^6 \text{ cm})^2 2 \text{ kal.cm}^{-2} \cdot \text{menit}^{-1} \\ &= 2,55 \times 10^{18} \text{ kal.menit}^{-1} \\ &= 3,67 \times 10^{21} \text{ kal.hari}^{-1} \end{aligned}$$

Energi sebesar ini cukup untuk menciptakan 100 juta badai guruh (petir) atau 100 milyar tornado.

Energi Matahari adalah merupakan sumber energi utama untuk proses-proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi, seperti :

- sumber gerak atmosfer dan laut
- sumber bahan makanan (proses fotosintesis)
- sumber bahan bakar dan air melalui formasi awan hujan
- pengendali iklim bumi.

Tabel 8.1 menunjukkan berbagai sumber energi bagi Bumi. Sumber energi dari Bulan, Kilat, Bintang, dan sinar Kosmik sangat kecil dibanding dengan energi matahari, sehingga keberadaannya dapat diabaikan. Rentang panjang gelombang elektromagnetik apa saja yang diradiasikan Matahari ke ruang angkasa? Matahari memancarkan energi hampir pada semua rentang panjang gelombang elektromagnetik, mulai gelombang yang memiliki panjang gelombang panjang seperti gelombang radio dan inframerah, hingga gelombang yang memiliki panjang gelombang pendek seperti gelombang mikro, ultraviolet, sinar-X, dan sinar Gamma. Manusia di Bumi hanya dapat melihat radiasi gelombang dengan panjang gelombang pada cahaya tampak (*visible*).

Tabel 8.1. Sumber energi bagi Bumi dan proporsinya (Tjasyono, 2003)

Sumber	Energi	
	Erg/s	Relatif terhadap matahari
Matahari	$1,76 \times 10^{24}$	1
Bulan	$3,09 \times 10^{19}$	$1,76 \times 10^{-5}$
Kilat	$1,60 \times 10^{19}$	$9,09 \times 10^{-6}$
Bintang	$2,61 \times 10^{17}$	$1,48 \times 10^{-7}$
Sinar Kosmik	$1,63 \times 10^{17}$	$9,26 \times 10^{-8}$

Radiasi Matahari yang kuat seperti sinar ultraviolet, sinar-X, dan sinar Gamma yang menuju Bumi akan diserap oleh molekul-molekul gas nitrogen dan gas oksigen yang terdapat dalam atmosfer Bumi bagian atas. Penyerapan ini menyebabkan molekul-molekul gas mengalami proses ionisasi, yaitu proses lepasnya sebagian elektron pada molekul-molekul gas sehingga terbentuk ion-ion positif. Dari proses ini maka pada lapisan atmosfer bagian atas akan terbentuk lapisan-lapisan yang mengandung muatan listrik positif. Lapisan atmosfer ini oleh para ahli dinamai *ionosfer* (lapisan ion). Dengan demikian lapisan ionosfer ini melindungi Bumi dari radiasi Matahari yang berbahaya seperti radiasi ultraviolet. Ionosfer juga sangat bermanfaat untuk proses komunikasi dengan jangkauan jauh di permukaan Bumi. Hal ini dimungkinkan karena informasi yang dibawa oleh gelombang radio medium dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer kembali ke Bumi, dan tidak diteruskan ke ruang angkasa.

Kapan pancaran partikel-partikel bermuatan listrik dari Matahari intensitasnya akan meningkat ? Pancaran partikel-partikel bermuatan listrik dari Matahari kuantitasnya akan sangat meningkat ketika jumlah bintik matahari mencapai maksimum. Hujan partikel bermuatan ini menghasilkan induksi magnetik yang sangat kuat, kira-kira ribuan kali induksi magnetik permukaan

Bumi. Keadaan ini dapat menyebabkan sabuk radiasi Van Allen sangat radiatif, dan akibatnya komunikasi dengan gelombang radio di bumi akan terganggu, kadang-kadang terputis-putus. Kondisi ini terjadi akibat terganggunya lapisan ionosfer oleh pancaran partikel bermuatan yang sangat kuat. Gejala semacam ini dikenal dengan istilah badai magnetik yang sangat mengganggu proses komunikasi radio.

### C. RADIASI ELEKTROMAGNETIK

Bagaimana radiasi Matahari dapat sampai di permukaan Bumi ? Radiasi adalah suatu proses perambatan energi (panas) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara. Energi Matahari bisa sampai ke permukaan Bumi adalah dengan cara radiasi (pancaran), karena diantara Bumi dan Matahari terdapat ruang hampa (tidak ada zat perantara). Sedangkan gelombang elektromagnetik adalah suatu bentuk gelombang yang dirambatkan dalam bentuk komponen medan listrik dan medan magnet, sehingga dapat merambat dengan kecepatan yang sangat tinggi dan tanpa memerlukan zat atau medium perantara.

Berapa laju penjalaran gelombang elektromagnetik? Energi Matahari yang jatuh ke permukaan Bumi berbentuk gelombang elektromagnetik yang menjalar dengan kecepatan cahaya sebesar  $3 \times 10^8$  m/s. Jika Matahari dianggap sebagai benda hitam (Benda hipotesis yang dapat memancarkan dan menyerap energi radiasi secara sempurna). Benda ini memiliki nilai emisivitas sama dengan 1, maka temperatur radiasi efektifnya dapat diperkirakan dari hukum Stefan Boltzman. Hukum ini menyatakan bahwa fluks radiasi sebuah benda hitam berbanding lurus dengan pangkat empat temperatur mutlaknya, yakni: (Tjasyono, 2003)

$$F = \sigma T^4 \quad (8.6)$$

dimana  $F$  adalah fluks radiasi Matahari,  $T$  adalah temperatur mutlak,  $\sigma$  adalah tetapan Stefan-Boltzman yang nilainya  $8,14 \times 10^{-11}$  ly.menit<sup>-1</sup>.K<sup>-4</sup> (1 ly = 1 langley = 1 kalori/cm<sup>2</sup>).

Berapa kuantitas energi yang dipancarkan Matahari per satuan waktu? Tiap menit Matahari meradiasikan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori, sedangkan luas permukaan Matahari adalah  $6,093 \times 10^{22} \text{ cm}^2$ , maka fluks radiasi Matahari dapat dihitung seperti berikut :

$$F = \frac{56 \times 10^{26} \text{ kalori / menit}}{6,093 \times 10^{22} \text{ cm}^2}$$

$$F = 9,2 \times 10^4 \text{ ly / menit}$$

Dengan demikian temperatur radiasi efektif Matahari dapat diperkirakan sebesar;

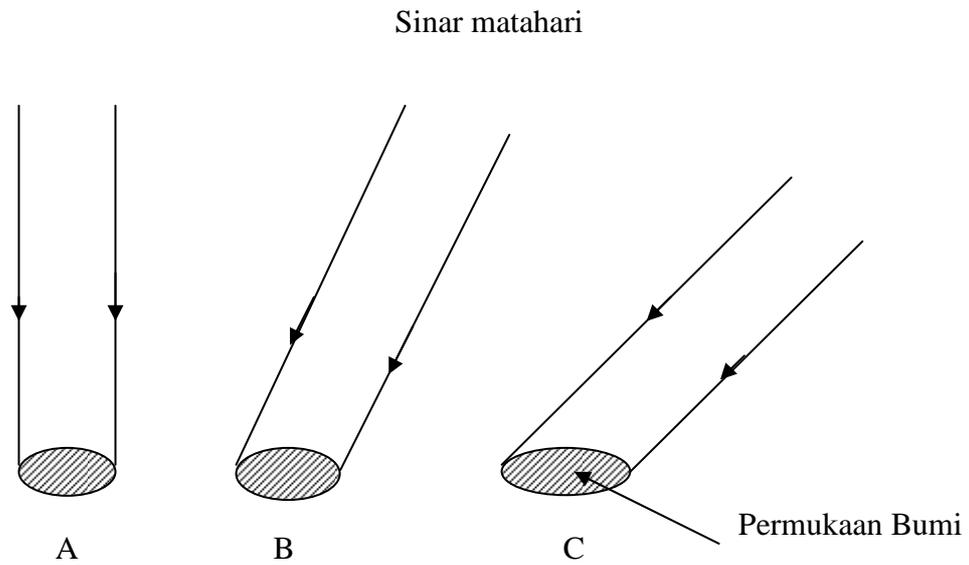
$$T = \sqrt[4]{\frac{F}{\sigma}}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{9,2 \times 10^4 \text{ ly / menit}}{8,14 \times 10^{-11} \text{ ly / menit.K}^4}}$$

$$T \approx 5800 \text{ K}$$

#### **D. INTENSITAS INSOLASI**

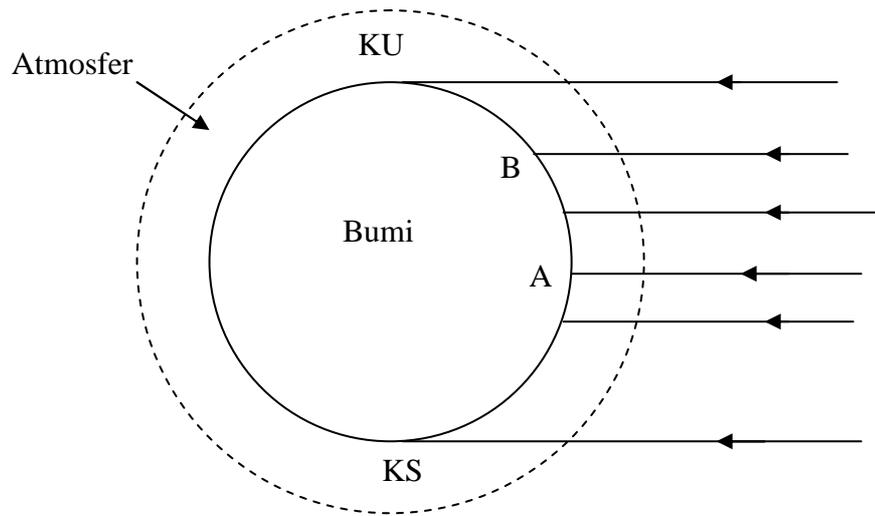
Insolasi yang berasal dari bahasa Inggris Insolation, adalah singkatan dari Incoming Solar Radiation yang berarti radiasi Matahari yang diterima Bumi. Faktor yang mempengaruhi intensitas insolasi adalah lintang atau letak suatu tempat di permukaan Bumi. Jika efek penyerapan, pemantulan dan hamburan oleh lapisan atmosfer Bumi dapat diabaikan, maka intensitas insolasi bergantung terutama pada dua faktor, yaitu sudut jatuh sinar Matahari dan lamanya radiasi Matahari (Tjasyono, 2006).



Gambar 8.7. Sudut jatuh sinar Matahari (Inklinasi) dan intensitas insolasi

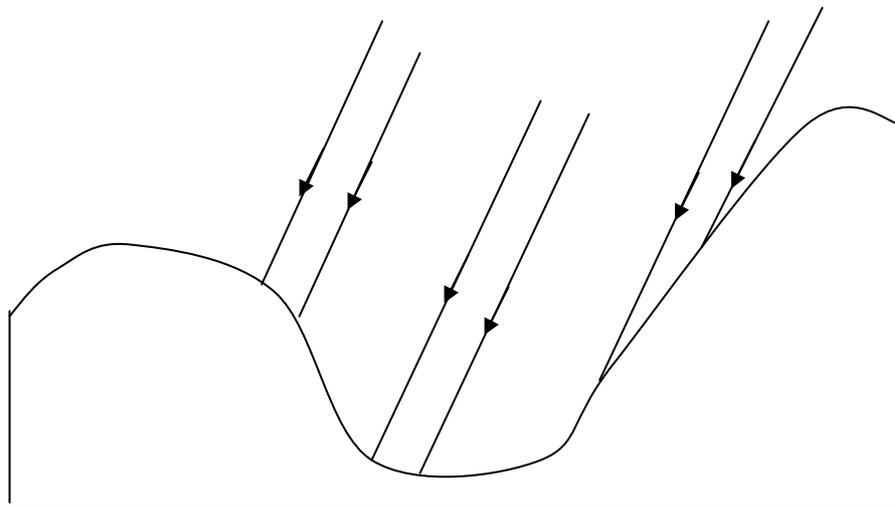
Perhatikan Gambar 8.7, sudut jatuh sinar Matahari di A lebih besar dari sudut jatuh sinar Matahari di B dan di C. Perbedaan sudut jatuh ini mengakibatkan luas bidang yang tersinari di A, B, C menjadi berbeda. Luas bidang yang disinari di A lebih kecil dari luas bidang yang disinari di B dan di C. Karena intensitas adalah rasio antara fluks sinar matahari datang dengan luas bidang yang disinarnya, maka intensitas insolasi di A lebih besar dari intensitas insolasi di B dan di C. Intesitas insolasi di A adalah terbesar karena luas bidang yang disinarnya paling kecil, sebaliknya intensitas insolasi di C paling kecil, karena luas bidang yang disinarnya paling besar.

Bertambahnya lintang suatu suatu tempat di permukaan Bumi menyebabkan sudut jatuh sinar matahari dan intensitas insolasi menjadi berkurang. Pada Gambar 8.8 dapat dilihat bahwa sinar matahari yang jatuh di A lebih tegak dari pada sinar matahari yang jatuh di B, sehingga energi Matahari yang diterima di permukaan A lebih besar dari energi Matahari yang diterima di permukaan Bumi B. Hal ini dikarenakan pada permukaan A energi disebarkan pada area yang lebih sempit dibanding pada permukaan B.



Gambar 8.8. Lintang tempat di Bumi dan intensitas insolasi

Bentuk permukaan Bumi yang tidak rata juga mempengaruhi intensitas insolasi. Di lereng pegunungan dan di lembah, intensitas insolasinya berbeda, karena sudut jatuh sinar Matahari berbeda, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.9.



Gambar 8.9. Bentuk permukaan Bumi dan intensitas insolasi

Sebagai akibat dari pergerakan Bumi mengelilingi Matahari, maka sudut elevasi matahari terhadap suatu tempat di permukaan Bumi setiap saat akan berubah. Semakin tinggi elevasi Matahari, maka intensitas insolasi di tempat tersebut akan semakin tinggi. Terdapat tiga alasan mengapa tingginya elevasi matahari dapat menyebabkan intensitas insolasi menjadi lebih kuat dibandingkan dengan elevasi Matahari yang rendah (Tjasyono, 2006)

1. Ketika elevasi matahari tinggi, maka sinar matahari jatuh secara tegak lurus terhadap Bumi. Dengan sinar yang jatuh secara tegak maka luas bidang yang tersinari akan lebih sempit dari pada ketika sinar jatuh secara miring. Karena intensitas insolasi berbanding terbalik dengan luas bidang yang tersinari, maka efeknya intensitas insolasi akan lebih kuat ketika elevasi matahari tinggi.
2. Dengan posisi Matahari yang tinggi, maka sinar matahari akan melewati atmosfer Bumi yang lebih tipis dibanding ketika matahari berada pada posisi rendah. Akibatnya atenuasi gelombang radiasi akan lebih kecil (efek hamburan oleh partikel-partikel debu atmosferik akan lebih kecil). Efek ini secara nyata dapat kita rasakan, ketika matahari di posisi rendah, maka kita tidak merasa silau ketika melihat matahari dengan mata telanjang, tetapi ketika matahari berada pada posisi yang tinggi, maka kita tidak akan tahan melihat matahari dengan mata telanjang, karena sangat silau. Keadaan ini terjadi akibat proporsi radiasi gelombang pendek difus berbeda dengan proporsi radiasi gelombang pendek langsung. Radiasi gelombang pendek difus adalah radiasi matahari yang mengalami hamburan, sedangkan radiasi gelombang pendek langsung adalah radiasi matahari yang mengalami penyerapan, hamburan atau pemantulan. Efek hamburan gelombang pendek dapat kita amati dari munculnya warna kemerah-merahan ketika matahari terbit atau terbenam (warna merah memiliki panjang gelombang panjang yang tidak dihambur)
3. Efek yang terkait erat dengan elevasi matahari adalah albedo, yaitu persentase insolasi yang dipantulkan oleh permukaan Bumi. Albedo dikendalikan oleh sifat fisis permukaan Bumi, terutama warnanya. Dalam kondisi yang sama, albedo akan berkurang ketika elevasi matahari bertambah tinggi. Efek pantulan ini akan lebih kuat terjadi pada permukaan perairan.

## LATIHAN

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

1. Jika setiap detik pada inti Matahari terjadi reaksi fusi yang mengubah 630 juta ton hidrogen ( ${}^1_1H$ ) menjadi 650 juta ton helium  ${}^4_2He$ , maka hitunglah energi yang dibebaskan Matahari setiap detiknya !
2. Jika setiap menit Matahari meradiasikan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori, Hitunglah energi radiasi Matahari yang diterima Mars yang berjari-jari 3.390.000 km dan berjarak 1,52 SA dari Matahari.

## Ranbu-Ranbu Jawaban

1. Gunakan persamaan 8.3 dengan terlebih dahulu mencari selisih massa ( $m$ ) helium yang terbentuk dengan massa hidrogen yang diubah.
2. Gunakan persamaan 8.4 dan persamaan 8.5, dengan memasukan konstanta-konstanta untuk planet Mars.

## RANGKUMAN

Aktivitas atau kegiatan di permukaan Matahari digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu ; gumpalan Matahari (*granula*), bintik Matahari atau noda hitam (*sunspot*), dan lidah api Matahari (*prominensa atau protuberans*). Pergerakan bintik Matahari telah digunakan untuk menentukan periode rotasi Matahari. Aktivitas Matahari selama terbentuknya suatu bintik Matahari maupun terbentuknya lidah api Matahari selalu disertai dengan pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron yang melewati korona ke arah planet-planet. Pancaran partikel bermuatan ini disebut sebagai angin Matahari.

Energi yang terbentuk pada inti Matahari dihasilkan dari suatu proses reaksi inti (nuklir) yang biasa disebut reaksi fusi dan dipanbarkan ke ruang angkasa secara radiasi. Setiap menit Matahari meradiasikan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori dan

energi radiasi Matahari yang diterima Bumi yang berjari-jari 6370 km adalah sebesar  $3,67 \times 10^{21}$  kal/hari. Energi Matahari yang jatuh ke permukaan Bumi berbentuk gelombang elektromagnetik yang menjalar dengan kecepatan cahaya sebesar  $3 \times 10^8$  m/s. Jika Matahari dianggap sebagai benda hitam maka temepartur radiasi efektifnya dapat diperkirakan dari hukum Stefan Boltzman sebesar 5800 K.

Radiasi Matahari yang diterima Bumi dikenal istilah Insolasi. Intensitas insolasi bergantung terutama pada dua faktor, yaitu sudut jatuh sinar Matahari dan lamanya radiasi Matahari.

### **TES FORMATIF 1**

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

1. Bentuk aktivitas Matahari yang dapat digunakan untuk menentukan periode rotasi Matahari adalah .....
  - A. Granula
  - B. Korona
  - C. Prominensa
  - D. Hotspot
  - E. Bintik Matahari
2. Gas panas yang tersembur dengan dahsyat dari permukaan Matahari yang menyerupai lidah api besar berwarna kemerahan dan memiliki bentuk pita, simpal (*loop*), spiral, gunung, atau tabir yang dapat diamati pada saat terjadi gerhana Matahari total disebut .....
  - A. Granula
  - B. Korona

- C. Prominensa
  - D. Sunspot
  - E. Bintik Matahari
3. Angin Matahari adalah .....
- A. pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron dari permukaan Matahari ke arah planet-planet
  - B. Aliran hidrogen dari Matahari ke planet
  - C. Pancaran energi dari Matahari
  - D. Semburan gas panas dari Matahari
  - E. Semburan bola api dari Matahari
4. Aurora adalah .....
- A. Pancaran gelombang ultraviolet ketika atom-atom ini kembali dari keadaan eksitasi ke keadaan dasarnya
  - B. Pancaran gelombang radio ketika atom-atom ini kembali dari keadaan eksitasi ke keadaan dasarnya
  - C. Pancaran gelombang infra merah ketika atom-atom ini kembali dari keadaan eksitasi ke keadaan dasarnya
  - D. Pancaran gelombang cahaya tampak ketika atom-atom ini kembali dari keadaan eksitasi ke keadaan dasarnya
  - E. Pancaran gelombang sinar gamma ketika atom-atom ini kembali dari keadaan eksitasi ke keadaan dasarnya
5. Energi Matahari yang diproduksi pada bagian intinya merupakan proses .....
- A. Pembakaran material-material di Matahari
  - B. Reaksi senyawa kimia endoterm
  - C. Reaksi senyawa kimia eksoterm
  - D. reaksi inti (nuklir) yang biasa disebut reaksi fisi
  - E. reaksi inti (nuklir) yang biasa disebut reaksi fusi
6. Intensitas insolasi di tempat kita berdiri akan bernilai paling besar pada saat .....
- A. jam 7.00
  - B. jam 9.00
  - C. Jam 12.00

D. Jam 14.00

E. Jam 17.00

7. Pada permukaan Bumi Intensitas insolasi terbesar terjadi di daerah .....

A. Kutub utara

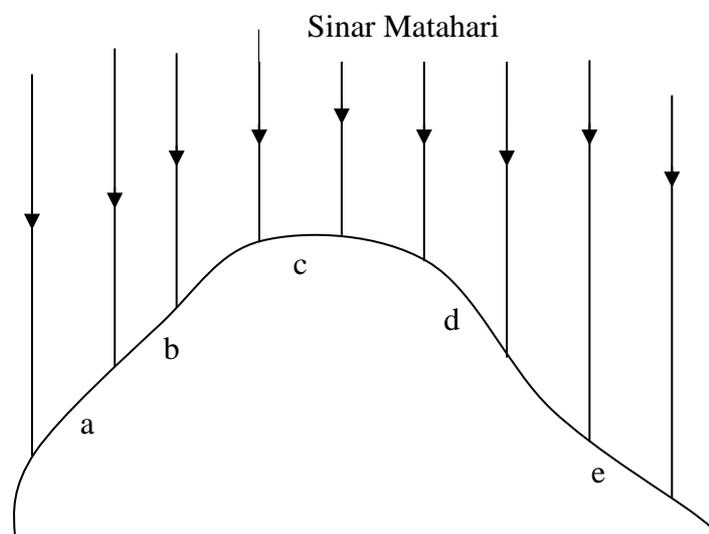
B. Ekuator

C. lintang  $45^\circ$

D. lintang  $135^\circ$

E. Kutub selatan

8. Intensitas insolasi terbesar terjadi pada daerah .....



A. a

B. b

C. c

D. d

E. e

9. Keadaan terganggunya lapisan ionosfer akibat bombardir partikel bermuatan listrik yang berasal dari permukaan matahari yang menghasilkan induksi magnetik yang sangat kuat, disebut .....

A. Aurora

B. Magnetosphere

C. Kosmik

- D. Angin Matahari
  - E. Badai magnetik
10. Hal-hal di bawah ini merupakan faktor yang menyebabkan insolasi matahari lebih kuat ketika elevasi Matahari tinggi, kecuali .....
- A. luas bidang yang tersinari lebih sempit
  - B. albedo bertambah
  - C. efek hamburan berkurang
  - D. albedo berkurang
  - E. efek penyerapan radiasi berkurang

**BALIKAN DAN TINDAK LANJUT**

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 8.1 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 :

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

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**

### **KARAKTERISTIK RADIASI DAN EFEK ATMOSFER TERHADAP RADIASI MATAHARI**

#### **PENGANTAR**

Apakah syarat suatu benda dapat memancarkan energi radiasi? Setiap benda yang temperturnya tidak nol Kelvin, dapat memancarkan energi radiasi. Radiasi dipancarkan dalam bentuk foton-foton atau paket-paket energi yang mempunyai sifat mirip dengan partikel dan gelombang (Dualisme partikel-gelombang). Panjang gelombang secara unik terkait dengan energi foton, sehingga memungkinkan untuk dapat menghitung fluks energi foton pada panjang gelombang tertentu. Semakin tinggi suhu benda, maka energi yang diradiasikan semakin tinggi yang ditandai dengan semakin pendeknya panjang gelombang radiasi. Karena suhu mutlak matahari lebih tinggi dari suhu mutlak Bumi, maka radiasi yang dipancarkan Matahari memiliki panjang gelombang yang lebih pendek daripada radiasi yang dipancarkan Bumi. Hampir 99 persen radiasi Matahari diisi oleh panjang gelombang pendek dari 0,15 sampai 4,0  $\mu\text{m}$ . Dari jumlah ini, 9 persennya adalah gelombang ultraviolet, 45 persennya adalah gelombang cahaya tampak (merah-violet), dan 46 persennya adalah gelombang inframerah.

Apakah semua radiasi Matahari dapat mencapai permukaan Bumi? Tidak semua radiasi Matahari dapat mencapai permukaan Bumi, akibat adanya hamburan yang mengembalikan radiasi tersebut ke ruang angkasa oleh partikel-partikel atmosfer Bumi. Hamburan radiasi oleh atmosfer Bumi bergantung pada diameter partikel-partikel penghambur ( $D$ ) dan panjang gelombang yang diradiasikan ( $\lambda$ )

#### **A. KARAKTERISTIK RADIASI MATAHARI**

Bagaimanakah karakteristik radiasi Matahari? Semua proses pertukaran energi antara Bumi dan alam semesta terjadi dengan cara pertukaran radiasi. Bumi dan atmosfer secara tetap menyerap radiasi Matahari dan mengemisikan kembali radiasinya ke angkasa. Setelah selang waktu yang cukup lama maka laju penyerapan (absorpsi) dan laju emisi dapat dianggap sama. Jika hal ini terjadi,

dikatakan sistem Bumi-atmosfer berada dalam keseimbangan radiatif dengan Matahari. Pertukaran radiasi memainkan peranan penting dalam sejumlah reaksi kimia di atmosfer Bumi bagian atas.

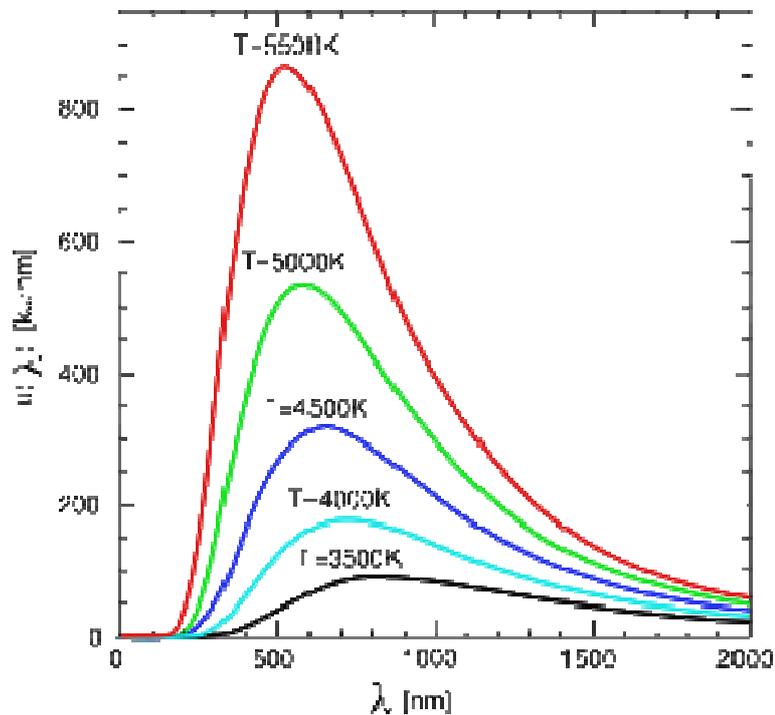
Darimanakah dihasilkan radiasi? Radiasi adalah sebuah bentuk energi yang dihasilkan osilasi cepat medan elektromagnetik. Radiasi dipancarkan dalam bentuk foton-foton atau paket-paket energi yang mempunyai sifat mirip dengan partikel dan gelombang (dualisme partikel-gelombang). Osilasi dapat ditinjau sebagai penjalaran gelombang dengan periode ruang (panjang gelombang) tertentu. Radiasi dapat menjalar dalam vakum (hampa), semua radiasi menjalar dalam lintasan lurus dengan kecepatan sebesar  $3 \times 10^8$  m/s (kecepatan cahaya). Panjang gelombang secara unik terkait dengan energi foton, sehingga memungkinkan untuk dapat menghitung fluks energi foton pada panjang gelombang tertentu. Karena radiasi memiliki sifat dualisme yaitu partikel dan gelombang, maka radiasi dapat dipandang sebagai paket-paket diskrit yang disebut kuantum (atau foton untuk bagian spektrum cahaya tampak). Hubungan antara energi foton dengan panjang gelombangnya dinyatakan oleh persamaan berikut : (Tjasyono, 2003 ; Tjasyono, 2006)

$$E = \frac{h c}{\lambda} \quad (8.7)$$

Dimana  $h$  adalah konstanta Planck yang nilainya  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s,  $c$  adalah kecepatan cahaya dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang. Persamaan 8.7 adalah persamaan energi untuk satu buah foton. Persamaan energi untuk satu mol foton didapat dengan cara mengalikan persamaan 8.7 dengan bilangan Avogadro ( $A$ ), seperti berikut :

$$E = \frac{h c A}{\lambda} \quad (8.8)$$

dimana nilai  $A$  adalah  $6,023 \times 10^{23}$  partikel/mol.



Gambar 8.10. Distribusi spektral energi radiasi benda hitam pada  $T=6000\text{ K}$  dengan sumbu horizontal di bawah dan sumbu vertikal di kiri, dan pada  $T = 300\text{ K}$  dengan sumbu horizontal di atas dan sumbu vertikal di kanan.

Apakah yang disebut dengan benda hitam? Setiap benda yang memiliki energi, yaitu yang memiliki temperatur di atas  $0\text{ K}$  akan mengemisikan radiasi. Jika sebuah benda yang memiliki temperatur tertentu mengemisikan semaksimal mungkin jumlah radiasi per satuan luas dalam satuan waktu, maka benda tersebut disebut benda hitam atau radiator sempurna. Benda demikian memiliki nilai emisivitas permukaan ( $\epsilon$ ) sama dengan satu.

Gambar 8.10 menunjukkan distribusi spektral energi radiasi benda hitam pada temperatur  $6000\text{ K}$  (temperatur permukaan Matahari) dan  $300\text{ K}$  (temperatur sistem Bumi-atmosfer). Untuk Matahari, panjang gelombang emisi maksimumnya adalah sekitar  $0,48\ \mu\text{ m}$  ( $\approx 0,5\ \mu\text{ m}$ ) yang terletak pada spektrum cahaya tampak, sedangkan untuk sistem Bumi-atmosfer, panjang gelombang emisi maksimumnya adalah sekitar  $9,66\ \mu\text{ m}$  ( $\approx 10,0\ \mu\text{ m}$ ). Oleh karena itu, radiasi Matahari sering

disebut radiasi gelombang pendek, dan radiasi Bumi-atmosfer (radiasi terrestrial) sering disebut radiasi gelombang panjang. Bagaimanakah komposisi rentang panjang gelombang radiasi Matahari? Hampir 99 persen radiasi Matahari diisi oleh panjang gelombang pendek dari 0,15 sampai 4,0  $\mu\text{m}$ . Dari jumlah ini (99 %), 9 persennya adalah gelombang ultraviolet ( $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ), 45 persennya adalah gelombang cahaya tampak (merah-violet) ( $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,74 \mu\text{m}$ ), dan 46 persennya adalah gelombang inframerah ( $\lambda \geq 0,75 \mu\text{m}$ ). Pada tabel 8.2 disajikan panjang gelombang radiasi untuk setiap warna (Tjasyono, 2003 ; Tjasyono, 2006).

Tabel 8.2. panjang gelombang radiasi dan hubungannya dengan warna

warna	Interval panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Panjang gelombang tipik ( $\mu\text{m}$ )
Violet	0,390 – 0,455	0,430
Biru gelap	0,455 – 0,485	0,470
Biru cerah	0,485 – 0,505	0,495
Hijau	0,505 – 0,550	0,530
Kuning-Hijau	0,550 – 0,575	0,560
Kuning	0,575 – 0,585	0,580
Oranye	0,585 – 0,620	0,600
Merah	0,620 – 0,760	0,640

## B. EFEK ATMOSFER TERHADAP RADIASI MATAHARI

Adakah pengaruh atmosfer Bumi terhadap radiasi Matahari ? Ketika cahaya melewati medium transparan, maka sebagian cahaya tersebut akan disimpangkan ke berbagai arah, yang disebut sebagai gejala hamburan. Demikian juga halnya dengan radiasi matahari ketika melewati atmosfer Bumi, maka

sebagian dari radiasi tersebut akan dihamburkan oleh partikel-partikel udara. Hamburan radiasi oleh atmosfer Bumi bergantung pada diameter partikel-partikel penghambur ( $D$ ) dan panjang gelombang yang diradiasikan ( $\lambda$ ). Untuk  $D \ll \lambda$ , yang disebut sebagai hamburan Rayleigh, besarnya hamburan berbanding terbalik dengan panjang gelombang pangkat empat ; (Tjasyono, 2006).

$$H = \frac{1}{\lambda^4} \quad (8.9)$$

dimana  $H$  adalah besarnya hamburan Rayleigh dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi.

Adakah hubungan antara proses hamburan dengan warna biru dari langit? Karena panjang gelombang warna biru lebih pendek dari panjang gelombang warna hijau atau warna merah, maka menurut persamaan 8.9, warna biru akan lebih kuat dihamburkan dibanding warna hijau atau warna merah. Itulah sebabnya pada saat atmosfer cerah, langit tampak berwarna biru. Pada tahun 1996 kementerian lingkungan hidup negara kita telah mencanangkan "proyek langit biru". Proyek ini dimaksudkan gerakan udara bersih. Atmosfer yang cerah adalah yang banyak mengandung partikel-partikel gas nitrogen dan oksigen, yang disebut juga *atmosfer Rayleigh*.

Bagaimana jika  $D$  jauh lebih besar dari  $\lambda$ ? Jika diameter partikel-partikel atmosfer jauh lebih besar dari panjang gelombang radiasi atau  $D \gg \lambda$ , maka disebut sebagai pemantulan difus yang besarnya tidak bergantung pada panjang gelombang spektrum daerah cahaya tampak. Pemantulan difus dapat terjadi oleh tetes-tetes dengan diameter berorde antara 10  $\mu\text{m}$  hingga 200  $\mu\text{m}$ . Pada spektrum cahaya tampak, warna biru, hijau, dan merah dipantulkan sama kuat (non selektif), sehingga radiasi yang dipantulkan dari awan (kumpulan tetes-tets air) tampak berwarna putih bersih. Ingat campuran warna bahaya merah, kuning, hijau, biru, nila, dan violet akan menghasilkan warna putih.

Bagaimana jika  $D$  sebanding dengan  $\lambda$ ? Jika diameter partikel-partikel atmosfer sebanding dengan panjang gelombang radiasi atau  $D \approx \lambda$ , maka disebut sebagai hamburan Mie. Atmosfer demikian disebut atmosfer Mie, yang banyak

mengandung partikel-partikel debu, asap, kabut, dan sebagainya. Atmosfer bumi akan tampak putih sampai kemerahan. Hamburan Mie terjadi pada atmosfer bawah yaitu lapisan yang ketinggiannya di bawah 4,5 km, karena pada lapisan ini banyak terdapat partikel-partikel berukuran besar. Sedangkan hamburan Rayleigh banyak terjadi pada lapisan yang ketinggiannya antara 4,5 km hingga 9,0 km. Hamburan Mie lebih dominan terjadi pada gelombang panjang dan pada cuaca yang tidak cerah (berkabut atau berdebu), sedangkan hamburan Rayleigh lebih dominan terjadi pada gelombang pendek dan pada saat cuaca cerah.

## **LATIHAN**

Petunjuk : Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan cermat.

1. Hitunglah energi sebuah foton cahaya biru yang memiliki panjang gelombang  $0,4 \mu\text{m}$
2. Hitunglah energi yang dipancarkan oleh 5 mol foton yang memiliki panjang gelombang  $0,67 \mu\text{m}$

## **Rambu-Rambu Jawaban**

1. Gunakan persamaan 8.7.
2. Gunakan persamaan 8.8 dengan bilangan Avogadro untuk untuk 5 mol foton.

## RANGKUMAN

Semua proses pertukaran energi antara Bumi dan alam semesta terjadi dengan cara pertukaran radiasi. Pertukaran radiasi memainkan peranan penting dalam sejumlah reaksi kimia di atmosfer Bumi bagian atas. Radiasi adalah sebuah bentuk energi yang dipancarkan dalam bentuk foton-foton atau paket-paket energi yang mempunyai sifat mirip dengan partikel dan gelombang dan dapat menjalar dalam vakum (hampa) dalam lintasan lurus dengan kecepatan sebesar  $3 \times 10^8$  m/s.

Setiap benda yang memiliki energi, yaitu yang memiliki tempertur di atas 0K akan mengemisikan radisi. Jika sebuah benda yang memiliki temperatur tertentu mengemisikan semaksimum mungkin jumlah radiasi per satuan luas dalam satuan waktu, maka benda tersebut disebut benda hitam atau radiator sempurna. Benda demikian memiliki nilai emisivitas permukaan ( $\epsilon$ ) sama dengan satu.

Hampir 99 persen radiasi Matahari diisi oleh panjang gelombang pendek dari 0,15 sampai 4,0  $\mu\text{m}$ . Yang terdiri atas gelombang ultraviolet, gelombang cahaya tampak (merah-violet) dan gelombang inframerah.

Ketika radiasi matahari melewati atmosfer bumi, maka sebagian dari radiasi tersebut akan dihamburkan oleh partikel-partikel udara. Hamburan radiasi oleh atmosfer Bumi bergantung pada diameter partikel-partikel penghambur ( $D$ ) dan panjang gelombang yang diradiasikan ( $\lambda$ ). Untuk  $D \ll \lambda$ , yang disebut sebagai hamburan Rayleigh, besarnya hamburan berbanding terbalik dengan panjang gelombang pangkat empat. Akibat hamburan ini, pada saat atmosfer cerah, langit tampak berwarna biru. *atmosfer Rayleigh* banyak mengandung partikel-partikel gas nitrogen dan oksigen

Jika diameter partikel-partikel atmosfer jauh lebih besar dari panjang gelombang radiasi atau  $D \gg \lambda$ , maka disebut sebagai pemantulan difus yang besarnya tidak bergantung pada panjang gelombang spektrum daerah cahaya tampak. Pada spektrum cahaya tampak, warna biru, hijau, dan merah dipantulkan sama kuat (non selektif), sehingga radiasi yang dipantulkan dari awan (kumpulan tetes-tets air) tampak berwarna putih bersih.

Jika diameter partikel-partikel atmosfer sebanding dengan panjang gelombang radiasi atau  $D \approx \lambda$ , maka disebut sebagai hamburan Mie banyak mengandung partikel-partikel debu, asap, kabut, dan sebagainya. Atmosfer bumi akan tampak putih sampai kemerahan.

## TES FORMATIF 2

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

1. Benda hitam adalah .....
  - A. sebuah benda yang mengemisikan semaksimum mungkin radiasi per satuan luas dalam satuan waktu
  - B. benda yang warnanya sangat hitam
  - C. Benda yang temperaturnya tinggi sekali
  - D. Benda demikian memiliki nilai emisivitas permukaan ( $\epsilon$ ) nol
  - E. Ruang yang sangat gelap
2. Sistem Bumi-atmosfer dikatakan berada dalam keseimbangan radiatif dengan Matahari jika .....
  - A. Suhu bumi sama dengan suhu matahari
  - B. Panjang gelombang Matahari yang diserap Bumi sama dengan yang dipancarkan Bumi
  - C. Energi matahari yang diserap bumi sama dengan energi yang dipancarkan Bumi
  - D. Radiasi yang dipancarkan sistem bumi-atmosfer sama dengan radiasi Matahari yang diserapnya
  - E. Intensitas radiasi yang di serap sama dengan intensitas radiasi yang dipancarkan.
3. Benda A memiliki temperatur 3000 K dan benda B memiliki temperatur 1500 K, maka .....
  - A. panjang gelombang emisi maksimum benda A lebih besar dibanding benda B
  - B. panjang gelombang emisi maksimum benda A dua kali lebih besar dari benda B
  - C. panjang gelombang emisi maksimum benda A lebih kecil dari benda B
  - D. panjang gelombang emisi maksimum benda A setengah kali dari benda B
  - E. energi emisi maksimum benda A setengah kali dari benda B

4. Pada saat atmosfer cerah, langit tampak berwarna biru, hal ini berkaitan dengan .....
  - A. Hamburan Mie
  - B. radiasi matahari memiliki panjang gelombang pendek
  - C. penyerapan panjang gelombang pendek oleh atmosfer bumi
  - D. Pemantulan difus
  - E. Hamburan Rayleigh
5. Radiasi memiliki sifat dualisme yaitu partikel dan gelombang. Radiasi dapat dipandang sebagai paket-paket diskrit yang disebut kuantum atau foton. Manakah diantara pernyataan berikut yang benar ?
  - A. Energi foton yang besar terkait dengan radiasi gelombang panjang
  - B. Energi foton yang besar terkait dengan radiasi gelombang pendek
  - C. Energi foton yang besar terkait dengan intensitas radiasi yang besar
  - D. Energi foton yang besar terkait dengan intensitas radiasi yang kecil
  - E. Energi foton yang besar terkait dengan luas bidang yang disinari yang kecil
6. Atmosfer yang cerah adalah yang banyak mengandung partikel-partikel .....
  - A. gas nitrogen dan Karbon dioksida
  - B. gas oksigen dan hidrogen
  - C. gas oksigen dan argon
  - D. gas nitrogen dan oksigen
  - E. gas karbon monoksida dan klorin
7. Hamburan radiasi oleh atmosfer yang banyak mengandung partikel-partikel debu, asap, dan kabut sehingga atmosfer bumi tampak putih sampai kemerahan disebut .....
  - A. Pemantulan difus
  - B. Hamburan Rayleigh
  - C. hamburan Mie
  - D. hamburan foton
  - E. hamburan Avogadro
8. Akibat pemantulan difus, radiasi yang dipantulkan dari awan (kumpulan tetes-tetes air) tampak berwarna putih bersih. Hal ini terjadi karena .....
  - A. Warna putih dipantulkan paling kuat oleh awan

- B. Warna putih diserap oleh awan
- C. Warna biru dipantulkan paling kuat
- D. Warna merah dipantulkan paling kuat
- E. Semua warna cahaya tampak dipantulkan sama kuat

### **BALIKAN DAN TINDAK LANJUT**

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 8.2 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 2 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 BBM selanjutnya, Baik sekali ! Tetapi apabila tingkat

penguasaan materi anda masih di bawah 80 %, anda harus mengulang kembali kegiatan belajar 2 pada BBM ini, terutama pada bagian yang belum anda kuasai.

## **KUNCI JAWABAN TES FORMATIF**

### **Kunci Jawaban Tes Formatif 1**

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

### **Alasan :**

1. Bintik Matahari adalah daerah gelap pada fotosfer Matahari. Bintik ini bergerak secara rotasi dibawa oleh gerak rotasi Matahari, sehingga pergerakan bintik ini dapat menunjukkan periode rotasi Matahari.
2. Gas panas yang tersembur dengan dahsyat dari permukaan Matahari, yang menyerupai lidah api besar berwarna kemerahan dan memiliki bentuk yang bervariasi seperti pita, simpal (*loop*), spiral, gunung, atau tabir disebut Prominensa, yang terbentuk akibat gangguan pada permukaan Matahari.
3. Aktivitas Matahari selama terbentuknya suatu bintik Matahari maupun terbentuknya lidah api Matahari selalu disertai dengan pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron yang melewati korona ke arah planet-planet. Pancaran partikel bermuatan ini disebut sebagai angin Matahari (*solar wind*)

4. Ketika partikel-partikel yang dipancarkan dari Matahari menabrak atmosfer Bumi bagian atas, mengionisasi beberapa atom dan molekul yang berada di atmosfer dan mengeksitasi atom-atom dan molekul-molekul lainnya ke tingkat energi yang lebih tinggi (keadaan eksitasi). Ketika atom-atom ini kembali ke keadaan dasarnya, maka atom-atom dan molekul-molekul ini akan membebaskan energi radiasi berupa energi cahaya (foton) dengan panjang gelombang tertentu. Gelombang-gelombang cahaya tampak yang diradiasikan akan membentuk **aurora** yang dapat dilihat dari tempat-tempat yang memiliki lintang tinggi di Bumi seperti di kutub utara atau kutub selatan Bumi
5. Energi yang terbentuk pada inti Matahari dihasilkan dari suatu proses reaksi inti (*nuklir*) yang biasa disebut reaksi fusi (reaksi penggabungan) inti-inti hidrogen membentuk inti helium. Reaksi fusi nuklir ini diperkirakan meliputi tiga tahapan yang disebut rantai proton-proton
6. Insolasi yang berasal dari bahasa Inggris Insolation, adalah singkatan dari Incoming Solar Radiation yang berarti radiasi Matahari yang diterima Bumi. intensitas insolasi bergantung terutama pada dua faktor, yaitu sudut jatuh sinar Matahari dan lamanya radiasi Matahari. Intensitas adalah rasio antara fluks sinar matahari datang dengan luas bidang yang disinarnya, maka intensitas insolasi terbesar pada pukul 12.00, karena luas bidang yang disinari terkecil, sinar Matahari jatuh secara tegak.
7. Insolasi terbesar di permukaan Bumi jelas pada ekuator, karena jatuhnya sinar Matahari hampir tegak lurus.
8. Insolasi terbesar jelas di daerah C, karena permukaan tanah di C datar, sehingga jatuhnya sinar Matahari seolah-olah tegak lurus dan luas bidang yang disinari menjadi terkecil.
9. Pancaran partikel-partikel bermuatan listrik dari Matahari kuantitasnya akan sangat meningkat ketika jumlah bintik matahari mencapai maksimum. Hujan partikel bermuatan ini menghasilkan induksi magnetik yang sangat kuat, kira-kira ribuan kali induksi magnetik permukaan Bumi. Keadaan ini dapat menyebabkan sabuk radiasi Van Allen sangat radiatif, dan akibatnya komunikasi dengan gelombang radio di bumi akan terganggu, kadang-kadang terputis-putus. Kondisi ini terjadi akibat terganggunya lapisan ionosfer oleh

pancaran partikel bermuatan yang sangat kuat. Gejala semacam ini dikenal dengan istilah badai magnetik yang sangat mengganggu proses komunikasi radio.

10. Sebagai akibat dari pergerakan Bumi mengelilingi Matahari, maka sudut elevasi matahari terhadap suatu tempat di permukaan Bumi setiap saat akan berubah. Semakin tinggi elevasi Matahari, maka intensitas insolasi di tempat tersebut akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena Ketika elevasi matahari tinggi, maka sinar matahari jatuh secara tegak lurus terhadap Bumi. Dengan sinar yang jatuh secara tegak maka luas bidang yang tersinari akan lebih sempit dari pada ketika sinar jatuh secara miring. Dengan posisi Matahari yang tinggi, maka sinar matahari akan melewati atmosfer Bumi yang lebih tipis dibanding ketika matahari berada pada posisi rendah. Akibatnya atenuasi gelombang radiasi akan lebih kecil (efek hamburan oleh partikel-partikel debu atmosferik akan lebih kecil). Efek yang terkait erat dengan elevasi matahari adalah albedo, yaitu persentase insolasi yang dipantulkan oleh permukaan Bumi. Albedo dikendalikan oleh sifat fisis permukaan Bumi, terutama warnanya. Dalam kondisi yang sama, albedo akan berkurang ketika elevasi matahari bertambah tinggi. Efek pantulan ini akan lebih kuat terjadi pada permukaan perairan.

### **Kunci Jawaban Tes Formatif 2**

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

**Alasan :**

1. Setiap benda yang memiliki energi, yaitu yang memiliki temperatur di atas 0K akan mengemisikan radiasi. Jika sebuah benda yang memiliki temperatur tertentu mengemisikan semaksimal mungkin jumlah radiasi per satuan luas dalam satuan waktu, maka benda tersebut disebut benda hitam atau radiator sempurna. Benda demikian memiliki nilai emisivitas permukaan ( $\epsilon$ ) sama dengan satu.
2. Bumi dan atmosfer secara tetap menyerap radiasi Matahari dan mengemisikan kembali radiasinya ke angkasa. Setelah selang waktu yang cukup lama maka laju penyerapan (absorpsi) dan laju emisi dapat dianggap sama. Jika hal ini terjadi, dikatakan sistem Bumi-atmosfer berada dalam keseimbangan radiatif dengan Matahari. Pertukaran radiasi memainkan peranan penting dalam sejumlah reaksi kimia di atmosfer Bumi bagian atas.
3. Panjang gelombang elektromagnetik yang diradiasikan suatu benda bergantung pada temperatur permukaan benda. Semakin tinggi temperatur benda, maka energi radiasinya semakin tinggi. Karena antara energi dan panjang gelombang hubungannya terbalik, maka semakin tinggi temperatur benda panjang gelombang yang diradiasikan semakin pendek.
4. Hamburan radiasi oleh atmosfer Bumi bergantung pada diameter partikel-partikel penghambur ( $D$ ) dan panjang gelombang yang diradiasikan ( $\lambda$ ). Untuk  $D \ll \lambda$ , yang disebut sebagai hamburan Rayleigh, besarnya hamburan berbanding terbalik dengan panjang gelombang pangkat empat  $H = \frac{1}{\lambda^4}$  dimana  $H$  adalah besarnya hamburan Rayleigh dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi. Karena panjang gelombang warna biru lebih pendek dari panjang gelombang warna hijau atau warna merah, maka warna biru akan lebih kuat dihamburkan dibanding warna hijau atau warna merah
5. Hubungan antara energi ( $E$ ) dan panjang gelombang ( $\lambda$ ) adalah  $E = \frac{hc}{\lambda}$
6. Pada tahun 1996 kementerian lingkungan hidup negara kita telah mencanangkan ”proyek langit biru”. Proyek ini dimaksudkan gerakan udara bersih. Atmosfer

yang cerah adalah yang banyak mengandung partikel-partikel gas nitrogen dan oksigen, yang disebut juga *atmosfer Rayleigh*.

7. Jika diameter partikel-partikel atmosfer sebanding dengan panjang gelombang radiasi atau  $D \approx \lambda$ , maka disebut sebagai hamburan Mie. Atmosfer demikian disebut atmosfer Mie, yang banyak mengandung partikel-partikel debu, asap, kabut, dan sebagainya. Atmosfer bumi akan tampak putih sampai kemerahan. Hamburan Mie terjadi pada atmosfer bawah yaitu lapisan yang ketinggiannya di bawah 4,5 km, karena pada lapisan ini banyak terdapat partikel-partikel berukuran besar. Hamburan Mie lebih dominan terjadi pada gelombang panjang dan pada cuaca yang tidak cerah (berkabut atau berdebu).
8. Jika diameter partikel-partikel atmosfer jauh lebih besar dari panjang gelombang radiasi atau  $D \gg \lambda$ , maka disebut sebagai pemantulan difus yang besarnya tidak bergantung pada panjang gelombang spektrum daerah cahaya tampak. Pemantulan difus dapat terjadi oleh tetes-tetes dengan diameter berorde antara 10  $\mu\text{m}$  hingga 200  $\mu\text{m}$ . Pada spektrum cahaya tampak, warna biru, hijau, dan merah dipantulkan sama kuat (non selektif), sehingga radiasi yang dipantulkan dari awan (kumpulan tetes-tets air) tampak berwarna putih bersih. Ingat campuran warna bahaya merah, kuning, hijau, biru, nila, dan violet akan menghasilkan warna putih.

## DAFTAR PUSTAKA

Tjasyono, B., 2003, Geosains, ITB

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

Kanginan, M., 1999, Fisika SMU kelas 3, Erlangga, Jakarta

<http://en.wikipedia.org>

## GLOSARIUM

**Albedo** : persentase insolasi yang dipantulkan oleh permukaan Planet

**Angin Matahari (*solar wind*)** : Pancaran partikel-partikel bermuatan listrik seperti proton-proton dan elektron-elektron yang melewati korona ke arah planet-planet yang terjadi selama aktivitas matahari pada pembentukan suatu bintik Matahari maupun terbentuknya lidah api Matahari

**Atmosfer Rayleigh** : Atmosfer yang cerah yang banyak mengandung partikel-partikel gas nitrogen dan oksigen.

**Aurora** : Gelombang-gelombang cahaya tampak yang diradiasikan ketika atom-atom ini kembali ke keadaan dasarnya, yang dapat dilihat dari tempat-tempat yang memiliki lintang tinggi di Bumi seperti di kutub utara atau kutub selatan Bumi

**Benda hitam** : Sebuah benda yang memiliki temperatur tertentu yang dapat mengemisikan semaksimal mungkin jumlah radiasi per satuan luas dalam satuan waktu.

**Bintik Matahari** : Disebut juga noda Matahari (*sunspot*) adalah daerah gelap pada fotosfer yang muncul akibat suhunya lebih rendah dari suhu daerah di sekitarnya, yang dapat ditimbulkan oleh perubahan medan magnetik di Matahari

**Granula** : Gumpalan Matahari (*granula*) yang merupakan bintik-bintik panas (*hot spots*) yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu yang sangat tinggi antara daerah panas dan daerah dingin pada fotosfer

**Insolasi (*Insolation*)** : Sigkatan dari Incoming Solar Radiation yang berarti radiasi Matahari yang diterima Bumi, yang dipengaruhi oleh lintang atau letak suatu tempat di permukaan Bumi.

**Magnetosphere** : Suatu daerah yang menyerupai komet di sekitar Bumi yang terbentuk ketika proton-proton dan elektron-elektron berkecepatan tinggi dari angin Matahari melintasi medan magnet Bumi, kebanyakan dari partikel tersebut dibelokkan untuk seterusnya bergerak mengitari Bumi.

**Prominensa atau protuberans** : Lidah api Matahari yang muncul akibat gangguan pada permukaan Matahari

**Reaksi fusi nuklir** : Suatu proses yang pada inti Matahari yang merupakan reaksi penggabungan proton-proton, yang menghasilkan energi matahari

**Radiasi** : Proses perambatan energi (panas) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara