

PLANET BUMI (2)

Drs. H. Basuni Rachman, S.Pd., M.Pd.

PENDAHULUAN

Pada bahan belajar mandiri (BBM) 10 di atas, Anda telah mempelajari tentang bentuk Bumi, ukuran Bumi, massa Bumi, densitas Bumi dan umur Bumi; serta rotasi dan revolusi Bumi.

Pada bahan belajar mandiri (BBM) ini, Anda akan mempelajari tentang kemagnetan Bumi, sifat panas Bumi, dan interaksi Bumi (gravitas dan gravitasi).

Setelah mempelajari BBM ini, secara umum Anda diharapkan mengetahui dan memahami tentang kemagnetan Bumi, sifat panas Bumi, dan interaksi Bumi (gravitas dan gravitasi) sedangkan secara khusus diharapkan Anda dapat:

1. menjelaskan proses terjadinya “Sabuk Van Allen”(Van Allen Belts),
2. menjelaskan pengaruh kemagnetan Bumi,
3. menjelaskan perbedaan antara Kutub Bumi dengan Kutub Magnet Bumi,
4. menjelaskan sifat panas Bumi,
5. menjelaskan konsep gravitas, dan
6. menjelaskan hubungan gravitas dengan gravitasi.

Untuk membantu Anda mencapai tujuan tersebut, bahan belajar mandiri ini diorganisasikan menjadi dua kegiatan belajar (KB), yaitu:

KB 1 : Kemagnetan dan Sifat Panas Bumi, dan

KB 2 : Interaksi Bumi (gravitas dan gravitasi).

Agar Anda mudah mempelajari sendiri bahan belajar mandiri ini, sebaiknya memerhatikan beberapa petunjuk di bawah ini:

1. Bacalah dengan cermat bagian pendahuluan ini sampai Anda memahami secara tuntas bagaimana mempelajari materi Bahan Belajar ini.
2. Bacalah 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 bertukar pikiran dengan teman yang lain atau dengan dosen/tutor Anda.
4. Untuk memperluas wawasan, baca dan pelajarilah sumber-sumber lain yang relevan. Anda dapat menemukan bacaan dari berbagai buku sumber termasuk dari *internet*.
5. Mantapkanlah pemahaman Anda dengan mengerjakan latihan dan diskusi dalam kegiatan tutorial dengan mahasiswa lain atau teman sejawat.
6. Jawablah soal-soal yang tercantum pada setiap akhir kegiatan belajar. Hal ini berguna untuk mengetahui kemampuan Anda dalam memahami materi Bahan Belajar Mandiri ini.

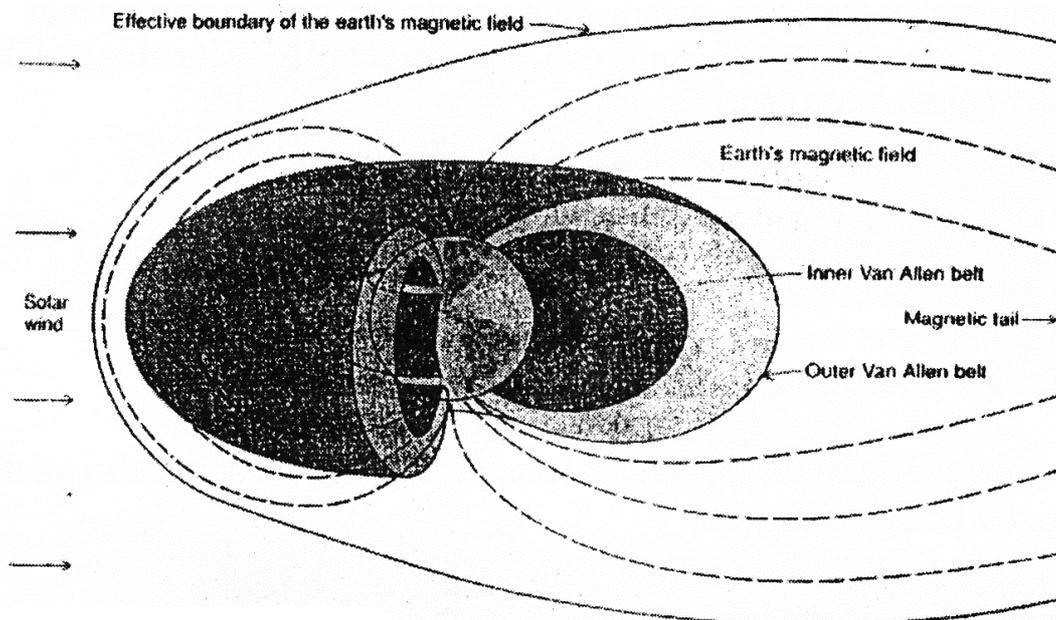
Selamat Belajar !

Kegiatan Belajar 1

KEMAGNETAN BUMI DAN SIFAT PANAS BUMI

1. Kemagnetan Bumi

Menurut Mulyo, A. (2004: 39) bahwa Bumi memiliki medan magnet yang dibangkitkan oleh inti Bumi. Seperti halnya pada magnet batang, magnet Bumi juga memiliki kutub-kutub (Utara dan Selatan), letaknya dekat dengan kutub-kutub Bumi. Di atas eksosfer ada satu daerah yang menunjukkan sifat-sifat magnetik Bumi dan berinteraksi dengan arus radiasi Matahari korpuskuler yang mengisi ruang antar planet yang disebut angin surya (*solar wind*) yang setelah sampai ke Bumi berinteraksi dengan magnet Bumi yang disebut *magnetosfera*. Akibat interaksi ini, *magnetosfera* bentuknya menjadi seperti komet karena adanya hembusan angin surya tersebut. Perhatikan gambar 11.1.1 berikut ini:



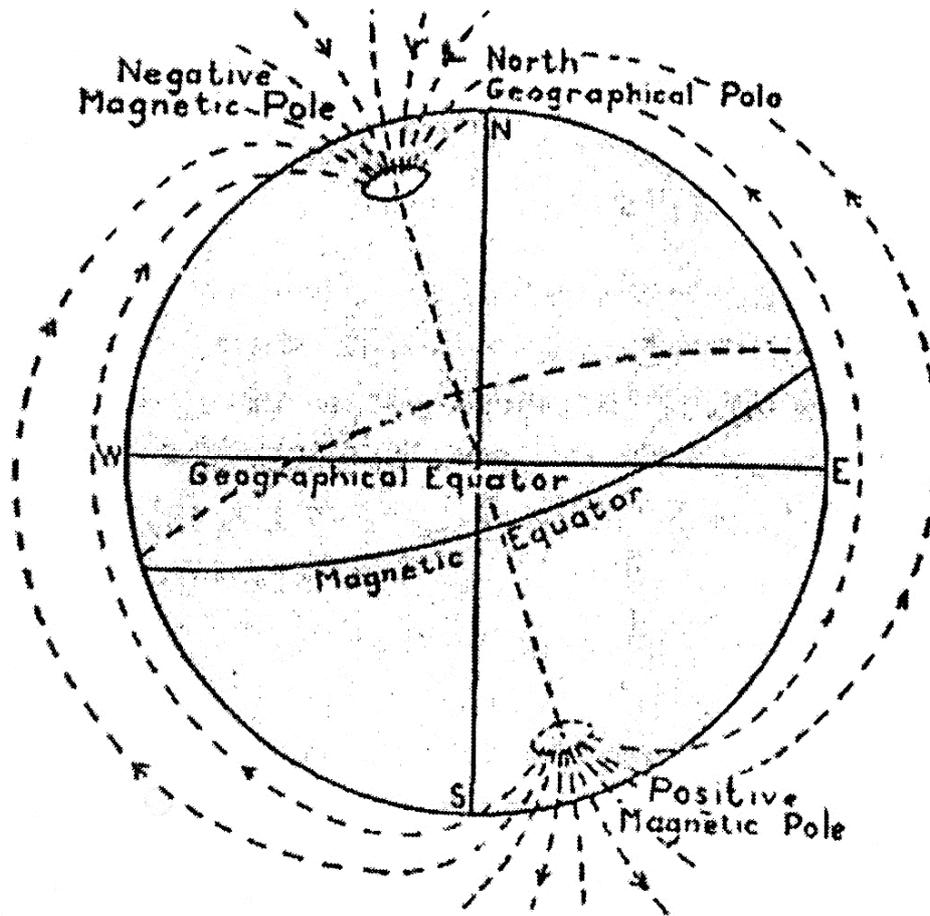
Gambar 11.1.1: Magnetosfer Bumi terbentuk akibat interaksi antara gaya magnet Bumi dengan angin surya

Magnetosfera merupakan perisai Bumi terhadap partikel-partikel dari Matahari yang dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup di Bumi. Partikel-partikel yang datang ke arah Bumi dihadang oleh magnetosfera sehingga terkungkung di dalam medan ini. Daerah tempat terkungkungnya partikel-partikel tersebut dinamakan Sabuk Van Allen (*Van Allen Belts*) sesuai dengan nama yang menemukannya, James A. Van Allen. Jadi *Van Allen belts* adalah pita-pita radiasi yang berbentuk kue donat terbuat dari partikel-partikel bermuatan yang terperangkap dalam medan magnetik Bumi.

Aurora adalah lengkungan lembaran cahaya (seperti tirai) beraneka warna yang selalu bergerak-gerak di langit. Peristiwa ini akibat variasi medan magnet Bumi yang timbul karena adanya peningkatan aktivitas di Matahari sehingga intensitas angin surya yang menghantam Bumi bertambah besar. Ketinggian aurora sekitar 80 – 150 km bahkan ada yang mencapai 1.000 km di atas permukaan Bumi. Kebanyakan aurora diamati dalam sabuk (*belt*) sekitar kutub geomagnetik antara lintang 15° dan 30° , dengan frekuensi maksimum pada lintang sekitar $22,5^{\circ}$.

Kemagnetan Bumi ditandai oleh dua hal, yaitu inklinasi magnetik (*magnetic inclination*) dan deklinasi magnetik (*magnetic declination*).

Inklinasi magnetik adalah sudut inklinasi (kemiringan) antara jarum magnet terhadap horizontal. Di daerah belahan Bumi Utara, titik Utara jarum magnet berinklinasi ke arah horizontal, sedangkan di belahan Bumi Selatan, titik selatan jarum magnet berinklinasi ke arah horizon. Perhatikan gambar 11.1..2 berikut:



Gambar 11.1.2: Perbedaan antara posisi kutub magnet dan kutub Bumi

Sudut inklinasi berbeda-beda untuk setiap tempat yang berlainan. Dari ekuator ke arah kutub magnet, sudut inklinasi semakin besar dan tepat di kutub magnet harganya maksimum, yaitu jarum magnet berhenti pada posisi tegak lurus. Garis yang menghubungkan tempat-tempat di Bumi yang berinklinasi sama dinamakan *isoclines* (garis isoklin). Deklinasi magnetis adalah besarnya sudut yang dibentuk antara arah jarum magnet dengan garis bujur geografis, baik di sebelah timur maupun sebelah barat. Besarnya deklinasi berbeda-beda untuk setiap tempat. Garis yang menghubungkan tempat-tempat di Bumi yang berdeklinasi sama dinamakan *isogon*. Isogon yang deklinasinya nol disebut meridian magnetis.

Garis-garis isogon membujur dari satu titik di Utara menuju satu titik di Selatan. Titik-titik itu tidaklah sama dengan titik kutub-kutub geografis. Koordinat kutub Utara magnet adalah $70^{\circ} 05' 03''$ Lintang Utara dan $96^{\circ} 45' 03''$ Bujur Barat, sedangkan koordinat kutub Selatan magnet adalah $74^{\circ} 06'$ Lintang Selatan dan $154^{\circ} 08'$ Bujur Timur.

Secara definitif kita tidak dapat memberikan jawaban mengapa kutub-kutub magnet Bumi bukanlah kutub-kutub Bumi? Mungkin penyebabnya tidak meratanya distribusi daratan dan air. Pada beberapa tempat di muka Bumi, arah garis isoklinik dan isogonik mengalami variasi definitif yang berhubungan dengan anomali-anomali magnetis. Anomali magnetis telah dibuktikan adanya batuan atau massa besar yang mengandung magnet, misalnya biji besi dan mineral-mineral logam lainnya yang terletak dekat permukaan Bumi. Juga hal itu dapat disebabkan adanya struktur patahan yang dapat memindahkan batuan dengan sifat-sifat magnetis berbeda menjadi saling bersentuhan.

Intensitas dan sifat magnetis Bumi berbeda untuk setiap tempat dan berubah-ubah sesuai posisi Bumi terhadap Matahari. Apabila jarum magnet secara tiba-tiba bergerak di luar batas variasi yang normal, hal ini menandakan adanya *magnetic storm* (badai magnetik). Gejala ini berlangsung dalam waktu yang singkat tetapi kadang-kadang sampai beberapa hari, biasanya akibat terjadinya petir, gempa bumi, atau letusan gunung berapi. Alat untuk mengukur intensitas kemagnetan dinamakan *magnetometer*.

Pengetahuan mengenai kemagnetan Bumi dapat digunakan untuk eksplorasi (pencarian) mineral dan bahan tambang lainnya dengan azas geofisika.

2. Sifat Panas Bumi

Bumi memiliki sifat panas dari luar (*external heat*) dan dalam (*internal heat*). Panas dari luar bersumber dari pancaran sinar matahari, besarnya panas yang diterima oleh Bumi 10^{21} kalori setiap tahun. Penerimaan panas di permukaan Bumi tidak merata tergantung pada radian energi (*insolation*) dan beberapa faktor lain, misalnya distribusi daratan dan perairan, kedalaman, dan *crustal relief*, yakni tinggi rendahnya permukaan Bumi, penyebaran tumbuhan, arus laut, dan pergerakan udara (angin), serta ketandusan

atau kegundulan suatu tempat. Faktor lain yang berpengaruh terhadap kemampuan menyerap panas Matahari adalah jenis batuan. Setiap penambahan tinggi 100 meter suatu tempat suhu turun $0,5^{\circ}\text{C}$ (Mulyo, A., 2004: 42-44)

Gradien geotermal adalah tingkat kenaikan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) apabila turun/masuk ke dalam Bumi setiap 100 meter. Untuk daerah Eropa rata-rata $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ sedangkan Amerika utara gradien geotermalnya $1,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Tempat-tempat yang semakin jauh dari khatulistiwa suhu udaranya semakin rendah. Suhu udara di daerah kutub rata-rata tahunannya minus 10°C sampai minus 15°C , bahkan lebih rendah dari itu. Akan tetapi suhu udara di gurun pasir mencapai 70°C . Fluktuasi suhu udara di dekat permukaan Bumi sangat tinggi, kadang-kadang mencapai 100°C . Namun, fluktuasi ini semakin berkurang apabila ke arah dalam Bumi, bahkan pada kedalaman tertentu hilang sama sekali. Daerah seperti ini dinamakan *zone of constant annual temperature*, yaitu zona yang suhunya tetap dari masa ke masa dalam setahun. Pada zona ini suhu tanah sama dengan suhu udara di atasnya karena bagian atasnya diselimuti *zona heliothermal*, yaitu lapisan kulit Bumi yang mendapat radiasi panas matahari.

Di bawah lapisan zona yang bersuhu konstan terdapat *zona geothermal*, yakni daerah yang suhunya tetap tinggi bukan berasal dari sinar Matahari melainkan dari dalam perut Bumi sendiri. Derajat geotermik tidak sama pada setiap tempat, hal ini disebabkan beberapa faktor, yaitu:

1. Perbedaan sifat penghantar panas (*thermoconductivity*) dari lapisan tanah dan batuan. Semakin tinggi daya penghantar panasnya, semakin rendah derajat geotermiknya, begitu pula sebaliknya.
2. Proses reaksi kimia dari kandungan air yang terdapat dalam lapisan tanah dan batuan. Salah satu proses ini contohnya reaksi antara air dengan batuan yang mengandung besi sulfida (FeS) yang banyak melepaskan panas.
3. Kondisi yang menyebabkan terbentuknya batuan. Pada lapisan batuan yang terlipat sehingga lapisannya miring atau tegak lurus maka kenaikan suhunya ke arah dalam lebih cepat dibandingkan lapisan batuan yang datar. Hal ini karena lapisan batuan penghantar panas lebih mendekati permukaan Bumi.
4. Gerakan air bawah permukaan. Tergantung aliran airnya panas atau dingin.

5. Gerakan air di permukaan Bumi. Daerah dekat lautan/laut derajat geotermiknya lebih tinggi daripada tempat-tempat yang jauh terhadap lautan atau laut.
6. Konsentrasi unsur-unsur radioaktif pada batuan. Pada tempat dengan konsentrasi radioaktifnya tinggi, derajat geotermiknya menurun.

Dengan patokan derajat geotermik 33 meter untuk lapisan-lapisan litosfer, maka pada kedalaman 33 km suhunya 1.000°C dan pada kedalaman 66 km dapat mencapai 2.000°C . Pada suhu setinggi ini, batuan-batuan di bawah litosfera akan mencair, tetapi pada kedalaman tersebut tekanannya tinggi (11.000 – 14.000 atmosfer) menyebabkan batuan-batuan atau zat-zat berada dalam keadaan padat yang plastis. Apabila derajat geotermik tetap 33 meter, maka temperatur di pusat Bumi sekitar 193.060°C . Ini berarti unsur-unsur yang berada di pusat dan mantel Bumi dalam keadaan cair. Dalam keadaan seperti ini lapisan permukaan Bumi (litosfera) juga akan mencair. Dengan demikian, suhu pada bagian dalam bumi tidak akan lebih antara $3.500^{\circ} - 4.000^{\circ}\text{C}$. Hal ini dengan perhitungan adanya tekanan pada tempat tersebut sebesar 4.163.450 atm. Pada kondisi seperti ini maka batuan dalam mantel dan pusat Bumi bentuknya kenyal dan padat. Hal ini sesuai dengan data astronomis dan seismologis.

Pendapat terakhir menyatakan bahwa panas yang terjadi pada lapisan litosfera (lapisan batuan Bumi paling atas) berasal dari adanya reaksi zat-zat radioaktif. Unsur-unsur yang mencair akibat reaksi ini akan bertambah volumenya sehingga tekanannya meningkat dan dapat mengakibatkan erupsi dalam bentuk massa air.

LATIHAN 1

Setelah Anda mempelajari uraian materi di atas, untuk mengetahui tingkat pemahaman Anda, coba jawab atau kerjakan latihan di bawah ini!

1. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. solar wind,
 - b. magnetosfer,
 - c. aurora,

- d. sabuk Van Allen (Van Allen belts),
 - e. inklinasi magnetik, dan
 - f. deklinasi magnetik.
2. Mengapa garis-garis isogon yang membujur dari titik Utara menuju titik Selatan tidak sama dengan titik kutub-kutub geografis?
 3. Secara praktik, untuk apa kegunaan pengetahuan kemagnetan Bumi?
 4. Yang mempengaruhi sifat panas Bumi adalah geotermal dan heliotermal. Jelaskan, apa yang Anda ketahui tentang hal itu?

PETUNJUK JAWABAN LATIHAN

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda dalam mengerjakan latihan, silakan Anda telaah jawaban berikut ini atau mintalah bantuan Tutor/Dosen pembimbing untuk menjelaskan latihan di atas itu.

1. Untuk menjawab soal latihan no. 1, Anda dapat menjelaskan pengertian-pengertian dengan mencari atau mempelajari kembali materi yang telah dikemukakan di atas atau dari kamus/glosarium.
2. Kutub-kutub magnet Bumi dipengaruhi dengan adanya batuan yang mengandung magnet yang terletak dipermukaan Bumi dan kemungkinan tidak meratanya distribusi daratan dan air.
3. Kegunaan pengetahuan kemagnetan Bumi yaitu untuk eksplorasi (pencarian) mineral dan bahan tambang.
4. Geotermal adalah panas Bumi yang berasal dari dalam (perut) Bumi sendiri sedangkan heliotermal adalah sifat panas yang diterima Bumi dari pancaran Matahari.

RANGKUMAN

Di atas eksosfer ada daerah yang menunjukkan sifat magnetik Bumi dan berinteraksi dengan arus radiasi matahari yang disebut angin surya (*solar wind*) yang setelah sampai ke Bumi berinteraksi dengan medan magnetik Bumi yang disebut magnetosfera. Van Allen belts atau sabuk Van Allen adalah pita-pita radiasi yang berbentuk kue donat terbuat dari partikel-partikel bermuatan yang terperangkap dalam medan magnetik Bumi. Pada beberapa tempat di muka Bumi, arah isoklinik dan isogonik mengalami variasi definitif yang berhubungan dengan anomali magnetis. Anomali magnetis disebabkan adanya batuan atau massa besar yang mengandung magnet, seperti bijih besi dan mineral-mineral logam lainnya yang terletak di dekat permukaan Bumi. Pengetahuan mengenai kemagnetan Bumi dapat digunakan untuk eksplorasi (pencarian) mineral dan bahan tambang.

Bumi memiliki sifat panas yang dipancarkan dari luar (*external heat*) dan dari dalam (*internal heat*). Panas dari luar bersumber dari Matahari yang diterima oleh Bumi sebesar 10^{21} kalori setiap tahun. Setiap penambahan tinggi 100 m, suhu turun $0,5^{\circ}$ C. Di bawah lapisan zona yang bersuhu konstan terdapat zona *geothermal*, yaitu daerah suhunya tetap tinggi bukan karena pengaruh sinar Matahari tetapi panas dari dalam perut Bumi. Zona heliothermal, yakni zona yang suhunya tetap dari masa ke masa dalam setahun dan suhu tanah sama dengan suhu udara di atasnya akibat lapisan kulit Bumi mendapat radiasi panas Matahari.

Dengan patokan derajat geotermik 33 meter untuk lapisan-lapisan litosfer maka pada kedalaman 33 km suhunya 1.000° C dan pada kedalaman 66 km akan mencapai 2.000° C. Pada suhu setinggi ini jika tidak ada tekanan tinggi (11.000 – 14.000 atmosfer), batuan-batuan di bawah litosfer akan mencair. Oleh karena ada tekanan itu maka batuan-batuan tersebut tetap padat yang plastis.

TES FORMATIF 1

Petunjuk: Pilihlah salah satu jawaban dengan memberi tanda silang (X) pada jawaban yang paling tepat!

1. Partikel yang dipancarkan terus menerus oleh Matahari yang mengisi ruang antarplanet disebut
 - A. *magnetosfer*
 - B. *solar wind*
 - C. *aurora*
 - D. *magnetik storm*
2. Pita-pita radiasi yang berbentuk kue donat dan terbentuk dari partikel-partikel bermuatan yang terperangkap dalam medan magnetik Bumi disebut
 - A. *Magnetic inclination*
 - B. *Magnetic declination*
 - C. *magnetic tail*
 - D. *Van Allen belts*
3. Anomali magnetis pada beberapa tempat di muka Bumi yang menyebabkan arah garis isoklinik dan isogonik mengalami variasi definitif antara lain disebabkan
 - A. batuan yang mengandung magnet
 - B. es yang ada di kutub-kutub geografis
 - C. perputaran bumi pada sumbunya
 - D. terjadinya petir, gempa bumi, dan letusan gunung berapi
4. Panas Bumi yang berasal dari luar (*external heat*) bersumber dari ...
 - A. *geothermal*
 - B. *heliothermal*
 - C. *magma source*
 - D. *magma chamber*
5. Faktor-faktor yang memengaruhi tingkat panas Bumi adalah ... , *kecuali*
 - A. radian energi (*insolation*)
 - B. distribusi daratan dan perairan

- C. kedalaman dan tinggi rendahnya permukaan Bumi
 - D. frekuensi cahaya Matahari
5. Jika suhu kamar di pantai Jakarta pada ketinggian nol meter dari permukaan air laut 25°C maka suhu kamar di Bandung pada ketinggian 800 meter adalah ...
- A. 29°C
 - B. 21°C
 - C. 33°C
 - D. 17°C
7. Jika gradien geotermal $3^{\circ}\text{C}/100$ meter maka suhu pada kedalaman 1 km di bawah permukaan Bumi sebesar
- A. 3000°C
 - B. 1000°C
 - C. 500°C
 - D. 1500°C
8. Faktor-faktor yang mempengaruhi derajat geotermik tidak sama untuk setiap tempat, faktor-faktor itu antara lain ... , *kecuali*
- A. perbedaan sifat penghantar panas
 - B. proses reaksi kimia lapisan batuan
 - C. gerakan air di permukaan Bumi
 - D. tingkat kerapatan udara di permukaan Bumi
9. Jika derajat geotermik 33 meter pada kedalaman 33 km bersuhu 1.000°C maka suhu pada kedalaman 99 km di bawah permukaan Bumi adalah
- A. 200°C
 - B. 2000°C
 - C. 3000°C
 - D. 300°C
10. Pada daerah laut derajat geotermiknya adalah
- A. lebih tinggi daripada daratan
 - B. sama saja dengan daratan
 - C. lebih rendah daripada daratan
 - D. konstan

BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkanlah hasil jawaban Anda dengan kunci jawaban Tes Formatif 1 yang ada pada bagian belakang BBM ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan belajar 1.

Rumus:

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{10} \times 100\%$$

10

Arti Tingkat Penguasaan:

90% - 100% = Baik Sekali

80% - 89% = Baik

70% - 79% = Cukup

≤ 69% = Kurang

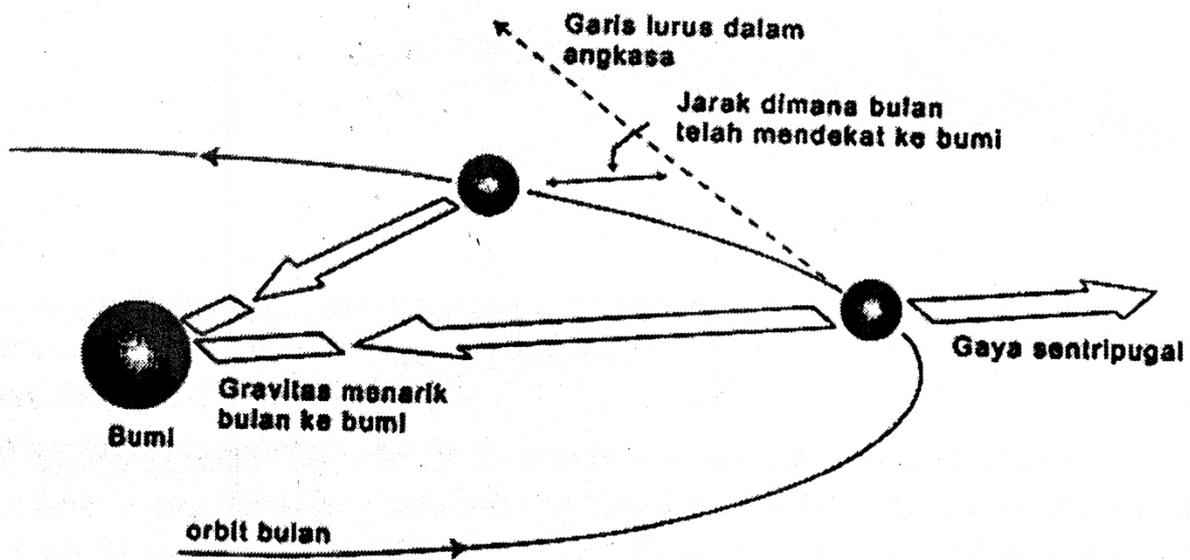
Kalau Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2, **bagus!** Akan tetapi apabila tingkat penguasaan Anda di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum Anda kuasai.

Kegiatan Belajar 2

Gravitas dan Gravitasi Bumi

Menurut Tjasyono, B. HK.(2006: 103-106), konsep Gravitas (*gravity*) adalah salah satu dasar fisika klasik yang dapat menjelaskan fenomena berat, percepatan benda-benda yang jatuh, dan orbit satelit Bumi. Gravitas adalah universal, masuk ke dalam semua cabang fisika dan semua aspek kehidupan. Dalam geofisika, gravitas sangat menarik perhatian untuk berbagai alasan. *Pertama*, pengukuran gravitas dipakai untuk menentukan massa Bumi. *Kedua*, pengukuran gravitas memberikan informasi bentuk Bumi. Observasi gravitas yang teliti juga memberikan data tentang distribusi materi di bawah permukaan Bumi. Dalam penerapan praktis, pengukuran gravitas memungkinkan untuk mencari lokasi endapan minyak (oil deposits) dan ketidakteraturan (*irregularity*) komposisi lain dalam kerak Bumi. Walaupun gravitas mendekati konstan di atas permukaan Bumi tetapi gravitas bervariasi sedikit dan secara sistematis dengan lintang tempat. Gravitas juga bervariasi skala kecil yang disebabkan oleh ketidakteraturan massa Bumi, misalnya pegunungan. Gravitas meter (*gravimeter*) yang teliti dipakai untuk mengukur dan memetakan anomali gravitas.

Newton memformulasikan hukum gravitas universal untuk menjelaskan gerak Planet dan Bulan. Menurut Newton, planet-planet tertarik ke Matahari oleh sebuah gaya gravitasi yang bekerja berdasarkan massa. Tentu Anda telah mempelajarinya pada Bahan Belajar Mandiri sebelumnya, bahwa besarnya gaya gravitasi sebanding dengan massa Matahari dan planet, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut. Jarak antara kedua benda dalam hukum gravitasi adalah jarak antara pusat-pusat massa kedua benda. Planet “jatuh” ke arah Matahari sebagai akibat atraksi massa ini. Jadi, planet akan ditarik ke arah dalam, menjauhi dari sebuah garis lurus di angkasa dan memaksa untuk bergerak dalam lintasan lengkung (*eliptik*) di sekitar Matahari. Newton membuktikan hukumnya dengan menghitung efek gravitasional Bumi terhadap Bulan. Perhatikan gambar 11.2.1 berikut ini.



Gambar 11.2.1
Gerakan Sentripetal Bulan akibat Atraksi Gravitasi
Antara Bulan dan Bumi

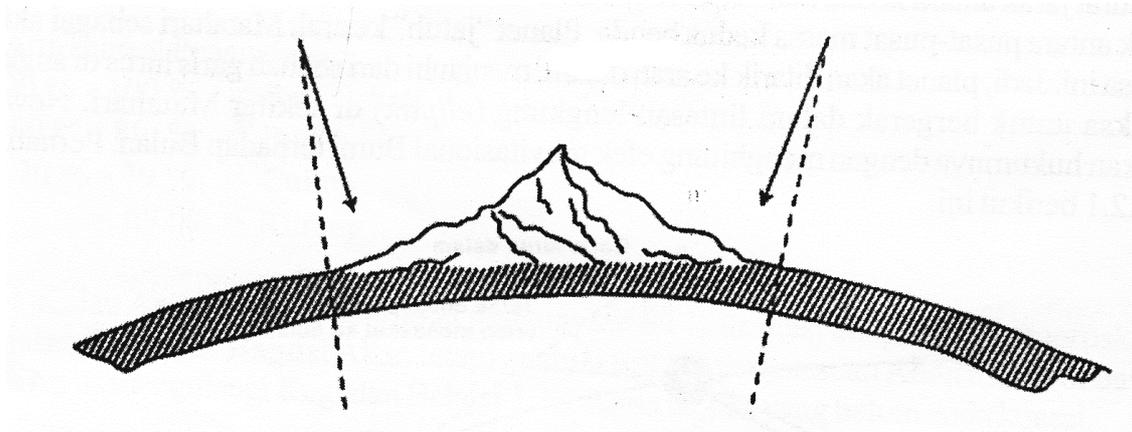
Gaya gravitasi menyebabkan Bulan/Planet mempercepat secara konstan ke arah Bumi/Matahari ketika Bulan/Planet bergerak dalam orbitnya, ini disebut percepatan *sentripetal*. Oleh karena adanya inersia (kelembaman), benda yang melakukan revolusi akan melakukan dalam sebuah garis lurus, jika tidak ada gravitasi. Kecenderungan benda untuk bergerak dalam sebuah garis lurus dapat dinyatakan oleh gaya imajiner berarah keluar yang disebut gaya sentrifugal. Kita dapat menduga gravitasi sebagai gaya lawan dari gaya inersial ini. Dengan membayangkan sebuah gaya sentrifugal, barangkali kita dibantu untuk melihat bagaimana benda yang melakukan revolusi akan tetap pada orbitnya. Gaya sentrifugal (F) sama dengan massa benda yang melakukan revolusi (m) dikalikan jarak radialnya dari pusat rotasi (R) dikalikan kuadrat kecepatan sudutnya (ω^2).

Untuk melengkapi karya Newton, perlu menentukan konstanta perbandingan (konstanta gravitasi universal) yang muncul dalam hukum gravitasi universal. Hal ini

dapat dilakukan dengan mengukur massa Bumi atau di laboratorium dengan mengukur gaya gravitasional antara dua massa yang diketahui dengan jarak tetap. Setelah diketahui konstanta perbandingan maka dapat dihitung massa Bumi dari percepatan gravitasional. Dengan menentukan massa Bumi, maka dapat ditentukan massa Matahari, Bulan, dan Planet melalui hukum gravitasi.

Dalam abad ke-18, pengukuran gravitas yang tepat dapat menentukan bentuk Bumi lebih teliti. Bersamaan dengan itu, variasi gaya gravitas diamati dan dikaitkan dengan pegunungan dan iregularitas (ketidakteraturan) densitas Bumi. Penemuan penting berdasarkan pengukuran gravitas adalah fakta bahwa pegunungan (gunung) tampaknya “terapung” pada material yang relatif ringan yang terletak di bawahnya, suatu fenomena yang dikenal sebagai isostasi (*isostasy*). Pada tahun 1738, Bouguer berusaha tanpa hasil mengukur konstanta gravitas dengan mengukur defleksi sebuah garis timbangan (*plumb line*) yang disebabkan oleh tarikan gravitasional sebuah gunung di Peru, massa gunung diketahui dari pemboran.

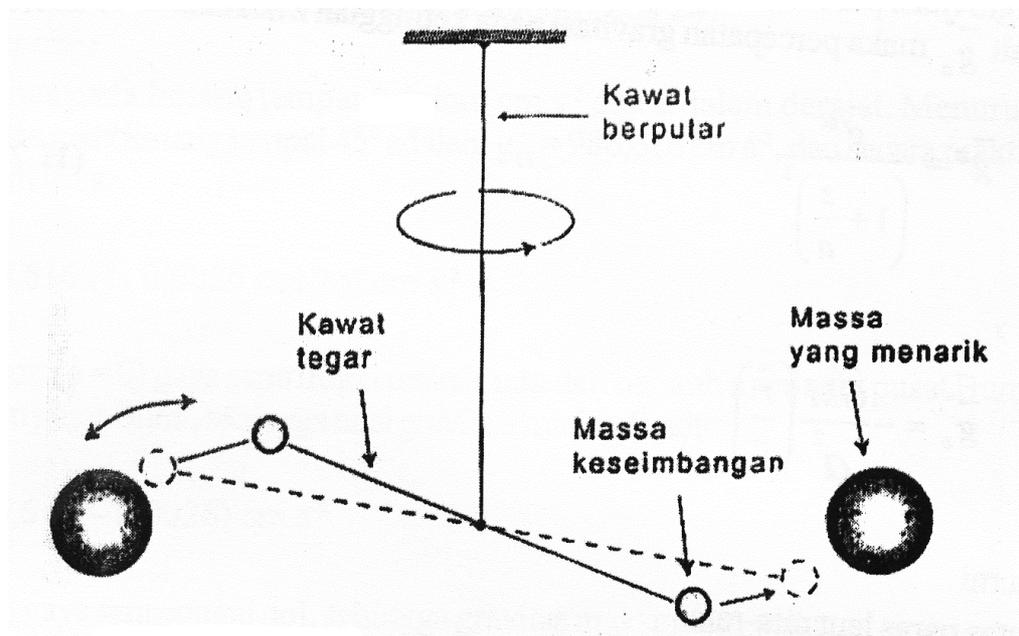
Pada tahun 1774 Maskelyne, di Skotlandia lebih sukses dalam menggunakan metode gunung, yang diilustrasikan dalam gambar 11.2.2. di bawah ini.



Gambar 11.2.2: Defleksi garis timbangan oleh massa gunung dengan mengabaikan efek isostasi

Defleksi garis timbangan dari vertikal astronomis diukur dari dua lereng gunung. Massa gunung yang menyebabkan atraksi gravitasional horisontal dan defleksi garis timbangan, diukur secara bebas (*independently*) dari contoh (*samples*) batuan dan volume gunung, sehingga konstanta gravitasional dan massa Bumi dapat ditentukan. Diperoleh bahwa garis timbangan sebenarnya dapat disimpangkan jauh dari gunung tersebut akibat efek isostasi. Pada kenyataannya Bouguer (1738) dalam Tjasyono, B.HK. (2006: 106) telah menemukan secara menakjubkan bahwa gunung dalam percobaannya menyebabkan efek defleksi yang lebih kecil daripada yang ia perkirakan, sehingga Bouguer merupakan orang pertama yang melihat fenomena isostasi (keseimbangan isostatik).

Pengukuran konstanta gravitasional yang teliti dan pertama kali dilakukan oleh Hendry Cavendish (1731 - 1810) di sekitar tahun 1798. Cavendish memakai sebuah neraca puntir (*torsions balance*) dan mengetahui massa untuk mengukur gaya gravitas, seperti diilustrasikan dalam gambar 11.2.3 berikut ini.



Gambar 11.2.3: Pemakaian neraca torsi untuk mengukur konstanta gravitasional universal

Dengan mengukur defleksi massa yang melekat pada kawat yang menggantung, ketika dua massa yang lebih besar yang ditempatkan di dekat massa-massa yang melekat pada kawat tersebut saling menarik, Cavendish dapat mengukur gaya gravitasional antara benda-benda yang saling menarik. Oleh karena massa benda dan jarak antara massa-massa tersebut diketahui maka konstanta gravitasional universal dapat dihitung.

Konstanta gravitasional universal hukum Newton yang ditentukan oleh Cavendish (1798) adalah $6,67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$. Dari nilai ini, dapat dihitung massa Bumi, jika diketahui radius Bumi. Dalam satuan sistem internasional (SI), nilai konstanta (gravitasional) universal adalah $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$, tentu Anda masih ingat pada persamaan Hukum Newton tentang gravitasi universal pada BBM yang lalu (

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2})$$

Hubungan Gravitasi dan Gravitasi

Jika massa Bumi M dan massa atmosfer m , maka gaya tarik Bumi terhadap atmosfer secara vektor dapat ditulis sebagai berikut:

$$\vec{F}_g = -\frac{GMm}{r^2} \begin{pmatrix} \vec{r} \\ r \end{pmatrix} \quad (11.2.1)$$

\vec{r} adalah vektor yang besarnya r dan arahnya dari M ke m , dan r adalah jarak antara benda M dan m . Tanda negatif adalah gaya tarik berlawanan dengan vektor jarak.

Gaya tarik Bumi per satuan massa atmosfer (m) atau percepatan gravitasi dapat ditulis:

$$\frac{\vec{F}_g}{m} = \vec{g}^* = -\frac{GM}{r^2} \begin{pmatrix} \vec{r} \\ r \end{pmatrix} \quad (11.2.2)$$

\vec{g}^* adalah gaya gravitasi per satuan massa. Jika percepatan gravitasi pada paras laut rata-rata (*mean sea level*) adalah \vec{g}_o^* maka percepatan gravitasi pada ketinggian z adalah:

$$\vec{g}^* = \frac{\vec{g}^*}{\left(1 + \frac{z}{a}\right)^2} \quad (11.2.3)$$

dengan

$$\vec{g}_o^* = -\frac{GM}{a^2} \left(\frac{\vec{r}}{r}\right)$$

Keterangan:

a = jari-jari Bumi

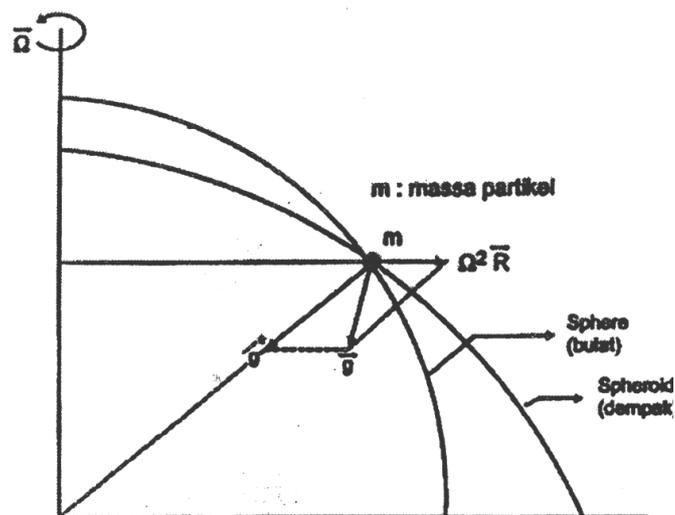
z = tinggi di atas paras laut rata-rata

r = a + z

Pada umumnya $z \ll a$, sehingga dapat dianggap $g^* = g_o^*$, dengan demikian percepatan gravitasi dapat dianggap konstan.

Sebuah partikel yang diam di permukaan Bumi yang berputar dengan kecepatan sudut Ω akan mengalami gaya sentripugal sebesar $\Omega^2 \vec{R}$ di mana \vec{R} adalah vektor posisi dari sumbu rotasi sampai partikel. Gabungan antara gaya gravitasi persatuan massa (\vec{g}^*) dan gaya sentripugal per satuan massa ($\Omega^2 \vec{R}$) disebut gaya gravitas per satuan massa atau percepatan gravitas yang secara sederhana disebut “gravitas”, yaitu:

$$\vec{g} = \vec{g}^* + \Omega^2 \vec{R} \quad (11.2.4)$$



Gambar 11.2.4 : Gravitas (g) dan gravitasi (g*)

Gravitasi menuju ke arah pusat Bumi, gaya sentrifugal berarah menjauhi sumbu rotasi Bumi. Jadi gravitas tidak menuju pusat Bumi kecuali di ekuator dan kutub. Oleh karena Bumi berputar terhadap sumbu imaginernya maka bentuk Bumi dempak/pepat (spheroid) dengan jari-jari ekuator lebih besar daripada kutub dengan beda sekitar 21,5 km.

Persamaan empirik percepatan gravitas pada paras laut rata-rata fungsi lintang ϕ adalah:

$$g_{\phi} = 980,616 (1 - 0,002644 \cos 2\phi + 0,000007 \cos 2\phi) \quad (11.2.5)$$

g_{ϕ} adalah gravitas pada lintang tempat ϕ dalam cm s^{-2} dan ϕ dalam derajat. Menurut persamaan (11.2.5), gravitas pada lintang tempat 45° adalah: $g_{45} = 980,616 \text{ cm s}^{-2}$, dan secara praktis persamaan (11.2.5) dapat di tulis:

$$g_{\phi} = 980,616 (1 - 0,0026 \cos 2\phi) \text{ cm s}^{-2} \quad (11.2.6)$$

Di ekuator ($\phi = 0$) gaya sentrifugal maksimum dan berarah menjauhi pusat Bumi sedangkan gravitasi menuju pusat Bumi, sehingga nilai gravitasi minimal, yaitu:

$$g_0 = 980,6 (1 - 0,0026) \text{ cm s}^{-2} \quad (11.2.7)$$

Di kutub ($\phi = 90$) gaya sentripugal nol, sehingga gravitas maksimum, yaitu:

$$g_{90} = 980,6 (1 + 0,0026) \text{ cm s}^{-2} \quad (11.2.8)$$

Jika dibandingkan gravitas di ekuator, di kutub dan di lintang tempat $\phi = 45^{\circ}$, diperoleh:

$$\frac{g_{90} - g_0}{g_{45}} = 0,0052 = 0,5\% \quad (11.2.9)$$

Ini berarti bahwa variasi gravitasi pada paras laut rata-rata sangat kecil (0,5%) dari nilai normal, karena itu variasi gravitasi terhadap lintang tempat dapat diabaikan.

Perbandingan gravitasi pada tinggi z dan gravitasi pada paras laut rata-rata ($z=0$) adalah:

$$\frac{g_z}{g_0} = \frac{a^2}{(a+z)^2} \quad \text{atau} \quad g_z = g_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{z}{a}\right)^2} \quad (11.2.10)$$

Keterangan: a = jari-jari Bumi

z = tinggi paras laut rata-rata

Dengan mengabaikan $(z/a)^2$ maka persamaan 11.2.10 menjadi:

$$g_z = g_0 \left(1 - 2\frac{z}{a}\right) \quad (11.2.11)$$

Jika jari-jari Bumi rata-rata a dimasukkan ke persamaan (11.2.11) maka diperoleh:

$$g_z = g_0 \left(1 - 3,14 \times 10^{-7} z\right) \quad (10.3.12)$$

z dalam meter dan g dalam cm s^{-2} .

Percepatan gravitasi sebagai fungsi lintang tempat ϕ dan tinggi tempat z dapat ditulis dengan ekspresi berikut:

$$g_{\phi,z} = 980,6 (1 - 0,0026 \cos 2\phi)(1 - 3,14 \times 10^{-7} z) \text{ cm s}^{-2} \quad (10.3.13)$$

Persamaan (11.2.13) berlaku untuk atmosfer bebas, sehingga untuk daerah pegunungan harus dikoreksi dengan memperhitungkan gravitasi gunung.

LATIHAN 2

Setelah Anda mempelajari uraian materi di atas, untuk mengetahui tingkat pemahaman Anda, coba jawab atau kerjakan latihan di bawah ini.

1. Mengapa gravitas di ekuator mempunyai nilai minimum?
2. Bagaimana caranya menentukan gravitas dengan bandul sederhana?

PETUNJUK JAWABAN LATIHAN

Untuk mengetahui kebenaran jawaban Anda dalam mengerjakan latihan, silakan Anda telaah jawaban berikut ini atau mintalah bantuan Tutor/Dosen pembimbing untuk menjelaskan latihan di atas itu.

1. Percepatan gravitas dinyatakan dengan formula berikut:

$$\vec{g} = \vec{g}^* - \Omega^2 \vec{R}$$

dimana: \vec{g} : percepatan gravitasi

Ω : kecepatan sudut rotasi

\vec{R} : vektor posisi dari sumbu rotasi sampai partikel

$\Omega^2 \vec{R}$: gaya sentrifugal persatuan massa

Di ekuator arah \vec{g}^* menuju pusat bumi dan arah $\Omega^2 \vec{R}$ menjauhi pusat Bumi yang mempunyai nilai maksimum, jadi gravitasnya menuju pusat Bumi dan nilainya minimum.

2. Untuk mencari gravitas (g), Anda dapat melakukannya di Laboratorium IPA atau bisa di rumah tepat tinggal Anda dengan menggunakan bandul sederhana. Bandul sederhana terdiri dari sebuah massa kecil (m) yang digantung dengan tali yang tidak memanjang dan beratnya diabaikan. Periode bandul sederhana untuk osilasi kecil, diberikan oleh formula:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ atau } g = 4\pi^2 l/T^2$$

Keterangan:

T : periode osilasi

l : panjang tali

g : percepatan gravitasi

π : 3,141... adalah perbandingan keliling dan diameter lingkaran

Caranya:

Ayun massa m sepanjang busur yang kecil. Ukur dengan stop watch, total waktu yang diperlukan bandul untuk berayun 10 siklus penuh. Periode T diperoleh dari waktu total dibagi dengan jumlah siklus penuh, misalnya 10. Dengan mengukur panjang tali maka gravitas g dapat dihitung dari persamaan di atas. (Tjasyono, B. HK., 2006: 112).

RANGKUMAN

Dalam geofisika, gravitas dapat dipakai untuk menentukan massa Bumi dan memberikan informasi bentuk Bumi. Pengukuran gravitas memungkinkan dapat mencari lokasi endapan minyak dan ketidakaturan (*irregularity*) komposisi dalam kerak Bumi. *Gravitas* tidak menuju pusat Bumi kecuali di ekuator dan di kutub, sedangkan *gravitasi* menuju pusat Bumi. Di ekuator (lintang 0^0) gaya sentrifugal maksimum berarah menjauhi pusat Bumi sedangkan gravitasi menuju pusat Bumi, sehingga nilai gravitasnya minimum. Sebaliknya di kutub (lintang 90^0), gaya sentrifugal nol sehingga nilai gravitasnya menjadi maksimum. Nilai gravitas pada atmosfer bebas perlu dikoreksi untuk daerah pegunungan dengan memperhitungkan gravitas gunung.

TES FORMATIF 2

Petunjuk: Pilihlah salah satu jawaban dengan memberi tanda silang (X) pada jawaban yang paling tepat

1. Dalam geofisika, gravitas dapat digunakan antara lain, *kecuali*
 - A. untuk menentukan massa Bumi
 - B. memberikan informasi bentuk Bumi
 - C. untuk penerbangan antariksa
 - D. untuk mencari lokasi endapan minyak
2. Keterikatan Bumi dalam mengelilingi Matahari sehingga dalam peredarannya konstan disebabkan oleh gaya
 - A. gravitas
 - B. gravitasi
 - C. gravitas dan gravitasi
 - D. sentripetal
3. Besarnya gaya gravitas Bumi adalah
 - A. sama di semua permukaan Bumi
 - B. tergantung tinggi rendahnya permukaan Bumi
 - C. di dataran tinggi gaya gravitas lebih besar daripada di pantai
 - D. di ekuator dan kutub gaya gravitas sangat tinggi
4. Gaya gravitasi yang menuju pusat Bumi terdapat di
 - A. lintang 0°
 - B. lintang $23,5^{\circ}$
 - C. lintang 45°
 - D. lintang $66,5^{\circ}$
5. Gabungan antara gaya gravitasi persatuan massa dan gaya setrifugal persatuan massa disebut
 - A. percepatan gravitasi
 - B. percepatan gravitas
 - C. percepatan sentrifugal
 - D. percepatan sentripetal

BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkanlah hasil jawaban Anda dengan kunci jawaban Tes Formatif 2 yang ada pada bagian belakang BBM ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan belajar 2.

Rumus:

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{5} \times 100\%$$

5

Arti Tingkat Penguasaan:

90% - 100% = Baik Sekali

80% - 89% = Baik

70% - 79% = Cukup

≤ 69% = Kurang

Kalau Anda mencapai tingkat penguasaan 80% ke atas, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 1 BBM 12, **bagus!** Akan tetapi apabila tingkat penguasaan Anda di bawah 80%, Anda harus mengulangi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum Anda kuasai.

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

Tes Formatif 1

1. A.(Magnetosfer), sebab solar wind adalah angin surya; aurora adalah cahaya di langit; magnetic storm adalah badai magnetik
2. D. (Van Allen belts), sebab magnetic inclination adalah sudut kemiringan antara jarum magnet terhadap horizontal; magnetic declination adalah besarnya sudut yang dibentuk arah jarum magnet dengan garis bujur geografis
3. A.(batuan yang mengandung magnet), sudah jelas!
4. B. (Heliotermal), yaitu panas dari Matahari (Helio)
5. D. (Frekuensi cahaya Matahari), tidak mempengaruhi tingkat panas Bumi
6. B. (21°C), sebab ketinggian naik 100 m, suhu akan turun $0,5^{\circ}\text{C}$ sehingga: $800 \text{ m} / 100 \text{ m} \times 0,5^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C}$. Jadi: $25^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = 21^{\circ}\text{C}$
7. A. (3000°C), sebab gradient geothermal masuk ke dalam Bumi 3°C setiap turun 100 meter, maka 1 km atau 1000 m $\times 3^{\circ}\text{C} = 3000^{\circ}\text{C}$
8. D. sudah jelas
9. C. (3000°C), sebab, jika 33 km suhunya = 1000°C , 66 km suhunya = 2000°C , maka 99 km suhunya = 3000°C .
10. A, sebab daerah laut menerima suhu dari dalam perut Bumi

Tes Formatif 2

1. C. sudah jelas
2. D. (sentripetal), sebab gaya gravitasional Bumi terhadap Matahari, sehingga peredaran Bumi terhadap Matahari konstan.
3. B. sudah jelas
4. A. (lintang 0°), sebab gravitasi pada lintang 0° tinggi sedang gravitasnya minimum
5. B. sudah jelas!

GLOSARIUM

anomali	: penyimpangan
aurora	: gejala berupa cahaya di langit berbentuk berkas, pita, atau tirai yang biasanya berwarna merah, hijau dan ungu
atraksi	: daya tarik
crustal relief	: tinggi rendahnya permukaan bumi
defleksi	: pembelokan, pengelakan
erupsi	: letusan, ledakan; pemunculan
external heat	: sifat panas bumi dari luar
fenomena	: perwujudan, kejadian, gejala (natural fenomena, kejadian alam); hal-hal yang dapat disaksikan dengan indra dan dapat diterangkan serta dinilai secara ilmiah
fluktuasi	: perubahan yang terus-menerus
geotermal	: panas dari dalam (perut) bumi
gradien	: tinggi; gradien geotermal, tingkat kenaikan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) apabila turun/masuk ke dalam bumi setiap 100 meter
gravimeter	: alat pengukur gravitas
gravitas, gravity	: gaya berat; dapat menjelaskan fenomena berat, percepatan benda benda yang jatuh, dan orbit satelit bumi
gravitasional	: gaya tarik
heliotermal	: radiasi panas dari matahari
imajiner	: khayal
inersia	: kelembaman, kemalasan; dalam keadaan diam cenderung diam dan dalam keadaan bergerak cenderung terus bergerak
intensitas	: kekuatan, keadaan (tingkatan)
magnetic declination	: deklinasi magnetik, besarnya sudut yang dibentuk antara arah jarum magnet dengan bujur geografis
magnetic inclination	: inklinasi magnetik, sudut kemiringan antara jarum magnet terhadap horizontal

magnetometer	: alat pengukur intensitas kemagnetan
magnetosfera	: pancaran-pancaran partikel matahari yang sampai di bumi berinteraksi dengan magnet bumi
osilasi	goyangan
plumb line	: garis timbangan
sentrifugal	: gaya tarik ke luar, bumi/planet ditarik ke arah matahari
sentripetal	: gaya tarik ke dalam, bulan ditarik ke arah bumi
solar wind	: angin surya, pancaran-pancaran partikel matahari
storm	: magnetic storm, badai magnet
thermoconductivity	: sifat penghantar panas
Van Allen belts	: sabuk Van Allen, pita-pita radiasi yang berbentuk kue donat terbuat dari partikel-partikel bermuatan yang terperangkap dalam medan magnet bumi
vektor, vector	: panah, kecepatan yang mempunyai jarak dan arah

DAFTAR PUSTAKA

Mulyo, Agung. (2004). *Pengantar Ilmu Kebumian*. Bandung: CV Pustaka Setia.

Simamora, P.. (1975). *Ilmu Falak*. Jakarta: CV Pejuang Bangsa.

Tjasyono, Bayong, HK.. (2006). *Ilmu Kebumian dan Antariksa*. Bandung: PT Remaja
Rosdakarya Bekerja Sama dengan Program Pascasarjana UPI.