



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat
Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan
Tahun 2017

MODUL 3

Gerak Planet pada Sistem Tata Surya

FISIKA
PAKET C SETARA SMA/MA





Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat
Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan
Tahun 2017

MODUL 3

Gerak Planet pada Sistem Tata Surya

FISIKA
PAKET C SETARA SMA/MA



- Penulis: Marga Surya
- Diterbitkan oleh: Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan-
Ditjen Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat-Kementerian Pendidikan dan
Kebudayaan, 2018

iv+ 24 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

Kata Pengantar

Pendidikan kesetaraan sebagai pendidikan alternatif memberikan layanan kepada masyarakat yang karena kondisi geografis, sosial budaya, ekonomi dan psikologis tidak berkesempatan mengikuti pendidikan dasar dan menengah di jalur pendidikan formal. Kurikulum pendidikan kesetaraan dikembangkan mengacu pada kurikulum 2013 pendidikan dasar dan menengah hasil revisi berdasarkan peraturan Mendikbud No.24 tahun 2016. Proses adaptasi kurikulum 2013 ke dalam kurikulum pendidikan kesetaraan adalah melalui proses kontekstualisasi dan fungsionalisasi dari masing-masing kompetensi dasar, sehingga peserta didik memahami makna dari setiap kompetensi yang dipelajari.

Pembelajaran pendidikan kesetaraan menggunakan prinsip flexible learning sesuai dengan karakteristik peserta didik kesetaraan. Penerapan prinsip pembelajaran tersebut menggunakan sistem pembelajaran modular dimana peserta didik memiliki kebebasan dalam penyelesaian tiap modul yang di sajikan. Konsekuensi dari sistem tersebut adalah perlunya disusun modul pembelajaran pendidikan kesetaraan yang memungkinkan peserta didik untuk belajar dan melakukan evaluasi ketuntasan secara mandiri.

Tahun 2017 Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat mengembangkan modul pembelajaran pendidikan kesetaraan dengan melibatkan pusat kurikulum dan perbukuan kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru dan tutor pendidikan kesetaraan. Modul pendidikan kesetaraan disediakan mulai paket A tingkat kompetensi 2 (kelas 4 Paket A). Sedangkan untuk peserta didik Paket A usia sekolah, modul tingkat kompetensi 1 (Paket A setara SD kelas 1-3) menggunakan buku pelajaran Sekolah Dasar kelas 1-3, karena mereka masih memerlukan banyak bimbingan guru/tutor dan belum bisa belajar secara mandiri.

Kami mengucapkan terimakasih atas partisipasi dari Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru, tutor pendidikan kesetaraan dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan modul ini.

Jakarta, Desember 2017
Direktur Jenderal

Harris Iskandar

Modul Dinamis: Modul ini merupakan salah satu contoh bahan ajar pendidikan kesetaraan yang berbasis pada kompetensi inti dan kompetensi dasar dan didesain sesuai kurikulum 2013. Sehingga modul ini merupakan dokumen yang bersifat dinamis dan terbuka lebar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi daerah masing-masing, namun merujuk pada tercapainya standar kompetensi dasar.

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Petunjuk Penggunaan Modul	1
Tujuan Pembelajaran Modul	1
Pengantar Modul	2
UNIT 1 ANGGOTA TATA SURYA	3
A. Apa Saja Anggota Tata Surya?	4
B. Asteroid	9
C. Gerak Bumi	9
Penugasan 1	11
D. Gerak Bulan	11
Penugasan 2	14
UNIT 2 HUKUM KEPLER	15
A. Hukum I Kepler	15
B. Hukum II Kepler	15
C. Hukum III Kepler	16
Penugasan	17
UNIT 3 HUKUM GRAVITASI NEWTON	18
A. Konstanta G	19
B. Menghitung Massa Bumi	19
Penugasan	20
Rangkuman	20
Uji Kompetensi	21
Penilaian	22
Kunci Jawaban	22
Kriteria Pindah Modul	23
Daftar istilah	24
Daftar Pustaka	24

GERAK PLANET PADA SISTEM TATA SURYA

Petunjuk Penggunaan Modul

Modul tentang gerak planet pada sistem tata surya menggambarkan suatu gerak melingkar yang berada pada pengaruh gravitasi matahari sebagai pusat tata surya. Oleh karena itu Hukum Newton tentang gravitasi berlaku di sini. Gerak melingkar pada planet-planet yang biasa disebut sebagai revolusi planet mengelilingi matahari, berada dalam keadaan setimbang dan teratur pada lintasannya masing-masing selama bermilyar tahun. Yang Maha Kuasa sudah mengatur demikian. Kita sebagai makhluk perlu mempelajari dan memahaminya bahwa Tuhan Yang Maha Kuasa menciptakan Tata Surya ini tidaklah sia-sia. Salah satu planet, yaitu Bumi menjadi tempat yang sangat nyaman ditempati oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Kita patut bersyukur atas segala nikmat yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Kuasa.

Modul ini terdiri dari pengantar yang berfungsi sebagai dasar pemikiran untuk memotivasi para pembaca; uraian materi sebagai gejala dan atau konsep dasar yang perlu dicermati; kegiatan agar pembaca bisa mengalami sendiri suatu permasalahan; contoh soal memberi contoh kepada pembaca cara mengatasi suatu permasalahan; soal latihan dan tugas untuk melatih pembaca mengatasi permasalahan.

Tujuan Pembelajaran Modul

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan peserta didik dapat

1. Menafsirkan data-data anggota tata surya dalam menentukan karakteristik masing-masing anggota tata surya.
2. Menafsirkan gerak rotasi bumi dan arah sumbu rotasinya berdasarkan fakta-fakta yang ada.
3. Menemukan hubungan antara rotasi bumi dengan percepatan gravitasi, arah angin, dan arus laut.
4. Menjelaskan terjadinya paralaks bintang akibat adanya gerak revolusi bumi.

5. Menemukan hubungan antara kedudukan sumbu rotasi bumi terhadap pergantian musim di bumi.
6. Menggambarkan gerak edar bulan terhadap bumi, dan terhadap matahari.
7. Menjelaskan tentang hukum Kepler tentang gerak edar planet mengelilingi matahari.
8. Menjelaskan tentang hukum Newton mengenai gravitasi dan hubungannya dengan hukum Kepler

Pengantar Modul

Kita sebagai makhluk Tuhan diciptakan sebagai bagian dari suatu sistem di alam semesta yang maha luas tak terbatas. Sebagian kecil dari alam semesta tersebut ada yang disebut sebagai sistem Tata Surya. Manusia dan makhluk lainnya hidup di bumi, salah satu planet anggota tata surya, dengan segala fasilitas yang lengkap, seperti air, udara, sinar matahari, dan lainnya, untuk mendukung kehidupan yang bisa berkelanjutan. Aturan sistem yang berlaku di bumi sebagai salah satu anggota Tata Surya tidak bisa lepas dari sistem yang berlaku pada Tata Surya. Sistem Tata Surya juga patuh pada system yang lebih luas, yaitu sistem alam semesta.

Anggota-anggota Tata Surya lainnya beredar mengitari matahari sebagai pusat tata surya, dengan aturan yang sudah berlaku secara pasti, termasuk di antaranya energi yang menghasilkan gaya-gaya terhadap benda-benda langit tersebut. Gaya-gaya yang ada di antara benda angkasa tersebut diatur oleh suatu gaya universal yang mengatur gerak anggota tata surya dalam mengitari matahari. Gaya universal tersebut menimbulkan keteraturan anggota-anggota tata surya dalam beredar mengelilingi pusat tata surya. Beberapa ahli masa lalu, seperti Sir Isaac Newton (abad ke-18), berhasil merumuskan adanya keteraturan tersebut dan berhasil ditemukan gaya alamiah yang pertama, yaitu gaya gravitasi.

Pada bab ini membahas sekilas tentang sejarah perkembangan ilmu yang berhubungan dengan tata surya, karakteristik anggota tata surya, hingga kajian mengenai gerak yang terjadi antara benda-benda angkasa tersebut.



Gambar 1.1 Tata Surya dan anggotanya terdiri dari Matahari dan planet-planet

UNIT 1

ANGGOTA TATA SURYA

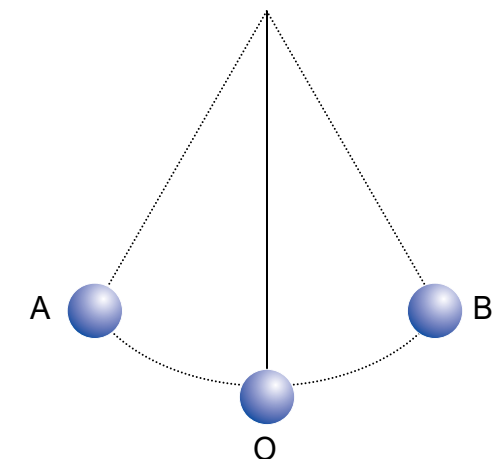
Tata Surya memiliki anggota-anggota. Setiap anggota tata surya bergerak sesuai dengan keteraturan tertentu. Antara anggota-anggota tata surya mengalami keseimbangan energi dalam gerak dan gaya yang menyebabkan terjadinya keteraturan dan kesinambungan seperti saat ini. Jika satu anggota tata surya mengalami penyimpangan, maka akan berpengaruh terhadap gerak edar anggota yang lain. Ini yang berkaitan dengan hukum kekekalan energi, dimana perubahan energi pada suatu sistem akan berpengaruh pada keberadaan energi sistem lainnya.

Pada saat benda langit tersebut mengelilingi pusat tata surya, benda langit tersebut akan mengeluarkan energi yang diterima oleh pusat tata surya. Saat yang sama pusat tata surya juga mengeluarkan sejumlah energi yang sama yang diterima oleh benda langit. Oleh karena itu, tidak ada energi yang hilang dari suatu benda langit yang beredar mengelilingi pusat tata surya. Hal ini bisa dimisalkan dengan peristiwa ayunan bandul sederhana. Jika tidak ada gesekan yang terjadi pada bandul tersebut, maka bandul tersebut akan terus berayun karena adanya keseimbangan energi yang menjamin gerak mengayun terus berlangsung.

Pada saat bandul berada pada posisi A (atau B), bandul memperoleh energi. Sementara saat bandul berayun ke arah O, bandul melepaskan energi.



Gambar 1.2 Komet, benda langit yang sedang mengitari pusat tata surya yaitu Matahari



Gambar 1.3 Ayunan bandul

Apa Saja Anggota Tata Surya?

Anggota tata surya terdiri dari berbagai jenis, terdiri dari sebuah bintang yang biasa disebut matahari sebagai pusat tata surya, dikelilingi berbagai benda langit seperti planet-planet, ribuan asteroid dan komet, serta meteoroid yang jumlahnya tak terhingga. Semua benda langit tersebut bergerak mengitari matahari dalam lintasan berbentuk elips atau lonjong, tidak lingkaran sempurna. Bentuk elips ini menjamin hukum kekekalan energi berlangsung dengan sempurna, sehingga tidak ada energi yang hilang saat benda langit tersebut beredar mengitari matahari.



Gambar 1.4 Tata surya berupa planet-planet yang beredar mengelilingi matahari

a. Matahari

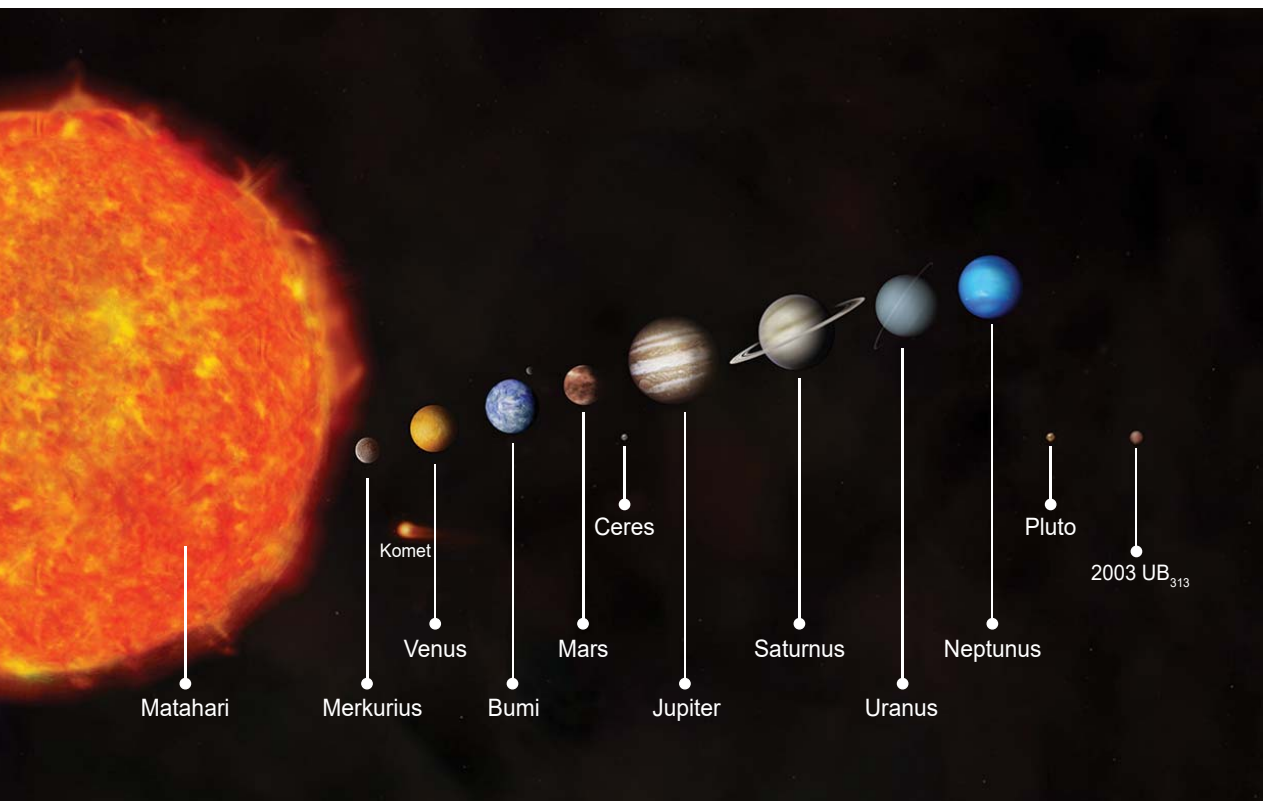
Pusat tata surya berada pada bintang yang disebut Matahari. Bintang adalah benda langit yang dapat memancarkan energi panas dan cahaya. Matahari merupakan benda langit yang sangat besar dan sangat panas. Diameternya 1.400.000 km menjadi benda langit yang paling besar pada sistem tata surya. Suhunya juga luar biasa di permukaannya saja sekitar 5.000°C. Semua benda pada suhu sebesar itu akan berubah menjadi berwujud gas. Sementara itu di bagian inti Matahari bisa mencapai sekitar 15.000.000°C



Gambar 1.5 Matahari

b. Planet

Planet merupakan benda langit yang secara teratur bergerak mengitari matahari sebagai pusat tata surya. Planet mengitari matahari dalam suatu lintasan yang tetap dan teratur. Antara planet tersebut, lintasannya tidak saling berimpit. Masing-masing mempunyai lintasannya sendiri. Planet dalam tata surya terdiri dari:

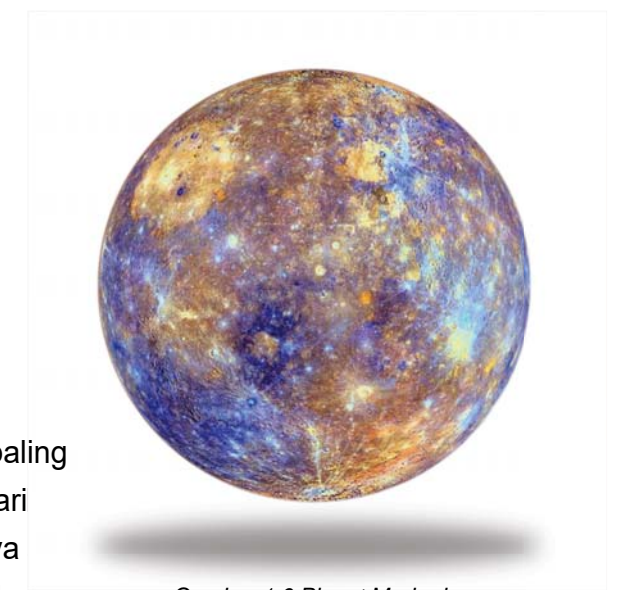


Gambar 1.6 Anggota tata surya

1. Merkurius
2. Venus
3. Bumi
4. Mars
5. Jupiter
6. Saturnus
7. Uranus
8. Neptunus
9. (Pluto) Keanggotaan Pluto sebagai planet dipertanyakan oleh banyak ahli karena karakteristik Pluto sangat berbeda dengan planet lainnya.

1. Merkurius

Merkurius merupakan planet yang berjarak paling dekat ke matahari. Jarak rata-rata ke matahari hanya sekitar 57,9 juta km. Diameternya hanya 4.870 km atau sekitar 1/3 diameter bumi. Waktu



Gambar 1.6 Planet Merkurius

revolusinya sekitar 88 hari dengan periode rotasi 59 hari. Suhu permukaan bisa mencapai 430°C. Gravitasi planet yang lemah ditambah dengan panas yang sangat tinggi menyebabkan udara di permukaan planet menguap sehingga lapisan atmosfernya sangat tipis. Permukaan planet berlubang-lubang akibat dari tumbukan batu-batu angkasa atau meteor yang jatuh tanpa penghalang lapisan atmosfer yang memadai

2. Venus

Venus merupakan planet yang secara fisik paling mirip dengan bumi. Hal ini karena ukuran dimensinya hampir sama, termasuk juga kepadatan udara pada lapisan atmosfernya. Berdiameter sekitar 12.104 km. Jarak rata-rata ke matahari sekitar 108,9 juta km dengan waktu revolusinya sekitar 225 hari dan periode rotasi 243 hari. Ada keunikan yang menjadi ciri planet ini, yaitu gerak rotasi venus berlawanan arah dengan gerak edar planet mengitari matahari.

Permukaan planet terdiri dari awan gas yang sangat panas dengan suhu sekitar 462°C. Suhu setinggi itu menyebabkan Venus menjadi planet terpanas di dalam sistem tata surya.



Gambar 1.7 Planet Venus

3. Bumi

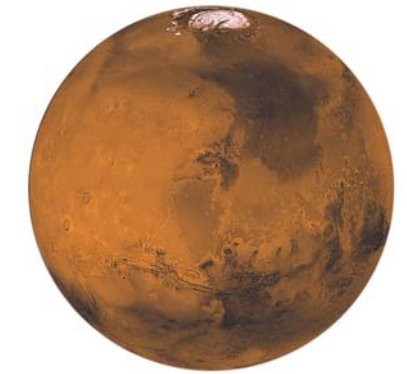
Bumi merupakan planet ketiga dalam sistem tata surya tempat berlangsungnya kehidupan di alam tata surya ini. Komposisi udara dalam lapisan atmosfer bumi sesuai dengan kebutuhan makhluk hidup. Kita hidup di bumi ini bersama dengan makhluk-makhluk hidup lainnya. Sampai saat ini, bumi masih merupakan satu-satunya tempat di alam semesta ini yang bisa ditempati oleh makhluk hidup. Bumi memiliki jarak rata-rata ke matahari sekitar 149,7 juta km dengan diameter sekitar 12.756 km. Waktu revolusinya adalah 365¼ dan periode rotasinya 24 jam.



Gambar 1.8 Planet Bumi

4. Mars

Planet ini biasa disebut sebagai planet merah, karena permukaannya yang tampak berwarna merah. Planet ini berjarak rata-rata 228 juta km dengan diameter sekitar 6.794 km. Waktu revolusinya sekitar 1,9 tahun dan periode rotasinya 24,6 jam.



Gambar 1.9 Planet Mars

5. Jupiter

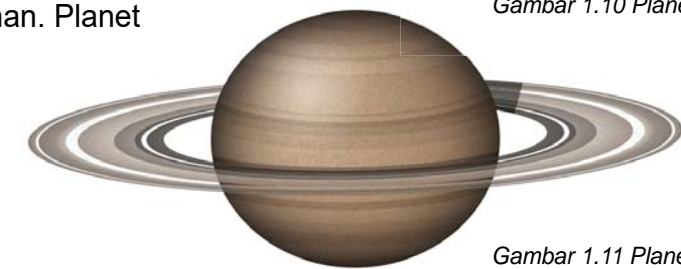
Jupiter merupakan planet yang paling besar dalam system tata surya dengan diameter sekitar 14.2794 km atau lebih dari 10 kali diameter bumi. Jarak rata-rata ke matahari sekitar 778,2 juta km dengan waktu revolusi 12 tahun dan periode rotasi 9,8 jam. Pada pengamatan dengan lebih teliti terhadap planet ini, ternyata memiliki cincin di sekitar garis ekuatornya.



Gambar 1.10 Planet Jupiter

6. Saturnus

Planet ini memiliki cincin yang tampak jelas biar pun dari kejauhan. Planet ini berjarak rata-rata ke matahari sekitar 1.430 juta km dengan waktu revolusi sekitar 29½ tahun. Diameternya sekitar 12.0536 km dengan periode rotasi 10,7 jam.



Gambar 1.11 Planet Saturnus

7. Uranus

Planet ini masih cukup besar untuk dapat dilihat oleh mata. Jarak rata-rata ke matahari adalah 2.875 juta km dengan waktu revolusi 84 tahun. Diameter planet ini sekitar 51.180 km dengan periode rotasi 17,3 jam. Seperti juga planet venus, planet ini berotasi berlawanan arah dengan arah edar planet mengitari matahari.



Gambar 1.12 Planet Uranus

Permukaan planet memiliki suhu yang sangat dingin sekitar -224°C , sehingga mendapat planet terdingin dalam sistem Tata Surya. Pada permukaannya terdapat banyak es sehingga planet ini sering disebut 'raksasa es'.

8. Neptunus

Planet ini mempunyai ukuran dimensi yang hampir sama dengan planet Uranus. Jarak rata-rata ke matahari sekitar 4.497 juta km dengan waktu revolusi sekitar 165 tahun. Diameter planet ini sekitar 50.138 km dengan periode rotasi 16 jam.



Gambar 1.13 Planet Neptunus

9. Pluto

Pluto digolongkan sebagai planet mini, bukan planet utama yang telah disebutkan sebelumnya. Hal ini karena karakteristik benda langit Pluto yang tidak seperti planet lainnya. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam mengelompokkan Pluto sebagai planet mini, yaitu:

- Lintasan planet sangat berdekatan dengan planet Neptunus, bahkan kadang-kadang melintasi lintasan planet Neptunus.
- Dimensi planet Pluto terlalu kecil jika dibanding tetangga dekatnya, dengan kemungkinan melintas jalur planet terdekat, mengakibatkan timbul dugaan kuat bahwa Pluto sebenarnya bagian dari planet Neptunus, atau merupakan satelitnya.



Gambar 1.14 Benda langit Pluto sebagai planet kerdil

Walaupun begitu, Pluto tetap sebagai benda langit anggota tata surya dengan jarak rata-rata ke matahari 5900 juta km dengan waktu revolusi 248 tahun. Diameternya sekitar 2240 km dengan periode rotasi 6,4 hari.

Tabel 1.1 Planet-planet Anggota Tata Surya

Nama Planet	Jarak ke Matahari (juta km)	Diameter (km)	Waktu Revolusi	Periode Rotasi
Merkurius	57,9	4870	88 hari	59 hari
Venus	108,9	12104	225 hari	243 hari
Bumi	149,7	12756	1 tahun = $365 \frac{1}{4}$ hari	1 hari = 24 jam

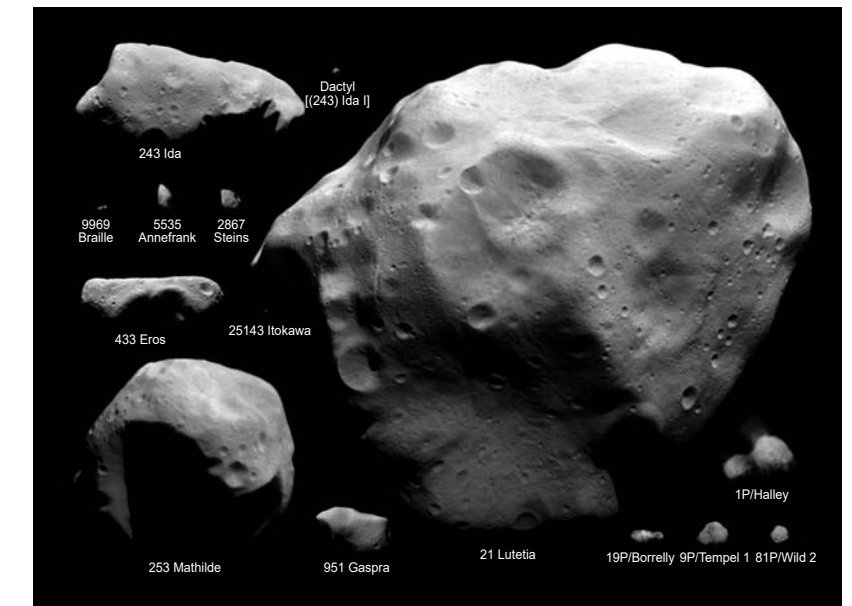
Nama Planet	Jarak ke Matahari (juta km)	Diameter (km)	Waktu Revolusi	Periode Rotasi
Mars	228	6794	1,9 tahun	24,6 jam
Jupiter	778,2	142794	12 tahun	9,8 jam
Saturnus	1430	120536	29,5 tahun	10,7 jam
Uranus	2875	51180	84 tahun	17,3 jam
Neptunus	4497	50138	165 tahun	16 jam
Pluto (?)	5900	2240	248 tahun	6,4 hari

Dalam pembahasan selanjutnya akan terbukti bahwa data-data di atas sangat berguna dalam mempelajari gerak planet-planet dalam tata surya.



Asteroid

Asteroid merupakan benda langit yang berada di antara planet Mars dan Jupiter. Jumlah asteroid sangat banyak diperkirakan berjumlah ratusan ribu, namun baru sekitar 1.000 yang teridentifikasi. Diduga asteroid dulunya merupakan planet yang karena suatu hal meledak berkeping-keping. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa jarak antara planet Mars dengan Jupiter terlalu jauh. Diduga sekitar jarak 450 juta km dari matahari terdapat planet. Namun ternyata di sekitar jarak tersebut hanya terdapat asteroid-asteroid.



Gambar 1.15 Beberapa asteroid

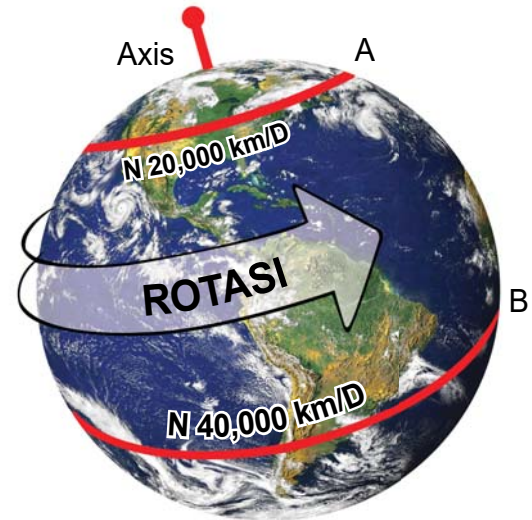


Gerak Bumi

Bumi merupakan planet ketiga dalam sistem tata surya. Bumi berputar pada porosnya atau berotasi dalam waktu 23 jam 56 menit dan 4 detik. Di samping itu, bumi juga bergerak mengitari matahari dalam waktu 365 hari 6 jam.



Gambar 1.16 Bumi



Gambar 1.17 Bumi berputar pada porosnya

Gerak bumi yang berputar pada porosnya menimbulkan gambaran dari penghuni bumi di dalamnya bahwa seolah-olah semua benda langit, termasuk matahari, mengelilingi bumi dari timur ke barat. Hal ini disebut sebagai gerak semu benda-benda langit terhadap bumi. Pada awalnya ini menimbulkan dugaan seolah-olah bumi merupakan pusat tata surya. Hal ini diluruskan oleh Nicolaus Copernicus pada abad ke-15 Masehi, bahwa matahari yang merupakan pusat tata surya, sementara bumi, seperti planet lainnya beredar mengelilingi matahari.

Oleh karena itu dalam memperhatikan gerak, perlu diperhatikan kerangka acuan benda yang bergerak tersebut. Pada saat bumi berputar pada porosnya, yang bergerak adalah bumi, sedang matahari (dan benda langit lainnya) dianggap diam sebagai kerangka acuan. Namun karena kita berada di dalam bumi yang bergerak, seolah-olah matahari tersebut yang bergerak mengelilingi bumi. Ini seperti kita saat di dalam kendaraan yang sedang bergerak, maka kita akan melihat seolah-olah benda di luar kendaraan yang bergerak terhadap kita.

Gerak bumi mengelilingi matahari, berkaitan dengan adanya gaya tarik menarik antara matahari dengan bumi, yang disebut sebagai gaya gravitasi. Karena bumi bergerak mengelilingi matahari, maka bumi memiliki percepatan sentripetal.

Contoh Soal:

Jarak bumi ke matahari sekitar 150 juta km. Jika bumi mengelilingi matahari membutuhkan waktu sekitar 365 hari, berapa percepatan sentripetal yang dimiliki bumi?

Jawab:

Waktu $t = 365 \text{ hari} = 365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ detik} = 31.536.000 \text{ detik}$
 Jejari $R = 150.000.000.000 \text{ m}$

Jarak lintasan bumi mengelilingi matahari

$$S = 2 \times \pi \times 150.000.000.000 \text{ m}$$

$$= 942.477.796.077 \text{ m}$$

Kecepatan bumi mengelilingi matahari

$$v = \frac{942477796077 \text{ m}}{31536000 \text{ detik}}$$

$$= 29.886 \text{ m/detik}$$

Percepatan sentripetal bumi mengelilingi matahari

$$a = \frac{v^2}{R}$$

$$= \frac{29886^2}{15 \times 10^{10}}$$

$$= 0.00595448664 \text{ m/detik}^2$$

Nilai percepatan sentripetal cukup kecil hingga kita tidak merasakan sentakan yang berarti saat bumi mengelilingi matahari. Walaupun begitu, adanya percepatan sentripetal ini menunjukkan adanya gaya yang mengatur gerak edar bumi mengelilingi matahari.

PENUGASAN 1

Hitunglah nilai percepatan sentripetal untuk masing-masing anggota tata surya berdasarkan tabel 1.1 anggota tata surya di atas.



Gerak Bulan

Bulan merupakan satelit yang dimiliki bumi. Disebut satelit karena sifatnya yang selalu mengikuti bumi kemana pun berjalan. Sebetulnya ada banyak sekali satelit di atas permukaan bumi. Ini berkat dari kemampuan manusia untuk membuat satelit yang berfungsi sebagai alat telekomunikasi, pengukur cuaca, hingga keperluan militer dan senjata. Satelit-satelit



Gambar 1.18 Bulan

buatan manusia disebut sebagai satelit buatan, sementara bulan merupakan satelit alamiah.

Waktu periode revolusi bulan merupakan waktu yang dibutuhkan bulan dalam beredar mengitari bumi, yaitu sekitar $29\frac{1}{2}$ hari. Berapa waktu periode rotasinya? Ternyata waktu periode rotasi bulan sama dengan waktu periode revolusinya, yaitu $29\frac{1}{2}$ hari. Apa dampak dari waktu periode revolusi yang sama dengan waktu periode rotasi?

Permukaan bulan yang tampak oleh kita di bumi selalu tetap atau tidak berubah. Kita tidak pernah tahu bagaimana penampilan atau penampakan permukaan bulan di balik yang tampak sekarang dari permukaan bumi. Hal ini menimbulkan misteri dan rasa ingin tahu yang besar selama berabad-abad. Beruntung, manusia sejak tahun 1960-an telah beberapa kali melintasi bulan hingga penampakan bulan di baliknya yang misterius tersebut sudah diketahui. Jarak rata-rata bulan ke bumi sekitar 384.000 km dengan diameter sekitar 3.476 km.

Pada dasarnya, gerakan bulan terdiri dari tiga jenis gerakan yang ketiganya bergerak secara bersamaan, yaitu:

1. Gerak bulan berotasi pada porosnya
2. Gerak bulan berevolusi atau beredar mengelilingi bumi, dan
3. Gerak bulan beredar mengikuti bumi mengelilingi matahari

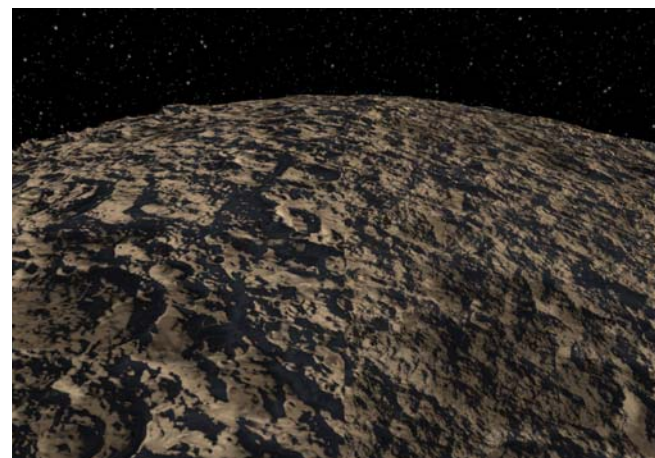
Karena gerak bulan yang terdiri dari kombinasi beberapa jenis gerak, maka gerak bulan berpengaruh terhadap beberapa kejadian berikut.

1. Terjadinya gerhana matahari dan gerhana bulan

Gerhana matahari terjadi jika antara matahari, bulan, dan bumi berada pada posisi membentuk garis lurus. Pada posisi seperti ini, sebagian sinar matahari yang semestinya mengarah ke

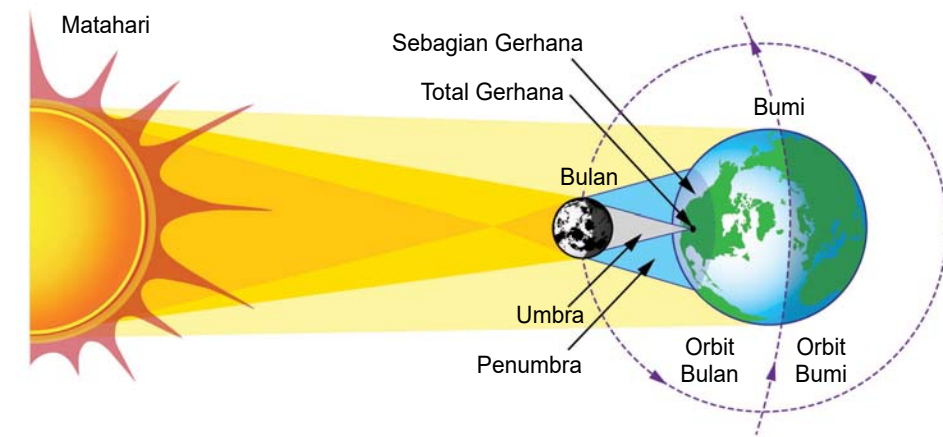


Gambar 1.19 Satelit komunikasi Palapa generasi ketiga



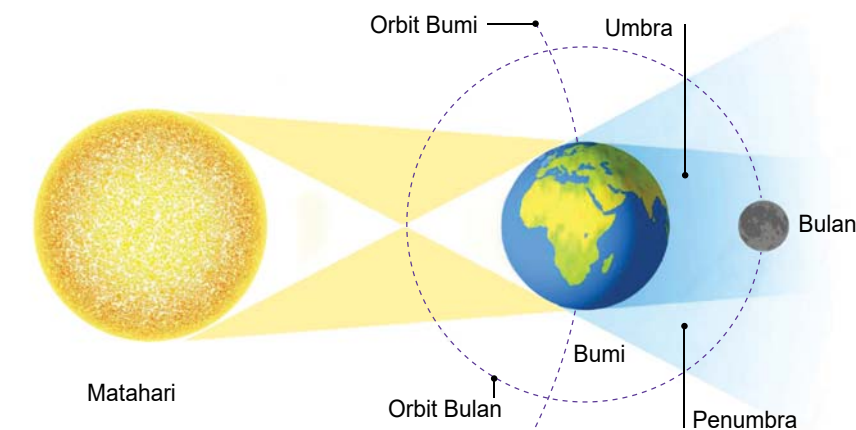
Gambar 1.20 Permukaan Bulan

bumi, terhalang oleh bulan. Akibatnya sebagian daerah di permukaan bumi mengalami gelap sepenuhnya selama beberapa menit. Sebagian lagi hanya gelap sebagian. Daerah lainnya tetap terang seperti biasa.



Gambar 1.21 Gerhana Matahari

Gerhana bulan terjadi jika antara matahari, bumi, dan bulan berada pada posisi membentuk garis lurus. Pada posisi seperti ini, bayangan sinar matahari yang terhalang oleh bumi, akan menutupi bulan sepenuhnya. Bulan seolah-olah akan menghilang selama beberapa saat dari penglihatan kita.



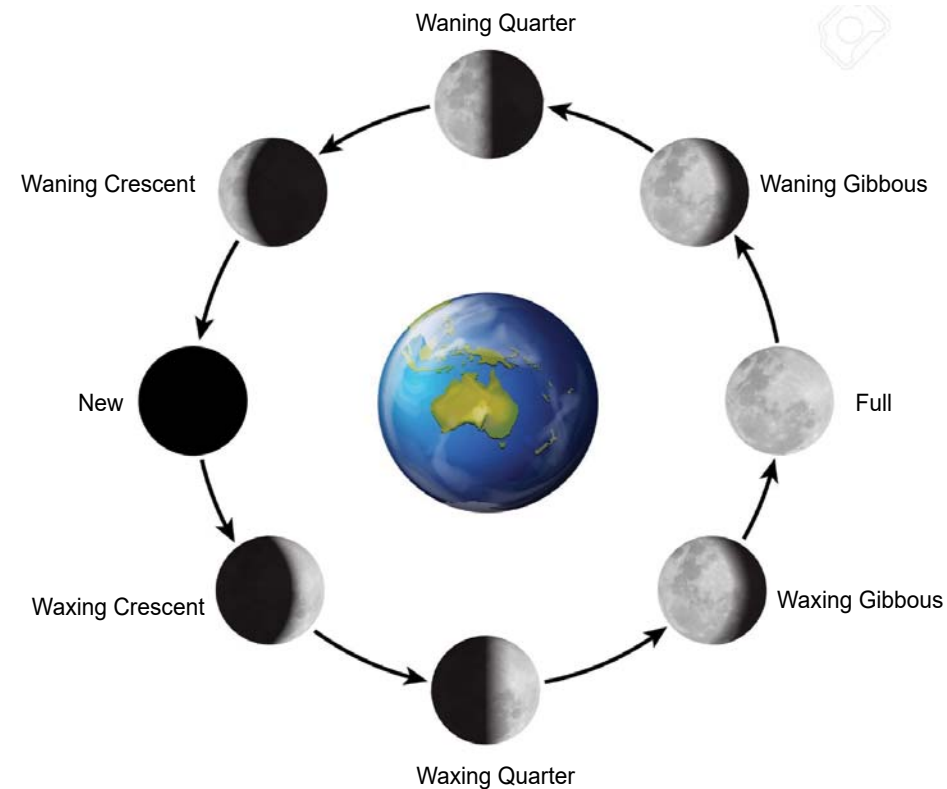
Gambar 1.22 Gerhana Bulan

Terjadinya gerhana matahari dan bulan merupakan gejala alam yang menarik, karena pada saat antara matahari, bumi, dan bulan berada dalam garis lurus, gaya tarik dari ketiga benda bermassa besar tersebut akan saling mendukung. Hal ini memberi dampak pada keadaan di permukaan bumi, seperti keadaan pasang naik air laut.

2. Fase-fase bulan

Bulan dalam gerak edarnya mengitari bumi, memancarkan cahaya yang ikut membantu

menerangi kegelapan malam di permukaan bumi. Namun cahaya tersebut sebetulnya hanya pantulan dari permukaan bulan yang berasal dari sinar matahari. Gerak edar bulan terhadap bumi, dan juga posisi bulan terhadap arah datang sinar matahari menyebabkan sinar yang dipantulkan ke permukaan bumi tidak sama, bergantung pada sudut bulan terhadap posisi bumi dan matahari.



Gambar 1.23 Fase-fase Bulan

Jika sudut bulan membentuk garis lurus (180°), maka fase bulan tergambarkan sebagai bulan yang bulat penuh ketika bulan berada di belakang bumi yang menghadap matahari, dan tidak tampak atau fase bulan baru ketika bulan berada di depan bumi menghadap matahari. Namun jika sudut bulan membentuk sudut siku-siku (90°), maka fase bulan tergambarkan sebagai bulan berbentuk setengah.

PENUGASAN 2

Hitunglah percepatan sentripetal gerak bulan mengelilingi bumi

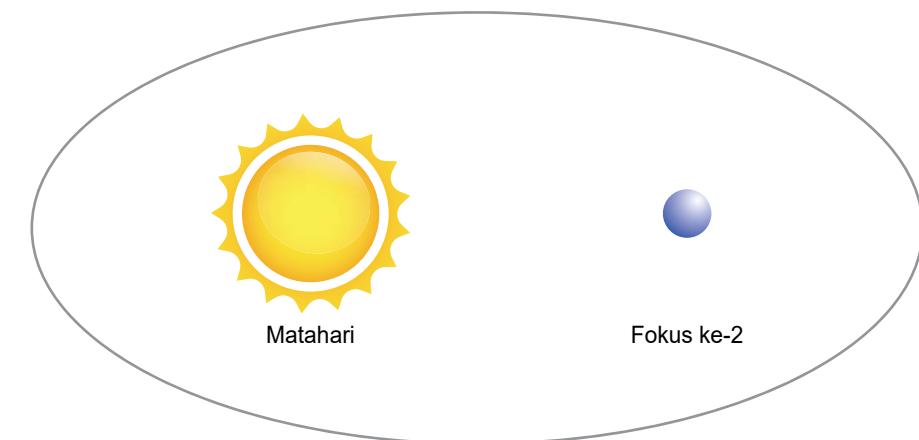
UNIT 2 HUKUM KEPLER

Setelah runtuhnya teori geosentris yang menyatakan bahwa bumi merupakan pusat tata surya, maka berkembang teori heliosentris yang dipelopori oleh Nicolaus Copernicus yang menyatakan bahwa matahari lah yang sebenarnya adalah pusat tata surya. Bumi, seperti juga planet lainnya, hanyalah sebuah planet yang beredar mengelilingi matahari.

Perkembangan paham heliosentris mendobrak kebuntuan pada perkembangan ilmu tentang gerak planet-planet yang terjadi sebelumnya. Tidak lama berselang, Johannes Kepler berhasil menunjukkan bahwa gerak edar planet-planet mengelilingi matahari tidak sepenuhnya berbentuk lingkaran sempurna, namun cenderung elips atau lonjong. Lebih lanjut, Johannes Kepler merumuskan penemuannya menjadi hukum-hukum berikut.

Hukum I Kepler

“Semua planet bergerak dalam lintasan yang berbentuk elips ketika beredar mengelilingi matahari dimana matahari berada pada salah satu titik fokus elips.”

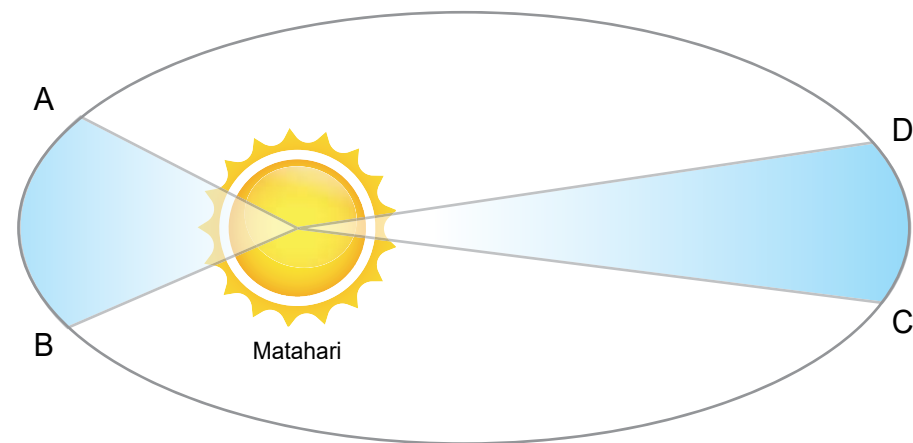


Gambar 1.24 Bidang elips; matahari berada pada salah satu fokus dari bidang elips

Hukum II Kepler

“Suatu gerak edar planet mengitari matahari menjangkau suatu bidang luas segitiga yang sama dalam jangka waktu yang sama.”

Pada saat jarak planet ke matahari makin dekat, maka gerak edar planet makin cepat dimana luas bidang edarnya dan waktu yang ditempuh adalah sama dengan saat planet berada lebih jauh jaraknya dari matahari.



Gambar 1.25 Bidang elips; planet menempuh lintasan AB dalam waktu yang sama dengan saat menempuh lintasan CD. Begitu juga luas segitiga AB adalah sama dengan luas segitiga CD

Menurut data yang terdapat pada tabel planet-planet anggota tata surya, waktu periode merkurius adalah 88 hari. Kesalahan relatif hanya 5% dan ini terjadi karena perbandingan jarak antara bumi ke matahari dengan merkurius ke matahari bernilai 5 : 2 sekedar sebagai pedekatan. Tampak bahwa hukum Kepler cukup akurat dalam menggambarkan karakteristik gerak planet-planet.

PENUGASAN

1. Bandingkan hasil penghitungan jarak dan waktu periode planet-planet dengan menggunakan Hukum Kepler, dengan data yang ada pada tabel 1.1 planet-planet di atas.
2. Hitunglah waktu periode revolusi suatu planet yang berjarak 10 × lebih jauh daripada jarak bumi ke matahari.

Hukum III Kepler

“Perbandingan kuadrat waktu periode planet dengan pangkat tiga jarak planet tersebut ke matahari adalah sama untuk semua planet.”

Dapat ditulis

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{konstanta}$$

Contoh Soal:

Perbandingan jarak bumi ke matahari dengan merkurius ke matahari adalah 5 : 2. Jika waktu periode bumi adalah 1 tahun, berapa waktu periode merkurius?

Jawab:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{5^3} = \frac{T_2^2}{2^3}$$

$$\Leftrightarrow T_2^2 = 8/125 = 0.064$$

$$\Leftrightarrow T_2 = 0.253 \text{ tahun} = 0,253 \times 365,25 \text{ hari} \\ = 92.4 \text{ hari}$$

Hukum gravitasi Newton bermula dari pengalaman seorang anak bernama Isaac Newton yang tertarik pada gejala buah apel yang jatuh dari pohon. Apa yang menyebabkan apel tersebut jatuh? Sementara itu, dia juga melihat bulan jauh di atas. Mengapa bulan tidak jatuh ke bumi, sementara apel jatuh? Pada saat yang bersamaan, Newton juga tertarik dengan apa yang telah dihasilkan Johannes Kepler berupa hukum Kepler yang terbukti cukup akurat dalam menggambarkan gerak edar planet-planet.

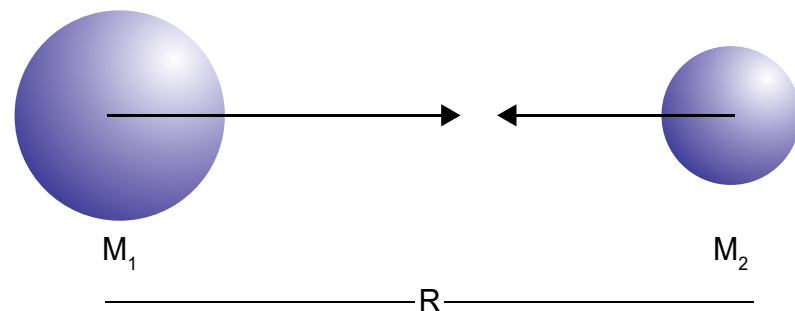
Lebih jauh, tidak seperti Kepler yang hanya melihat gejala gerak edar planet pada lintasan masing-masing planet, Newton bisa melihat bahwa ada keterkaitan yang sangat kuat antara gerak edar planet-planet dengan massa planet itu sendiri. Bahkan Newton berani menyimpulkan bahwa gerak edar planet-planet dipengaruhi oleh suatu gaya yang disebut sebagai gravitasi dimana nilainya sangat dipengaruhi oleh massa planet-planet itu sendiri. Berikut hukum gravitasi Newton.

“Setiap dua benda di alam semesta akan saling tarik-menarik dengan gaya yang nilainya sebanding dengan massa setiap benda itu, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.”

Pernyataan Hukum Gravitasi Newton di atas dapat ditulis sebagai

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

- Dimana F = gaya tarik antara benda-benda
- M_1 = massa benda pertama
- M_2 = massa benda kedua
- R = jarak antara kedua benda
- G = konstanta gravitasi



Gambar 1.26 Dua benda bermassa akan cenderung saling tarik-menarik

Konstanta G

Pada saat Newton merumuskan persamaan hukum gravitasi, nilai konstanta gravitasi G belum diketahui. Beberapa tahun kemudian, nilai G tersebut dapat diketahui melalui percobaan yang dilakukan oleh Henry Cavendish. Percobaan Cavendish menggunakan dua buah bola pejal yang massanya diketahui. Kedua bola tersebut digantung untuk menghindari gesekan sekecil mungkin. Dari hasil percobaan yang sangat teliti, kedua bola akan menghasilkan gaya yang saling tarik-menarik dan menyebabkan posisi kedua bola pejal tersebut bergeser. Dengan menggunakan persamaan yang dirumuskan Newton di atas, Cavendish berhasil menentukan nilai konstanta gravitasi G sebagai

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ newton m}^2/\text{kg}^2$$

Nilai G merupakan nilai yang sangat kecil, namun ada dan dapat diukur, serta dapat digunakan untuk menghitung permasalahan yang lain.

Menghitung Massa Bumi

Dampak lebih lanjut dengan telah ditemukannya nilai konstanta gravitasi G, kita dapat menghitung massa planet bumi. Tentunya kita tidak mungkin mengukur massa benda yang sangat besar, karena tidak ada alat ukur yang mampu melakukannya. Namun kita dapat menghitungnya. Sebelumnya, kita sudah mengetahui nilai percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/det}^2$ yang berlaku pada permukaan bumi. Kita juga mengetahui jari-jari bumi dengan melihat tabel planet-planet anggota tata surya, dimana jari-jari $R = D/2 = 6.378 \text{ km}$.

Contoh Soal:

Berapa massa bumi dapat dihitung jika diketahui nilai konstanta gravitasi $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/det}^2$, dan jari-jari bumi $R = 6.378 \text{ km} = 6.378.000 \text{ m}$.

Jawab:

Gaya yang dapat dihasilkan dari suatu benda bermassa m yang berada dalam pengaruh percepatan gravitasi g

$$F = m \cdot g$$

Gaya yang dapat dihasilkan pada benda bermassa m yang berjarak R dari pusat bumi (massa bumi dianggap M) adalah

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa

$$\text{Percepatan gravitasi } g = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Selanjutnya massa bumi dapat dihitung

$$\begin{aligned} M &= \frac{g R^2}{G} \\ &= \frac{9,8 \times 6378000^2}{6,67 \times 10^{-11}} \\ &= 5.9768 \times 10^{24} \text{ kg} \end{aligned}$$

Tampak bahwa betapa berperannya hukum gravitasi Newton dalam menentukan massa bumi dan kemungkinan juga dalam menentukan karakteristik berbagai benda langit lainnya.

PENUGASAN

1. Jika diketahui pada suatu gerak melingkar terdapat gaya $F = m \frac{v^2}{R}$, buktikan bahwa hukum gravitasi Newton berhubungan dengan hukum Kepler.
2. Jika diketahui massa bumi $m_b = 5,9768 \times 10^{24} \text{ kg}$, hitunglah massa matahari M_M !
3. Selanjutnya dengan menggunakan tabel 1.1, tentukan massa masing-masing anggota tata surya yang lainnya!

Rangkuman

1. Tata Surya terdiri dari bintang yang disebut Matahari, dengan beberapa benda langit yang disebut planet, asteroid dan komet.
2. Planet digolongkan sebagai planet dalam dan planet luar.
3. Planet dalam terdiri dari Merkurius, Venus, Bumi dan Mars; planet luar terdiri dari Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus
4. Matahari merupakan satu-satunya bintang di dalam sistem Tata Surya.
5. Bintang merupakan benda langit yang mampu menghasilkan energi, yaitu energi cahaya dan energi panas

UJI KOMPETENSI

Evaluasi

Pilihlah satu jawaban yang benar dengan memberi tanda silang (x) pada huruf A, B, C, dan D

1. Gerak edar planet-planet mengelilingi matahari merupakan akibat dari adanya
 - a. Cahaya matahari
 - b. Energi matahari
 - c. Gaya gravitasi
 - d. Lintasan planet
2. Keteraturan gerak edar planet-planet mengelilingi matahari menunjukkan adanya
 - a. Angin yang bergerak
 - b. Tekanan antarplanet
 - c. Gelombang elektromagnetik
 - d. Hukum kekekalan energi
3. Hukum Kepler menunjukkan dalam lintasan gerak edar planet, ada hubungan antara
 - a. Gaya dengan massa
 - b. Jarak dengan kecepatan
 - c. Gaya dengan jarak
 - d. Gaya dengan kecepatan
4. Jika diketahui perbandingan waktu revolusi bumi dengan jupiter adalah 1 : 12, dan jarak bumi – matahari 150 juta km, maka jarak jupiter – matahari menurut hukum Kepler adalah
 - a. 786 juta km
 - b. 546 juta km
 - c. 320 juta km
 - d. 150 juta km
5. Hukum gravitasi Newton menunjukkan adanya hubungan antara
 - a. Gaya dengan massa
 - b. Jarak dengan kecepatan
 - c. Massa dengan jarak
 - d. Gaya dengan kecepatan

Isilah titik-titik di bawah ini secara singkat dan tepat!

1. Pada dasarnya, hukum Kepler menyatakan bahwa
2. Pernyataan hukum Kepler menunjukkan bahwa makin jauh benda langit dari matahari, maka gerak edarnya semakin
3. Pernyataan hukum gravitasi Newton menunjukkan bahwa gaya tarik antara benda langit makin besar jika jarak antara keduanya makin
4. Persamaan antara hukum Kepler dengan hukum gravitasi Newton adalah
5. Berdasarkan hukum gravitasi Newton, nilai gravitasi makin jauh dari pusat massa

Jawablah pertanyaan di bawah ini secara singkat dan tepat!

1. Apa yang menyebabkan benda-benda langit dalam sistem tata surya, dapat bergerak secara teratur?
2. Bagaimana hubungan antara keteraturan gerak benda langit dengan hukum Kepler?
3. Bagaimana hubungan antara gaya dengan massa benda langit pada hukum gravitasi Newton?
4. Bagaimana hubungan antara hukum Kepler dengan hukum gravitasi Newton?
5. Apa yang terjadi jika salah satu anggota tata surya menyimpang dari jalur yang semestinya?

Penilaian

Penilaian pengetahuan dengan memberi skor pada setiap soal. Jawaban yang benar memperoleh skor 1, yang salah skor 0. Selanjutnya membagi jumlah skor dengan jumlah soal dikalikan 100%

$$\text{Nilai Skor} = \frac{\text{Jumlah jawaban benar}}{\text{Jumlah soal}} \times 100\%$$

Kunci jawaban

Pilihan Ganda

1. (C) Gaya gravitasi
2. (D) Hukum kekekalan energi
3. (B) Jarak dengan kecepatan
4. (A) 786 juta km
5. (A) Gaya dengan massa

Evaluasi II dan III, agar dikerjakan secara mandiri atau kerja kelompok

KRITERIA PINDAH MODUL

Para warga belajar dinyatakan tuntas belajar secara mandiri, jika telah mengerjakan semua tugas dan soal latihan/evaluasi dengan nilai skor minimal 70%.

Daftar Istilah

- Asteroid : Kumpulan benda langit yang mengorbit antara orbit planet Mars dan Jupiter
- Bintang : Suatu benda langit yang mampu menghasilkan energi panas dan cahaya akibat adanya reaksi inti atom di dalam lapisan bintang tersebut
- Gravitasi : Gaya tarik yang ditimbulkan dari adanya massa benda langit berupa planet, bintang atau benda langit lainnya.
- Planet : Benda langit yang secara berkelanjutan beredar mengelilingi suatu bintang
- Revolusi : Gerak planet beredar mengelilingi suatu bintang seperti matahari
- Rotasi : Gerak benda langit seperti planet dan bintang mengelilingi sumbunya masing-masing
- Sentripetal : Gaya benda yang bergerak melingkar ke arah pusat lingkaran

Daftar Pustaka

- _____, Permendikbud No.23 Tahun 2016, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2016.
- _____, Permendikbud No.24 Tahun 2016, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2016.
- _____, Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid.1, Grolier, 2011
- _____, Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid.2, Grolier, 2011
- _____, Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid 3, Grolier, 2011
- _____, Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid.4, Grolier, 2011
- _____, Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid.5, Grolier, 2011
- Bueche F.J., Fisika Edisi ke-7 Seri Buku Schaum, Erlangga, 1992.
- Alonso M – Finn E., Dasar-Dasar Fisika Universitas: Mekanika dan Termodinamika jilid 1 Edisi ke-2, Erlangga, 1992.
- <https://informazone.com/tata-surya/> - 11 Mei 2017
- [https://planetarium-jakarta.go.id/matahari sebagai bintang](https://planetarium-jakarta.go.id/matahari%20sebagai%20bintang) – 28 November 2017
- <https://militermeter.com/satelit> – 31 Agustus 2017
- [https://id.wikipedia.org/wiki/tata surya](https://id.wikipedia.org/wiki/tata_surya)