

## **BBM 6. TATA SURYA**

**Oleh : Andi Suhandi**

### **PENDAHULUAN**

Dalam dunia sains sering dilakukan pemodelan untuk menjelaskan atau menggambarkan suatu fenomena fisis dimana fenomena yang riilnya tidak terjangkau oleh indra penglihatan karena dimensi fenomena tersebut sangat kecil (mikroskopis) atau sangat besar. Dalam fisika atom kita pernah mengenal model atom, dimana dimodelkan bahwa dalam struktur atom tersebut, inti atom dkitari oleh elektron-elektron. Model ini dapat diterima sampai saat ini. Keberadaan model ini sangat penting sebagai titik tolak untuk penyelidikan lebih lanjut. Jarang sekali model yang diajukan langsung mapan, melainkan bisa gugur atau secara bertahap mengalami penyempurnaan, yang disesuaikan dengan data-data empirik yang diperoleh dari penyelidikan, maupun dengan hukum-hukum alam yang telah diterima keberlakuannya. Jika model ini telah terbukti keabsahannya dan diterima oleh khalayak maka dapat meningkat statusnya menjadi teori. Dari model itu pun penyelidikan dapat dilanjutkan kearah penelusuran pembentukan fenomena tersebut.

Fenomena seperti tata surya pun keadaan riilnya secara sistem tidak terjangkau oleh indra kita karena dimansinya yang sangat besar, sehingga penggunaan model untuk menggambarkan fenomena yang sesungguhnya cukup membantu. Berbicara tentang model, yang terpenting bagi kita adalah memiliki pengetahuan tentang bagaimana langkah-langkah yang ditempuh para ilmuwan untuk mengajukan, menguji, dan menyempurnakan model tata surya, hingga model tersebut menjadi lebih sempurna dan dapat menggambarkan fenomena persis seperti keadaan sesungguhnya. Hal penting lainnya adalah anda dapat mengetahui betapa teraturnya susunan dan pergerakan anggota tatasurya, sehingga satu sama lain tidak berbenturan yang dapat menimbulkan bencana.

Dengan mengetahui itu semua tentu diharapkan kita dapat berperilaku seperti ilmuwan dalam membangun dan menguji suatu teori, setiap kita dihadapkan pada masalah hidup maka senantiasa kita harus berlandaskan pada hukum-hukum dan norma-norma yang berlaku serta fakta-fakta yang kuat. Kita juga akan selalu

dapat menghormati pendapat orang lain. Hidup dengan teratur adalah sangat penting. Ketidakteraturan hanya akan membawa bencana dan kerugian baik bagi anda sendiri maupun bagi orang lain. Hiduplah seperti teratur dan patuhnya anggota tatasurya terhadap hukum-hukum alam.

Secara umum BBM ini menjelaskan tentang model-model tata surya yang telah menjadi pegangan pada zaman dulu dan saat ini, yaitu model geosentris dan heliosentris, penyempurnaan model terkait dengan hukum-hukum fisika yang terkait dan hasil penyelidikan/pengamatan fenomena alam berbantuan alat modern, serta teori-teori tentang pembentukan tata surya. Pengetahuan mengetahui susunan tata surya dan perilaku gerak setiap anggota tata surya sangat penting guna,

Susunan dan perilaku gerak setiap anggota tatasurya yang begitu teratur, tertib dan taat pada hukum alam, memberikan cerminan kepada kita bahwa jika perilaku hidup kita teratur, tertib dan taat hukum maka hidup kita tidak akan kacau dan terhindar dari bencana. ....Setelah mempelajari Bahan Belajar Mandiri (BBM) ini, secara khusus Anda diharapkan dapat :

1. Menjelaskan perbedaan model tata surya geosentris dan heliosentris
2. Menggunakan hukum-hukum fisika terkait untuk menganalisis perilaku gerak benda-benda anggota tata surya dalam model heliosentris
3. Menjelaskan teori-teori pembentukan tata surya
4. Membedakan jenis-jenis pengelompokkan planet

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

KB 1 : Model Tata Surya, dan

KB 2 : Teori Pembentukan Tata Surya dan Pengelompokkan Planet

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**

### **MODEL TATA SURYA**

#### **PENGANTAR**

Pada umumnya bangsa Yunani dan orang-orang yang hidup pada abad pertengahan memiliki pegangan yang kuat sebagai pandangan mereka tentang alam semesta, yaitu teori geosentris (Bumi sebagai pusat). Menurut teori ini, Bumi sebagai pusat alam semesta berada dalam keadaan diam dan planet-planet, matahari, serta benda-benda langit lainnya bergerak mengitarinya. Sekarang teori ini tidak dipakai lagi, karena telah gugur. Mungkin anda bertanya, mengapa teori ini bisa gugur? Teori ini gugur karena gagal menjelaskan fenomena *retrogresi* (gerak balik) periodik dari Planet-Planet yang teramati. Jika Bumi sebagai pusat tatasurya, maka fenomena *retrogresi* ini mestinya tidak terjadi. Lantas teori apa yang menggantikannya? Sebagai gantinya muncul teori heliosentris Copernicus. Apa bedanya dengan teori geosentris? Dalam teori heliosentris, Matahari sebagai pusat tata surya yang dikitari oleh planet-planet dan benda-benda antar Planet lainnya seperti Komet, Asteroid, dan Meteoroid. Dengan teori baru ini kerumitan yang dihadapi teori geosentris seperti fenomena *retrogresi* dapat dijelaskan. Akan tetapi meskipun demikian, teori heliosentris Copernicus masih memiliki kelemahan. Dari pengamatan ternyata jarak planet-planet terhadap matahari selama planet-planet tersebut mengitari matahari selalu berubah, hal ini menunjukkan bahwa lintasan edar planet-planet mengitari matahari bukanlah berupa lingkaran sebagaimana dinyatakan oleh teori heliosentris. Kalau begitu apa bentuk lintasan edar planet-planet mengitari matahari? Adalah Kepler yang menyempurnakan teori heliosentris Copernicus, menurut Kepler lintasan orbit Planet mengitari Matahari adalah berupa elips, dengan Matahari terletak pada salah satu fokusnya. Dengan lintasan elips tersebut, maka jarak Planet ke Matahari tidaklah tetap, demikian juga dengan kecepatan orbit planet dalam lintasannya tidak konstan.

Mungkin di benak anda muncul pertanyaan, mengapa planet-planet harus berputar mengitari Matahari? Menurut hukum gravitasi Newton, jika ada dua benda bermassa satu sama lain terpisah pada jarak tertentu, maka kedua benda

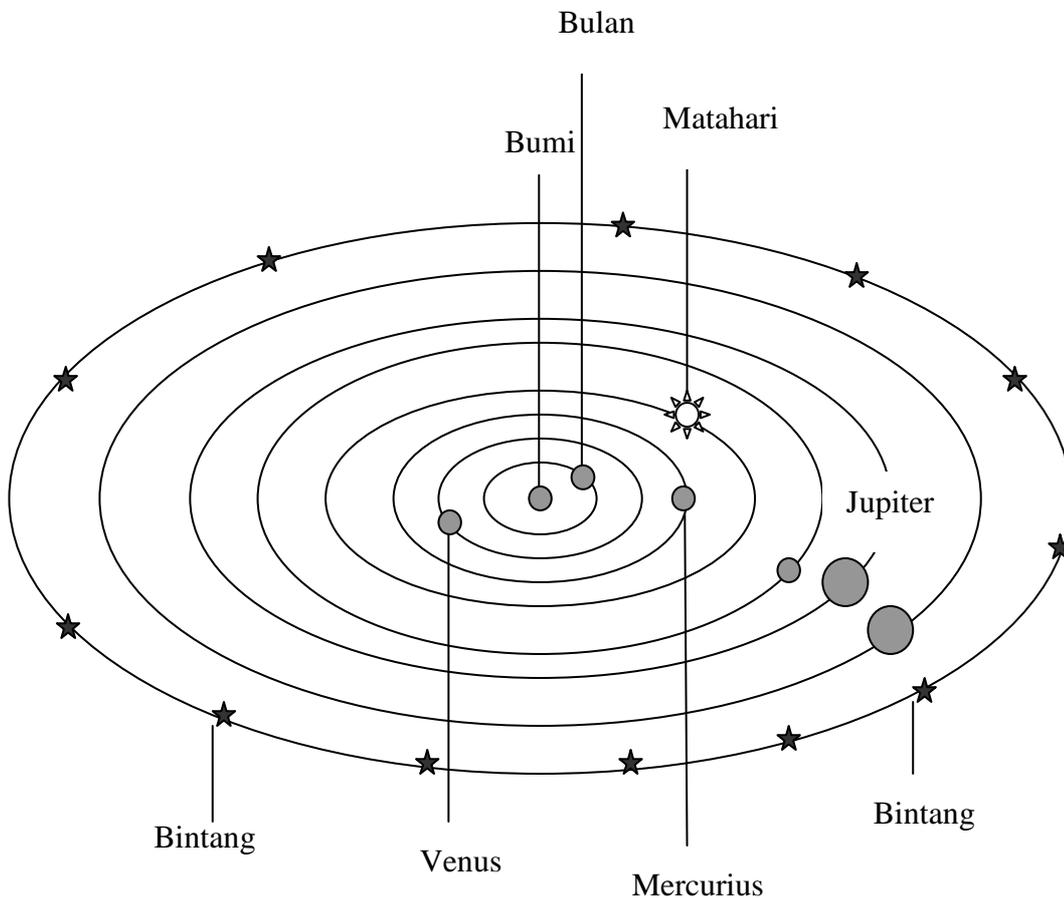
tersebut akan saling tarik menarik dengan gaya tarik sebanding dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut. Akibat tarikan ini maka benda yang massanya lebih kecil akan tertarik ke benda yang massanya lebih besar. Sehingga Planet-Planet dan benda-benda antar Planet lainnya akan jatuh tertarik oleh Matahari. Bagaimana agar planet-planet tidak jatuh ke Matahari? Harus ada gaya lain yang menetralkan gaya tarik Matahari, Planet-Planet harus berputar mengelilingi Matahari dengan laju putaran tertentu agar tidak jatuh tertarik oleh Matahari. Seluruh Planet bergerak mengitari Matahari (*berevolusi*) dalam arah yang sama, yaitu berlawanan arah dengan arah putar jarum jam. Seluruh Planet selain berevolusi mengelilingi matahari, juga berputar mengitari porosnya (sumbu putarnya) masing-masing (*berotasi*). Arah rotasi planet-planet adalah berlawanan arah dengan arah putar jarum jam, kecuali untuk planet Venus dan Uranus.

Planet-Planet berevolusi pada lintasan masing-masing dengan jarak yang berbeda-beda terhadap Matahari. Pertanyaan yang muncul adalah adakah cara sederhana untuk menentukan jarak rata-rata planet-planet ke Matahari? Metode sederhana yang dapat memudahkan dalam mengingat atau menentukan jarak rata-rata antara sebuah planet dengan Matahari dalam satuan astronomis adalah hukum Titius Bode.

### **A. Model Geosentris dan Heliosentris**

Bagaimanakah susunan alam semesta menurut model geosentris? Pada umumnya bangsa Yunani dan orang-orang yang hidup pada abad pertengahan memiliki pegangan yang kuat sebagai pandangan mereka tentang alam semesta, yaitu teori geosentris (Bumi sebagai pusat). Menurut teori ini, Bumi sebagai pusat alam semesta berada dalam keadaan diam dan planet-planet, Matahari, serta benda-benda langit lainnya bergerak mengitarinya. Gerak semu (*apparent motions*) planet, bulan, dan matahari relatif terhadap bintang dan terhadap satu sama lain dijelaskan secara lengkap dalam teori geosentris Hipparchus yang dikembangkan sekitar tahun 140 sebelum masehi. Hipparchus adalah ahli astronomi terbesar di masa Yunani Kuno (*Ancient Greece*). Selanjutnya teori

tersebut dikembangkan oleh Claudius Ptolemaeus (*Ptolemy*) sekitar tahun 150 T M (Tarikh Masehi) dan disebut sebagai teori *Ptolemaic* (Tjasyono, 2003).



Gambar 6.1. Model tata surya geosentris (Tjasyono, 2003)

Dalam teori *Ptolemaic*, Bumi berada pada pusat alam semesta (*universe*). Bulan berputar mengelilingi Bumi dengan orbit yang paling dekat, sementara bintang-bintang terletak dalam bulatan angkasa (*celestial sphere*) yang besar dan berputar dalam orbit yang paling jauh. Di antara orbit Bulan dan Bintang-Bintang terletak orbit Matahari. Planet-planet (dalam bahasa Yunani berarti pengembara) yang memiliki gerak relatif terhadap Bintang digambarkan dengan nama-nama kunonya. Planet-Planet ini bergerak mengelilingi Bumi pada masing-masing orbitnya sendiri. Orbit Planet Venus dan Merkurius berada diantara orbit Bulan

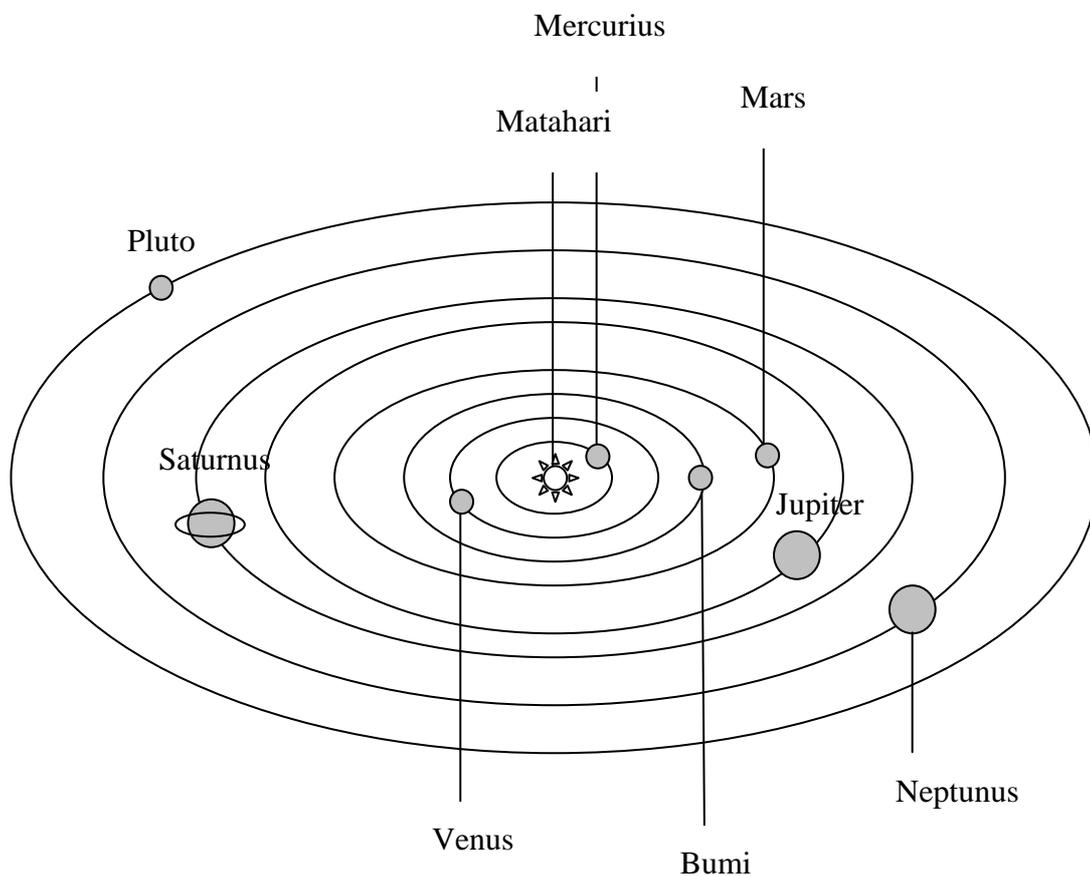
dan Matahari, sedangkan orbit Planet-Planet yang lain seperti Mars, Jupiter, dan Saturnus terletak diantara orbit Matahari dan Bintang-Bintang, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.1. Teori geosentris bertahan cukup lama yaitu kira-kira 14 abad lamanya. Mengapa teori ini kemudian gugur dan tidak digunakan lagi saat ini ?

Kelemahan dari model geosentris ini adalah adanya kesulitan untuk menjelaskan fenomena *retrograsi* (gerak balik) periodik dari planet-planet. Lintasan semu planet sepanjang tahun relatif terhadap bintang-bintang adalah berupa lengkungan (kurva) yang tidak rata. Malahan, adakalanya planet-planet teramati seolah-olah bergerak mundur (berbalik) sebelum akhirnya bergerak maju kembali selama periode orbitnya. Untuk menjelaskan gerak mundur semu ini dalam kerangka teori geosentris, maka perlu menganggap bahwa planet-planet bergerak dalam lintasan-lintasan sirkular kecil yang disebut episiklus (*epicycles*), ketika planet-planet bergerak dalam orbit besarnya mengelilingi Bumi. Akan tetapi, anggapan ini justru tidak sesuai dengan hasil pengamatan.

Sebenarnya seorang ahli astronomi Yunani yang bernama Aristarchus (kira-kira tahun 310 – 230 SM) pernah menyatakan bahwa Matahari mungkin berada pada pusat alam semesta, dan Bumi bergerak mengitarinya. Tetapi kemudian ia menolak sendiri gagasannya tersebut. Konsep matahari sebagai pusat tata surya (*heliosentris*) saat itu belum mendapat tempat dalam bidang astronomi. Kapan gagasan heliosentris ini muncul kembali ? Gagasan tentang *heliosentris* ini muncul kembali pada sekitar tahun 1543. Pada tahun itu terjadi revolusi ilmiah besar-besaran yang dilakukan oleh Nicolaus Copernicus, seorang astronom Polandia, yang dengan berani mengajukan penggantian model *geosentris* dengan model *heliosentris* yang lebih sederhana. Bagaimana susunan alam semesta menurut model heliosentris ini? Dalam model ini, selain oleh planet-planet, Matahari juga dikitari oleh benda-benda antar planet lainnya seperti Komet, Asteroid, dan Meteoroid. Sistem dengan Matahari sebagai pusat yang dikitari oleh planet-planet dan benda-benda antar planet lain dinamakan Tata Surya (Tjasyono, 2006).

Dalam model *heliosentris* Copernicus, Matahari dianggap berada pada pusat alam semesta, bintang-bintang terletak pada bulatan angkasa dan berputar

mengelilingi Matahari. Diantara Bintang-bintang dan Matahari terdapat planet-planet termasuk Bumi yang berputar mengelilingi Matahari dalam masing-masing orbitnya dengan lintasan orbit berbentuk lingkaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2. Gerak mundur semu dalam peredaran planet-planet yang sulit dijelaskan oleh model *geosentris*, dapat dijelaskan dengan mudah dalam model *heliosentris*, dengan menggunakan konsep gerak relatif antara Bumi dan planet-planet lain yang bergerak disekitar Matahari dengan kecepatan sudut putar yang berbeda-beda.



Gambar 6.2. Model tata surya heliosentris (Tjasyono, 2006)

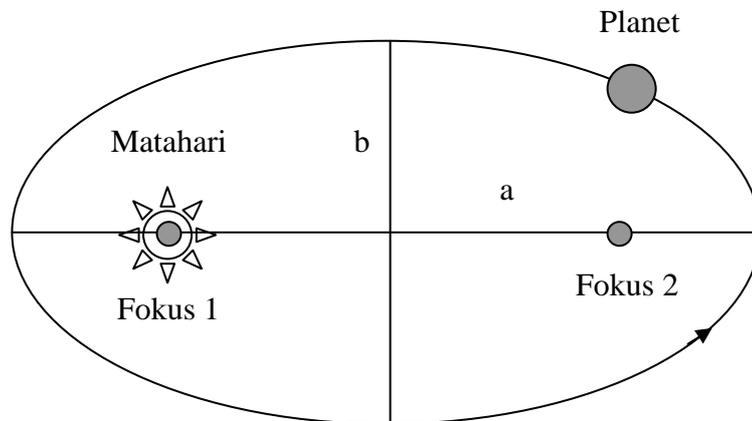
Apakah model tatasurya yang dipakai sekarang adalah murni gagasan Copernicus? Ternyata bukan, karena model heliosentris Copernicus memiliki kekurangan. Kekurangan model Copernicus terjadi pada dua hal, yakni pertama

adanya fakta bahwa Bintang-Bintang tidak berputar mengelilingi Matahari, dan kedua lintasan orbit planet-planet bergerak mengelilingi Matahari bukan berupa lingkaran (sirkular). Kesimpulan bahwa lintasan planet-planet bukan lingkaran diambil karena berdasarkan pengamatan ternyata jarak suatu planet ke Matahari selama periode revolusinya tidaklah tetap, melainkan berubah-ubah, kadang-kadang menjauh kadang-kadang mendekat. Hal ini tidak akan terjadi jika lintasan edar planet mengelilingi matahari berupa lingkaran (Tjasyono, 2006). Lantas apa bentuk lintasan edar planet dan benda-benda langit lainnya saat mengelilingi Matahari ?

## **B. Hukum-Hukum Kepler**

Kelemahan model Copernicus tentang orbit planet kemudian disempurnakan oleh Johannes Kepler (1571-1630), dia adalah asisten dan penerus dari ahli astronomi Tycho Brahe (Tjasyono, 2006). Kepler sangat tertarik dengan gerak tak beraturan Planet Mars. Ia menghabiskan waktu dan energinya untuk sampai pada kesimpulan bahwa orbit lingkaran seragam yang diusulkan oleh Copernicus tidak sesuai dengan fakta-fakta hasil pengamatan. Karena Kepler juga adalah seorang ahli matematika, maka ia melakukan analisis matematis atas data-data yang diperoleh dari hasil pengamatan dengan menggunakan teleskop astronomi Brahe. Hasil analisis matematis yang dilakukan Kepler menghasilkan suatu kesimpulan bahwa lintasan orbit Planet adalah berupa elips dan bukan lingkaran. Apakah elips itu ? elips merupakan suatu bangun datar berbentuk lonjong ditandai oleh sumbu mayor dan sumbu minor. Hasil-hasil pengamatan dan analisis Kepler tentang gerak dan orbit planet menghasilkan tiga hukum Kepler yang sangat terkenal dan hingga saat ini masih dipercaya keberlakuannya.

**Hukum pertama Kepler** yang disebut juga hukum elips yang dipublikasikan pada sekitar tahun 1609, menyatakan bahwa semua Planet bergerak dalam lintasan elips mengelilingi Matahari dengan Matahari berada di salah satu titik fokus elips. Titik Fokus lainnya berada di ruang angkasa. Bentuk orbit Planet menurut hukum pertama Kepler ditunjukkan pada Gambar 6.3 (Tjasyono, 2006).



Gambar 6.3. Bentuk orbit Planet menurut hukum pertama Kepler (Tjasyono, 2006)

Persamaan elips dari hukum pertama Kepler dirumuskan seperti berikut :  
(Tjasyono, 2006)

$$\frac{(x + ae)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (6.1)$$

dimana  $e$  adalah eksentrisitas yang merupakan perbandingan antara jarak dua fokus dengan diameter panjang elips. Nilai eksentrisitas menentukan bentuk elips apakah makin lonjong atau makin mendekati bentuk lingkaran. Jika  $e = 0$ , maka orbit planet akan berupa lingkaran. Eksentrisitas bumi,  $e_{\text{bumi}} = 0,017$ , hampir mendekati nol, jadi orbit bumi hampir mendekati lingkaran.

Apakah efek dari lintasan planet-planet mengelilingi matahari berbentuk elips? Akibat lintasan orbit planet berbentuk elips, maka selama suatu planet bergerak mengelilingi matahari menempuh satu putaran penuh yang disebut satu tahun planet, jarak antara planet tersebut dengan Matahari akan selalu berubah-ubah. Pada suatu waktu tertentu, setiap planet akan berada pada posisi paling dekat dengan Matahari dibandingkan dengan waktu-waktu lainnya. Titik pada lintasan orbit planet yang menandai posisi paling dekat planet ke Matahari disebut *perihelium* (peri = dekat, helios = matahari). Pada waktu tertentu, setiap planet juga akan berada pada posisi paling jauh dari Matahari dibandingkan

waktu-waktu lainnya. Titik pada lintasan orbit Planet yang menandai posisi paling jauh Planet ke Matahari disebut aphelium (ap = jauh, helios = Matahari). Bumi berada di perihelium kira-kira pada tanggal 3 Januari, dan berada di aphelium kira-kira pada tanggal 4 Juli setiap tahun. Di perihelium, jarak antara Bumi dan Matahari adalah sekitar 91,5 juta mil (147 juta km) dan di aphelium jarak Bumi dan Matahari adalah sekitar 94,5 juta mil (152 juta km). Dengan demikian jarak rata-rata Bumi dari Matahari dalam keseluruhan orbitnya adalah sekitar 93,0 juta mil (150 juta km) atau setara dengan 1 SA (satuan astronomi) (Tjasyono, 2006).

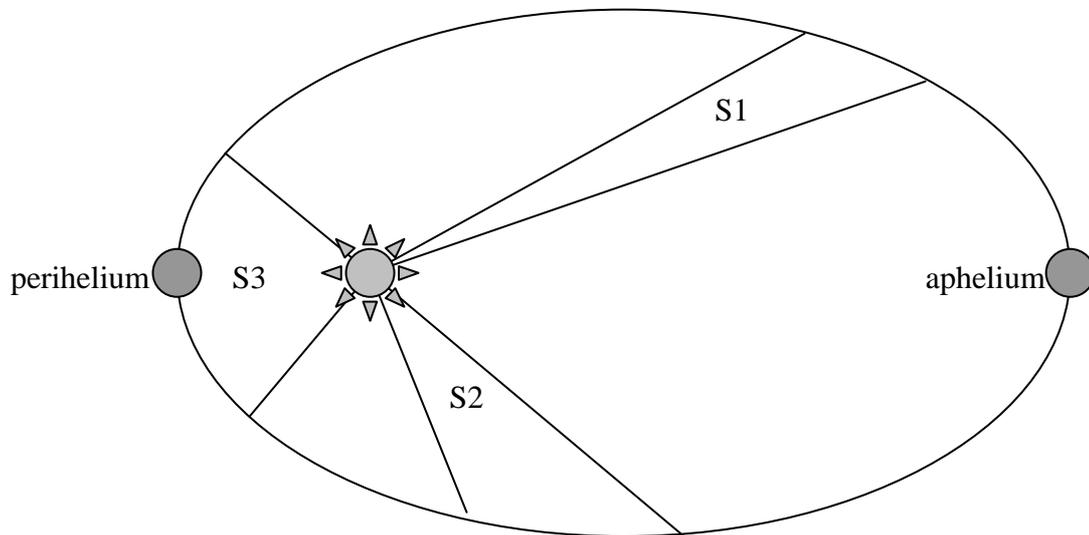
Bagaimanakah arah revolusi planet mengitari Matahari? Seluruh Planet bergerak mengitari Matahari (*berevolusi*) dalam arah yang sama, yaitu berlawanan arah dengan arah putar jarum jam. Demikian juga dengan arah revolusi bulan mengelilingi bumi. Seluruh Planet selain berevolusi mengelilingi matahari, juga berputar mengitari porosnya (sumbu putarnya) masing-masing (*berotasi*). Apa buktinya ? Salah satu bukti bahwa planet Bumi berotasi adalah terjadinya siang dan malam di permukaan Bumi. Lalu bagaimana arah rotasi dari planet-planet? Arah rotasi planet-planet juga dalam arah berlawanan dengan arah putar jarum jam, kecuali untuk planet Venus dan Uranus. Para astronom menetapkan arah putar berlawanan dengan arah putar jarum jam sebagai gerak langsung (*direct*), sedangkan arah putar searah dengan arah putaran jarum jam disebut gerak balik (*retroge*). Bulan mengitari Bumi juga dengan gerak langsung. Selain itu semua orbit planet kecuali Merkurius dan Pluto terletak dalam bidang yang hampir sama. Bidang orbit Bumi disebut Ekliptika (Tjasyono, 2006).

**Hukum kedua Kepler** yang disebut juga sebagai hukum kesamaan luas yang dipublikasikan pada tahun 1609, menyatakan bahwa luas (S) yang disapu oleh garis penghubung antara planet dan Matahari dalam selang waktu (t) yang sama adalah sama ( $S_1 = S_2 = S_3$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 6.4. Apa makna hukum ini ? Hukum ini secara tidak langsung menyatakan bahwa kecepatan orbit suatu Planet mengitari matahari tidaklah konstan (uniform) melainkan berubah-ubah. Planet akan bergerak lebih cepat dalam orbitnya ketika berada pada daerah yang dekat dengan matahari, dan akan bergerak lebih lambat dalam orbitnya ketika berada pada daerah yang jauh dari matahari. Kecepatan

orbit Planet berbanding terbalik dengan jaraknya terhadap matahari. Dalam notasi matematis, hukum ini dapat dirumuskan sebagai : (Tjasyono, 2006)

$$\frac{dS}{dt} = C \quad (6.2)$$

dengan C adalah konstanta. Persamaan ini dapat dibaca laju perubahan luas yang disapu garis penghubung planet-Matahari terhadap waktu adalah tetap,  $S_1 = S_2 = S_3$ .



Gambar 6.4. Hukum Kepler ke 2 yang menggambarkan kecepatan planet di sekitar Matahari,  $S_1 = S_2 = S_3$  (Tjasyono, 2006)

Hukum kesamaan luas ini terbentuk sebagai konsekuensi dari adanya kekekalan momentum sudut dari planet-planet ketika berputar mengelilingi Matahari. Apakah momentum sudut itu? Momentum sudut ( $L$ ) merupakan suatu besaran fisika terkait gerak rotasi yang didefinisikan sebagai perkalian antara momentum linier dengan jarak radial suatu benda ( $r$ ) dari sumbu putarnya; (Kanginan, 1999)

$$L = pr \quad (6.3)$$

Dimana momentum linier ( $p$ ) adalah suatu besaran Fisika yang didefinisikan sebagai perkalian antara massa ( $m$ ) dengan kecepatan ( $v$ );

$$p = mv \quad (6.4)$$

Jadi, jika momentum sudut suatu planet yang mengitari matahari adalah kekal, maka planet harus bergerak lebih cepat bila dekat dengan matahari, dan bergerak lebih lambat jika berada jauh dari Matahari. Planet-planet yang berputar mengelilingi Matahari memiliki momentum sudut yang tetap, karena tidak ada gaya yang bekerja dalam arah geraknya. Gaya tarik matahari arahnya membentuk sudut  $90^\circ$  terhadap arah gerak Planet. Sekali Planet bergerak mengelilingi Matahari, maka planet tersebut akan terus berputar dengan momentum sudut yang konstan, kecuali jika dikenakan gaya yang arahnya dalam arah gerak planet. Sebagai contoh, satelit buatan seperti satelit Palapa yang diorbitkan dalam atmosfer Bumi, akan bergerak mengelilingi Bumi dalam orbit eliptik dengan momentum sudut mula-mula konstan. Akan tetapi akibat adanya gaya gesek dari atmosfer bumi yang arahnya berlawanan dengan arah gerak satelit, maka momentum sudut satelit lama kelamaan akan terus berkurang seiring berjalannya waktu. Jadi adanya gaya gesekan udara dapat menyebabkan hukum kekekalan momentum tidak berlaku, tetapi planet-planet bergerak di ruang hampa sehingga gaya gesek dengan udara dapat diabaikan, sehingga hukum kekekalan momentum sudutnya terjamin (Kanginan, 1999).

Waktu yang diperlukan oleh sebuah Planet untuk beredar satu kali mengitari Matahari disebut periode revolusi. Untuk Bumi, periode revolusinya didefinisikan sebagai satu tahun. Sedangkan waktu yang diperlukan oleh suatu planet untuk berputar satu kali mengitari porosnya disebut periode rotasi. Untuk Bumi, periode rotasinya didefinisikan sebagai satu hari. Periode revolusi suatu planet berhubungan erat dengan orbitnya (jari-jari atau diameter orbit). Hubungan antara periode revolusi suatu planet dengan jaraknya dari matahari, termaktub dalam hukum ketiga Kepler. Bagaimana bunyi hukum ketiga Kepler ?

**Hukum ketiga Kepler** yang disebut juga sebagai hukum harmonik yang dipublikasikan pada tahun 1618, menyatakan bahwa perbandingan kuadrat

periode revolusi ( $T^2$ ) terhadap pangkat tiga dari jarak rata-rata planet ke Matahari (jari-jari elips =  $R^3$ ) adalah sama untuk semua planet. Secara matematika, pernyataan tersebut dapat dirumuskan seperti berikut : (Tjasyono, 2006)

$$\frac{T^2}{R^3} = C \quad (6.5)$$

Disini C adalah suatu konstanta yang memiliki nilai yang sama untuk semua Planet. Hukum ini secara eksplisit menyatakan hubungan antara periode revolusi suatu Planet dengan jaraknya terhadap matahari. Makin jauh jarak Planet ke matahari (makin besar diameter orbit Planet), makin lama periode revolusinya. Planet yang memiliki diameter orbit paling kecil adalah Merkurius dan yang paling besar adalah Pluto. Sehingga Merkurius memiliki periode revolusi paling kecil, yaitu sekitar seperempat periode revolusi Bumi (0,25 tahun Bumi), sedangkan Pluto memiliki periode revolusi paling besar yaitu sekitar 248 tahun Bumi.

Apakah jarak suatu planet ke Matahari juga mempengaruhi periode rotasi planet tersebut? Periode rotasi tidak ada hubungannya dengan jarak Planet ke Matahari. Periode rotasi Planet Venus yang jaraknya ke Matahari lebih dekat dibanding Planet Bumi, memiliki periode rotasi yang lebih besar dari periode rotasi Bumi, yaitu sekitar 243 hari Bumi. Sedangkan Planet Jupiter yang jaraknya lebih jauh dari Bumi, memiliki periode rotasi yang lebih kecil dari periode rotasi Bumi, yaitu sekitar setengah hari Bumi.

Jika Bumi dijadikan sebagai acuan, dimana jarak antara Bumi dan Matahari adalah sekitar  $150 \times 10^6$  km yang disebut sebagai 1 SA, dan periode revolusi Bumi adalah 1 tahun, maka konstanta  $C = 1$ , dan persamaan hukum ketiga Kepler menjadi : (Tjasyono, 2006)

$$\frac{T^2}{R^3} = 1, \quad \text{atau} \quad T^2 = R^3 \quad (6.6)$$

disini R adalah jarak rata-rata Planet ke Matahari dalam satuan SA dan T adalah periode revolusi planet dalam satuan tahun.

Jarak rata-rata setiap Planet ke Matahari dan periode revolusinya dirangkumkan dalam Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Jarak rata-rata Planet-Matahari dan periode revolusinya

Planet	Jarak rata-rata Planet ke Matahari (SA)	Periode revolusi Planet
Merkurius	0.39	88.0 hari
Venus	0.72	225.0 hari
Bumi	1.00	365.3 hari
Mars	1.52	687.0 hari
Jupiter	5.20	11.9 tahun
Saturnus	9.54	29.5 tahun
Uranus	19.19	84.0 tahun
Neptunus	30.07	164.0 tahun
Pluto	39.52	248.0 tahun

### C. Hukum Titius Bode

Adakah suatu aturan umum atau ketentuan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak planet-planet ke Matahari? Suatu metode sederhana yang dapat memudahkan dalam mengingat atau menentukan jarak rata-rata antara sebuah planet dengan Matahari dalam satuan astronimis, yaitu hukum Titius Bode. Disebut demikian, karena metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Johann Daniel Titius, seorang ahli Fisika dan Matematika berkebangsaan Jerman pada sekitar tahun 1766. Sedangkan Johann Bode, seorang astronom Jerman adalah pendukung kuat metode ini.

Bagaimana dapat menentukan jarak rata-rata antara suatu planet dengan Matahari dengan hukum Titius Bode? Titius Bode menandai jarak antara planet dan Matahari dengan angka-angka 0, 3, 6, 12, 24, ... dan seterusnya (menggandakan angka setiap bilangan kecuali untuk nol). 0 untuk Merkurius, 3 untuk Venus, 6 untuk Bumi, dan seterusnya. Kemudian setiap bilangan ini

ditambah dengan 4, dan hasilnya dibagi dengan 10 (Tjasyono, 2006). Sebagai contoh, untuk Planet Merkurius (Planet terdekat dengan Matahari) jaraknya dari matahari (dalam SA) menurut hukum Titius Bode adalah :

$$(0 + 4) : 10 = 0,4 \text{ SA}$$

sedangkan untuk planet Venus, jaraknya dari Matahari adalah :

$$(3 + 4) : 10 = 0,7 \text{ SA}$$

Sekarang berapakah jarak planet Bumi ke Matahari? Tanda untuk planet Bumi adalah 6, kemudian angka 6 ini ditambah dengan 4 dan hasil penjumlahan ini dibagi dengan 10, sehingga jarak Bumi ke Matahari adalah :

$$(6 + 4) : 10 = 1 \text{ SA}$$

dan seterusnya. Cukup mudah bukan ? Coba anda tentukan jarak rata-rata planet-planet lainnya dari Matahari dengan menggunakan hukum Titius Bode ini.

#### **D. Kesesuaian Hukum Newton dengan Hukum Kepler**

Penemuan Teleskop pada tahun 1610 dan karya ilmiah besar Galileo (1564 – 1642) telah mempercepat perkembangan astronomi dan penetapan teori heliosentris tata surya. Siapakah dia ? Galileo yang nama lengkapnya Galileo Galilei adalah seorang ahli matematika, fisika dan astronomi Italia. Ia termasuk salah satu ilmuwan besar sepanjang sejarah. Dari sekian banyak sumbangan ilmiahnya, yang paling penting adalah dalam bidang mekanika. Ia menyumbangkan ide dasar asli untuk formulasi kedua hukum pertama Newton, dan ia menemukan pendekatan eksperimen modern dalam ilmu pengetahuan (dikenal dengan sebutan metode ilmiah). Selain itu, gerak benda-benda, khususnya planet-planet, juga merupakan bahan kajian utama Galileo. Konsep gerak dan gayanya menghasilkan gerakan pendekatan baru secara keseluruhan pada astronomi (Tjasyono, 2003).

Hasil-kasil kerja Copernicus, Kepler, dan Galileo dipadukan oleh Sir Isaac Newton, seorang ahli Fisika dan Matematika berkebangsaan Inggris menghasilkan suatu hukum gravitasi universal yang dipublikasikan dalam *Principia* pada tahun 1687. Bagaimana pernyataan hukum ini ? Hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa gaya gravitasi (gaya tarik menarik) antara dua benda bermassa sebanding dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat

jarak antara kedua benda tersebut. Karya Newton ini memperlihatkan bahwa hukum-hukum Kepler yang diturunkan secara empiris, sesuai dengan hukum-hukum dasar tentang gerak. Secara matematis hukum gravitasi Newton dapat dirumuskan sebagai berikut : (Tjasyono, 2003)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (6.7)$$

dimana F adalah gaya tarik menarik Newton,  $m_1$  dan  $m_2$  adalah massa benda 1 dan benda 2, r adalah jarak kedua benda yang diukur dari masing-masing pusat massanya, dan G adalah konstanta universal yang besarnya  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ . Hukum ini disebut pula hukum interaksi massa.

Apakah akibat dari adanya interaksi massa? Sebagai efek dari adanya gaya gravitasi ini, maka setiap benda akan saling berinteraksi dengan satu sama lain mengerahkan gaya gravitasi yang sama, dan benda yang massanya jauh lebih kecil dapat tertarik ke benda yang lebih massanya jauh lebih besar. Apakah buktinya? buah durian yang lepas dari tangkainya akan jatuh tertarik ke permukaan bumi (tanah). Hal ini terjadi karena massa durian sangat jauh lebih kecil dibanding dengan massa Bumi.

Matahari dan planet-planet juga saling tarik-menarik satu sama lain, karena masing-masing memiliki massa. Dan sudah pasti massa Matahari akan jauh lebih besar dari massa planet-planet, karena memiliki ukuran volume yang jauh lebih besar. Mestinya planet-planet jatuh tertarik ke Matahari bukan ? Tetapi mengapa planet-planet termasuk Bumi kita tidak jatuh tertarik ke Matahari ? Atau Bulan yang massanya jauh lebih kecil tidak jatuh tertarik ke Bumi ? Jawabannya adalah karena planet-planet tidak diam melainkan bergerak mengitari Matahari dengan kecepatan orbit tertentu. Demikian juga dengan Bulan bergerak mengelilingi Bumi. Sebagai efek dari pergerakan ini maka seolah-olah akan timbul suatu gaya pengimbang yang menetralkan gaya tarik Matahari. Gaya pengimbang ini biasa disebut sebagai gaya sentrifugal. Wujud nyata dari gaya ini adalah sama seperti ketika kita sedang duduk di dalam mobil, kemudian mobil itu bergerak dalam jalan menikung, maka seolah-olah kita tertarik ke arah yang berlawanan dengan

arah tikungan. Jika kecepatan mobil saat menikung cukup tinggi, maka seolah-olah kita akan terlempar ke luar (Kanginan, 1999).

Besarnya gaya tarik menarik antara Matahari (bermassa  $M$ ) dengan suatu planet (bermassa  $m_p$ ) yang satu sama lain terpisah sejauh  $R$ , adalah : (Tjasyono, 2006)

$$F_1 = G \frac{Mm_p}{R^2} \quad (6.8)$$

dan gaya sentrifugal akibat planet bergerak mengitari Matahari dengan kecepatan linier  $v$ , adalah :

$$F_2 = \frac{m_p v^2}{R} \quad (6.9)$$

dalam hal ini lintasan orbit planet dianggap berupa lingkaran.

Karena gaya sentrifugal ini ( $F_2$ ) mengimbangi gaya tarik Matahari ( $F_1$ ), maka :

$$F_1 = F_2$$

atau

$$G \frac{Mm_p}{R^2} = \frac{m_p v^2}{R}$$

yang menghasilkan hubungan :

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \quad (6.10)$$

gaya tarik ( $F_1$ ) mengarah ke pusat orbit (Matahari), sehingga gaya ini disebut juga gaya sentripetal.

Dari persamaan-persamaan di atas dapat diamati bahwa :

- Kecepatan linier orbit Planet berbanding terbalik dengan jaraknya dari Matahari, ini berarti semakin dekat jarak suatu planet ke Matahari, maka gerak planet akan semakin cepat, atau periodenya akan semakin kecil (sesuai dengan hukum kedua Kepler)
- Jika planet diam tidak bergerak mengitari Matahari maka atau kecepatannya ( $v$ ) sama dengan nol, maka gaya sentrifugal ( $F_2$ ) juga sama dengan nol, dan karena gaya tarik  $F_1$  tidak nol, maka planet akan jatuh tertarik ke Matahari.

Selanjutnya dengan menggabungkan konsep gerak melingkar dan hukum ketiga Kepler, Newton dapat menentukan nilai konstantan C pada persamaan hukum ketiga Kepler, dengan langkah analisis seperti berikut :

Seperti telah diungkapkan di atas, gaya sentripetal (besarnya sama dengan gaya sentrifugal) yang dikerjakan Matahari terhadap planet adalah,

$$F = \frac{m_p v^2}{R}$$

Tapi kecepatan linier  $v$  dapat dinyatakan dalam kecepatan sudut ( $\omega$ ) melalui hubungan  $v = \omega R$ , dengan demikian persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk ;

$$F = m_p \omega^2 R \quad (6.11)$$

Dan karena kecepatan sudut ( $\omega$ ) terkait dengan periode orbit planet ( $T$ ) melalui hubungan ;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , maka persamaan (6.11) dapat dituliskan seperti berikut :

$$F = m_p \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad (6.12)$$

Dan kemudian dengan menggunakan perumusan hukum ketiga Kepler dan persamaan hukum gravitasi Newton dapat dirumuskan persamaan untuk konstanta pada hukum ketiga Kepler (C) seperti berikut :

$$C = \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad (6.13)$$

Marilah sekarang kita lihat contoh penerapan hukum ketiga Kepler !

Dua buah planet P dan Q mengorbit Matahari dengan perbandingan jarak planet P dan planet Q ke Matahari adalah 4 : 9. Apabila periode revolusi planet P adalah 24 jam, tentukan periode revolusi planet Q!

Jawab

Diketahui :     -  $\frac{R_p}{R_Q} = \frac{4}{9}$

-  $T_p = 24 \text{ jam}$

Periode Planet P dapat dihitung dengan persamaan hukum ketiga Kepler seperti berikut ini :

$$\frac{T_Q^2}{R_Q^3} = \frac{T_P^2}{R_P^3}$$

atau

$$T_Q = T_P \left( \frac{R_Q}{R_P} \right)^{3/2}$$

atau

$$T_Q = (24 \text{ hari}) \left( \frac{9}{4} \right)^{3/2} = 81 \text{ hari}$$

## LATIHAN

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

1. Buktikan persamaan untuk konstanta pada hukum ketiga Kepler (C) (persamaan 6.13)!  
Petunjuk ; mulai dari persamaan 6.12, kemudian gunakan persamaan hukum ketiga Kepler, dan persamaan hukum gravitasi Newton.
2. Lengkapi tabel berikut ini dengan menggunakan hukum Titius Bode !

No Urut	Nama Planet dan Benda antar Planet	Tanda Planet	Jarak Planet – Matahari Menurut hukum Titius Bode (SA)
1	Merkurius	0	
2	Venus	3	
3	Bumi	6	
4	Mars	.....	
5	<i>Asteroid</i>	24	
6	Jupiter	.....	
7	Saturnus	96	
8	Uranus	.....	
9	Neptunus	.....	
10	Pluto	.....	

## Ranbu-Ranbu Jawaban

1. Untuk dapat menjawab soal latihan no. 1, anda dapat memulai dengan persamaan gaya sentripetal (pers. 6.12), kemudian menggunakan hukum ketiga Kepler dan hukum Gravitasi Newton.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut : Gaya sentripetal yang dialami sebuah Planet yang mengitari Matahari (Persamaan 6.12) adalah

$$F = m_p \frac{m_p 4\pi^2 R}{T^2}$$

Dari hukum ketiga Kepler diketahui bahwa ;

$$\frac{T^2}{R^3} = C \quad \text{atau} \quad \frac{R}{T^2} = \frac{1}{CR^2}$$

Sehingga persamaan (6.12) menjadi ;

$$F = \frac{m_p 4\pi^2}{CR^2}$$

Tapi sebenarnya gaya sentripetal ini merupakan gaya gravitasi Matahari-Planet, yang besarnya adalah ;

$$F = G \frac{Mm_p}{R^2}$$

Maka dengan menyamakan persamaan gaya gravitasi ini dengan gaya sentripetal, akan didapat hubungan :

$$\frac{m 4\pi^2}{CR^2} = G \frac{mM}{R^2}$$

Yang akan menghasilkan persamaan untuk konstanta pada hukum ketiga Kepler (C) seperti berikut :

$$C = \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad (6.13)$$

2. Untuk menentukan jarak antara setiap Planet dengan Matahari dengan hukum Titius Bode, anda dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Jarak = \frac{Tanda Planet + 4}{10} \quad SA$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

No Urut	Nama Planet dan Benda antar Planet	Tanda Planet	Jarak Planet – Matahari Menurut hukum Titius Bode (SA)
1	Merkurius	0	0.4
2	Venus	3	0.7
3	Bumi	6	1.0

4	Mars	12	1.6
5	<i>Asteroid</i>	24	2.8
6	Jupiter	48	5.2
7	Saturnus	96	10.0
8	Uranus	192	19.6
9	Neptunus	384	38.8
10	Pluto	768	77.2

## RANGKUMAN

Teori geosentris tentang tata surya yang menempatkan Bumi sebagai pusat alam semesta yang dkitari oleh planet-planet, matahari, serta benda-benda langit lainnya telah menjadi pegangan kuat bangsa Yunani dalam rentang yang sangat lama. Teori ini akhirnya gugur setelah terjadi revolusi ilmiah besar-besaran yang dilakukan oleh Nicolaus Copernicus, yang dengan berani mengajukan penggantian teoril *geosentris* dengan teori *heliosentris*. Dalam model ini, Matahari ditempatkan sebagai pusat tata surya yang selain dkitari oleh Planet-Planet, juga dkitari benda-benda antar Planet lainnya seperti Komet, Asteroid, dan Meteoroid. Kelemahan model heliosentris Copernicus adalah anggapan bahwa lintasan orbit Planet-Planet bergerak mengelilingi Matahari berupa lingkaran (sirkular).

Model heliosentris Copernicus ini kemudian disempurnakan oleh Kepler melalui tiga hukum yang dipublikasikannya, yaitu hukum pertama, kedua, dan ketiga Kepler. Hukum pertama Kepler yang disebut juga hukum elips, menyatakan bahwa semua Planet bergerak dalam lintasan elips mengitari Matahari dengan Matahari berada di salah satu titik fokus elips. Hukum kedua Kepler yang disebut juga sebagai hukum kesamaan luas, menyatakan bahwa luas ( $S$ ) yang disapu oleh garis penghubung antara Planet dan Matahari dalam selang waktu ( $t$ ) yang sama adalah sama. Dan Hukum ketiga Kepler yang disebut juga sebagai hukum harmonik, menyatakan bahwa perbandingan kuadrat periode revolusi ( $T^2$ ) terhadap pangkat tiga dari jarak rata-rata Planet ke Matahari ( $R^3$ ) adalah sama untuk semua Planet. Terdapat suatu metode sederhana yang dapat digunakan atau menentukan jarak rata-rata antara sebuah Planet dengan Matahari dalam satuan astronomis, yaitu hukum Titius Bode.

Terdapat kesesuaian antara hukum Kepler dan hukum Gravitasi Newton. Planet-Planet dan benda-benda antar Planet lainnya harus berputar mengelilingi Matahari dengan laju putaran tertentu agar tidak jatuh tertarik oleh Matahari.

## TES FORMATIF 1

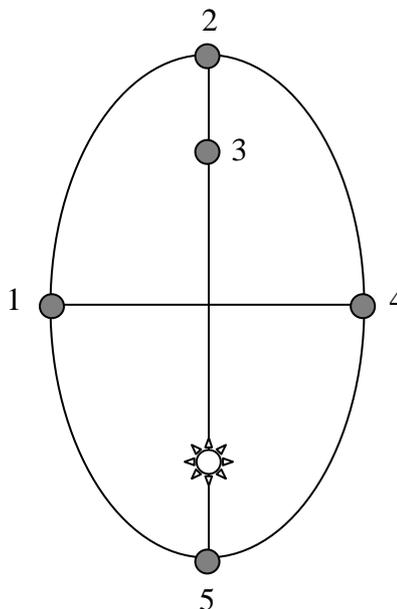
Petunjuk : Pilihlah salah satu jawaban yang anda anggap paling tepat, dengan cara membubuhkan tanda silang (X) pada option yang disediakan.

1. Matahari sebagai pusat tata surya dan planet-planet serta benda-benda antar planet bergerak mengitarinya dengan lintasan berbentuk elips, adalah merupakan model tata surya .....
  - A. Geosentris
  - B. Ptolemy
  - C. Heliosentris Copernicus
  - D. Heliosentris Copernicus yang disempurnakan Kepler
  - E. Heliosentris Aristarchus
2. Kelemahan model Heliosentris Copernicus adalah .....
  - A. Orbit planet berbentuk elips
  - B. Orbit Planet berbentuk lingkaran
  - C. Tidak bisa menerangkan adanya gerak balik (retroge) planet
  - D. Bumi sebagai pusat tata surya
  - E. Bintang-Bintang tidak beredar mengelilingi Matahari
3. Menurut hukum Titius Bode, jarak rata-rata Matahari dengan Planet Mars yang merupakan Planet dengan urutan ke-4 dalam tata surya adalah .....
  - A. 1,6 SA
  - B. 4 SA
  - C. 0,4 SA
  - D. 16 SA
  - E. 8 SA
4. Tanda-tanda di bawah ini menunjukkan bahwa Bumi berevolusi dengan arah berlawanan dengan arah putar jarum jam, kecuali .....
  - A. Matahari terbit di Timur dan terbenam di Barat
  - B. Pembagian tiga wilayah waktu, yaitu WIT, WITA, dan WIB
  - C. Wilayah timur negara Indonesia lebih awal siang dibanding wilayah barat
  - D. Pada pagi hari bayang-bayang badan kita mengarah ke arah barat dan pada sore kari mengarah ke timur

E. Adanya siang dan malam

5. Yang dimaksud dengan posisi perihelium pada diagram orbit sebuah planet berikut ini adalah .....

- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5



6. Menurut hukum Gravitasi Newton, Gaya tarik menarik antara dua benda bermassa adalah sebanding dengan perkalian massa masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda. Jika terjadi interaksi gravitasi (tarik) antara Matahari dan Planet Venus, dimana massa Matahari jauh lebih besar dari massa Venus, maka .....
- A. Gaya tarik Matahari lebih besar dari gaya tarik Venus
  - B. Gaya tarik Venus lebih besar dari gaya tarik Matahari
  - C. Gaya tarik Matahari sama dengan gaya tarik Venus
  - D. Gaya tarik Matahari kadang-kadang lebih besar kadang-kadang lebih kecil
  - E. Interaksinya bukan tarik menarik melainkan tolak menolak
7. Planet yang berotasi dengan gerak *retroge* (gerak balik) adalah .....
- A. Venus
  - B. Pluto
  - C. Uranus
  - D. Saturnus
  - E. Venus dan Uranus

8. Semakin dekat jarak suatu Planet ke Matahari, maka semakin cepat pula gerak edarnya, dan semakin jauh jaraknya dari Matahari, maka gerak edarnya semakin lambat, sehingga dalam waktu yang sama, luas bidang tempuhnya akan sama besar. Pernyataan ini dikenal sebagai hukum .....
- A. Pertama Kepler
  - B. Kedua Kepler
  - C. ketiga Kepler
  - D. Gravitasi Newton
  - E. Titius Bode
9. Kelajuan orbit sebuah planet dalam lintasan orbit elipsnya mengitari matahari adalah .....
- A. Konstan
  - B. Berubah bergantung pada ukuran Planet
  - C. Terkecil ketika berada di perihelium
  - D. Terbesar ketika di perihelium
  - E. Berubah, tapi tidak bergantung pada jaraknya dari Matahari
10. Menurut hukum ketiga Kepler, waktu yang diperlukan sebuah Planet untuk mengitari Matahari satu kali pada orbitnya adalah .....
- A. Sama untuk semua Planet
  - B. Bergantung pada jaraknya ke Matahari
  - C. Bergantung pada ukuran Planet
  - D. Bergantung pada massa Planet
  - E. Bergantung pada kecepatan gerak rotasinya
11. Periode Bumi mengelilingi Matahari adalah 1 tahun. Bila jari-jari lintasan suatu Planet mengelilingi Matahari dua kali jari-jari lintasan Bumi mengelilingi Matahari, maka Periode Planet tersebut adalah .....
- A. 1,4 tahun
  - B. 0,5 tahun
  - C. 2 tahun
  - D. 2,8 tahun
  - E. 5,6 tahun
12. Suatu Planet M memiliki massa  $a$  kali massa Bumi dan ukuran jari-jari  $b$  kali jari-jari Bumi. Berat suatu benda di Planet M dibandingkan dengan beratnya di Planet Bumi adalah .....

A.  $ab$  kali

B.  $ab^2$  kali

C.  $\frac{a}{b^2}$  kali

D.  $\frac{a}{b}$  kali

E.  $\frac{1}{ab}$  kali

### BALIKAN DAN TINDAK LANJUT

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 6 yang terdapat pada bagian belakang BBM ini. Hitunglah jumlah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus berikut ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi kegiatan belajar 1 pada BBM ini.

Rumus :

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

Klasifikasi tingkat penguasaan materi :

Rentang tingkat penguasaan	Kriteria
90 % - 100 %	Baik Sekali
80 % - 89 %	Baik
70 % - 79 %	Cukup
$\leq 69$ %	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**

### **TEORI PEMBENTUKAN TATA SURYA DAN PENGELOMPOKAN PLANET**

#### **PENGANTAR**

Setelah kita mendapatkan gambaran tentang model tata surya serta hukum-hukum fisika yang berlaku di dalamnya, mungkin di benak anda muncul pertanyaan, bagaimana alam semesta (tata surya) ini terjadi ? Terdapat beberapa teori yang mencoba menerangkan terbentuknya tata surya. Beberapa diantaranya yang cukup terkenal adalah Teori Kabut atau Teori Nebula, Teori Planetesimal, Teori Bintang Kembar, dan Teori Proto Planet. Dari fakta-fakta pengamatan yang menunjukkan bahwa Planet-Planet terletak hampir pada bidang datar di sekitar Matahari, maka pembentukan anggota tata surya dalam hal ini Planet-Planet diduga dari wujud yang sama dengan Matahari atau terbentuk dari Matahari.

Apa perbedaan dari teori-teori tersebut? Teori mana yang paling logis untuk diterima? Menurut teori Nebula, mula-mula di jagat raya ini ada sebuah Nebula yang baur dan hampir bulat. Nebula ini berotasi dengan lambat dan turbulen. Karena pergerakan rotasinya sangat lambat, maka Nebula ini kemudian menyusut. Menurut teori planetesimal, Matahari telah ada sebelum terbentuknya tata surya sebagai salah satu Bintang yang banyak terdapat di langit. Pada suatu saat, Matahari berpapasan pada jarak yang tidak terlalu jauh dengan sebuah Bintang lain. Karena adanya tarikan gravitasi Bintang tersebut, maka sebagian bahan pada Matahari (mirip lidah api raksasa) tertarik ke arah Bintang itu. Ketika Bintang yang berpapasan tersebut menjauh kembali, sebagian lidah api raksasa tersebut jatuh kembali ke matahari dan sebagian lagi terhambur menjadi gumpalan-gumpalan kecil atau Planetesimal. Sedangkan menurut teori bintang kembar, dulunya Matahari diprediksi merupakan Bintang kembar. Kemudian Bintang yang satu meledak menjadi kepingan-kepingan kecil, dan karena adanya pengaruh gravitasi dari Bintang yang satunya lagi, maka kepingan-kepingan tersebut bergerak mengitari Bintang tersebut dan menjadi Planet-Planet. Bintang yang satu lagi yang dikelilingi kepingan-kepingan sekarang bernama Matahari. Dan menurut teori prolo plasma yang saat ini lebih populer, tata surya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu sehingga teori ini dikenal juga sebagai teori

awan debu. Pemikiran ke arah itu didasari oleh fakta yang menunjukkan bahwa di jagat raya banyak ditemukan gumpalan awan seperti itu.

Planet-planet anggota tata surya memiliki karakteristik yang beragam, baik ukurannya, komposisi unsur penyusunnya, maupun posisi lintasan edar dan periode revolusinya. Berdasarkan posisi, ukuran dan komposisi unsur pembentuknya, planet-planet dibagi dalam beberapa kelompok, yaitu ; *Pertama*, Pengelompokan planet atas dasar planet Bumi sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokan ini, terdapat dua kelompok planet yaitu planet Inferior dan planet Superior. *Kedua*, Pengelompokan Planet atas dasar lintasan Asteroid sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokan ini, terdapat dua kelompok Planet yaitu kelompok planet Dalam (*inner Planets*) dan planet Luar (*outer Planets*). *Ketiga*, Pengelompokan planet atas dasar ukuran dan komposisi bahan penyusunnya. Atas dasar pengelompokan ini, terdapat dua kelompok planet yaitu kelompok *planet terrestrial* dan *planet Jovian*. *Planet terrestrial* adalah planet-planet yang ukuran dan komposisi bahan penyusunnya (batuan) mirip dengan planet Bumi. *Planet Jovian*, disebut juga Planet Raksasa adalah planet-planet yang ukurannya besar dan komposisi bahan penyusunnya mirip dengan planet Jupiter, yaitu terdiri dari sebagian besar es dan gas hidrogen

## **A. Teori Pembentukan Tata Surya**

Dari fakta-fakta yang menunjukkan bahwa Planet-Planet terletak hampir pada bidang datar di sekitar Matahari, maka pembentukan anggota tata surya dalam hal ini Planet-Planet diduga dari wujud yang sama dengan Matahari atau terbentuk dari Matahari. Terdapat beberapa teori yang mencoba menerangkan terbentuknya tata surya. Beberapa diantaranya yang cukup terkenal adalah Teori Kabut atau Teori Nebula, Teori Planetesimal, Teori Bintang Kembar, dan Teori Proto Planet.

### **1. Teori Nebula atau Teori Kabut**

Bagaimana tata surya terbentuk menurut teori Nebula? Nebula adalah kabut yang terdiri dari gas (terutama gas helium dan hidrogen) dan partikel-

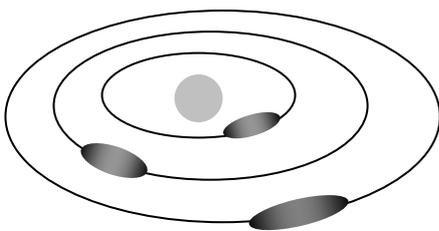
partikel angkasa lainnya. Pada tahun 1755 seorang filosof Jerman bernama Immanuel Kant mengajukan teori kabut ini. Pada tahun 1796, seorang ahli matematika terkenal dari Prancis yang bernama Simon de Laplace mengusulkan teori kabut yang hampir sama. Oleh karena itu, teori kabut dikenal juga dengan teori Kant-Laplace (Kanginan, 1999).



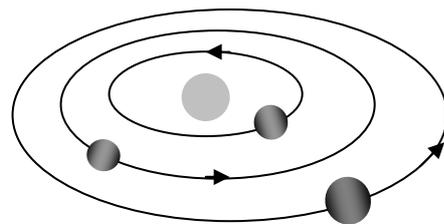
a



b



c



d

Gambar 6.5. Skema proses pembentukan tata surya menurut teori Nebula

(<http://en.wikipedia.org>)

Menurut teori ini, mula-mula di jagat raya ini ada sebuah Nebula yang baur dan hampir bulat. Nebula ini berotasi dengan lambat dan turbulen (Gambar 6.5.a). Karena pergerakan rotasinya sangat lambat, maka Nebula mulai

menyusut. Sebagai hasil penyusutan dan rotasinya, terbentuklah sebuah cakram Nebula yang ditengah-tengahnya datar (Gambar 6.5b). Proses penyusutan tersebut terus berlanjut dan akhirnya Matahari terbentuk di pusat cakram. Cakram berputar makin lama makin cepat, sehingga bagian-bagian tepi cakram terlepas membentuk gelang-gelang bahan (Gambar 6.5c). Selanjutnya bahan dalam gelang-gelang memadat menjadi planet-planet yang berevolusi dalam orbit hampir melingkar mengitari Matahari (Gambar 6.5d).

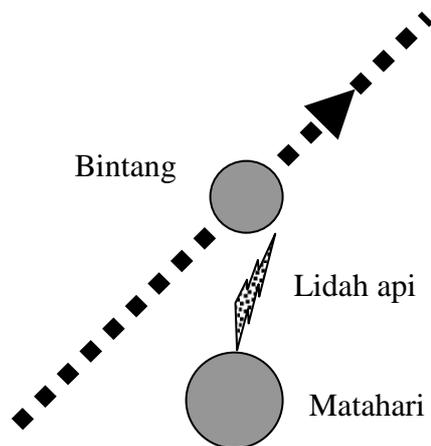
Teori Nebula dipandang sukses dalam menjelaskan tata surya datar, yaitu bidang orbit Planet-Planet mengitari Matahari hampir merupakan bidang datar. Teori ini juga dipandang sukses dalam menjelaskan mengapa planet-planet berevolusi dalam arah yang seragam.

Ide untuk menjelaskan bidang tata surya hampir datar didasarkan pada hukum kekekalan momentum sudut. Contoh terkenal untuk memahami hal ini adalah gerak rotasi seorang pemain sepatu es (sepatu luncur). Pemain es mula-mula berotasi dengan merentangkan kedua lengannya, jika ketika sedang berotasi kemudian pemain tersebut menarik kedua lengannya hingga terlipat, maka laju rotasinya akan bertambah, karena momentum sudutnya tetap. Mirip dengan peristiwa itu, ketika sebuah Nebula yang sedang berotasi perlahan-lahan ukurannya menyusut, maka Nebula tersebut akan berotasi dengan kelajuan yang lebih cepat dan akan runtuh ke bawah sepanjang poros putarnya dan membentuk suatu bidang cakram datar, yang sering disebut tata surya datar. Seberapa lama teori dapat bertahan dan menjadi pegangan orang-orang?

Seratus tahun kemudian, ahli Fisika terkenal berkebangsaan Inggris, James Clerk Maxwell dan Sir James Jeans melakukan sanggahan terhadap teori ini dengan cara menunjukkan bahwa massa bahan dalam gelang-gelang tidak cukup untuk menghasilkan tarikan gravitasi sehingga memadat menjadi planet-planet. Sanggahan lain terhadap teori Nebula juga datang dari astronom F. R. Moulton dari Chicago pada penghujung abad 19. Ia menyatakan bahwa teori ini bertentangan dengan kaidah fisika, yaitu yang seharusnya memiliki momentum sudut paling besar adalah planet-planet, dan bukannya Matahari. Menurut teori Nebula, Matahari memiliki momentum sudut paling besar karena memiliki massa paling besar.

## 2. Teori Planetesimal

Bagaimana terbentuknya tata surya menurut teori Planetesimal? Teori ini diajukan oleh ahli geologi berkebangsaan Amerika yang bernama T. C. Chamberlein bersama rekannya ahli astromi yang bernama Moulton pada awal abad ke 20. Planetesimal dapat diartikan sebagai planet kecil. Menurut teori ini, Matahari telah ada sebelum terbentuknya tata surya sebagai salah satu Bintang yang banyak terdapat di langit. Pada suatu saat, Matahari berpapasan pada jarak yang tidak terlalu jauh dengan sebuah Bintang lain. Karena adanya tarikan gravitasi Bintang tersebut, maka sebagian bahan pada Matahari (mirip lidah api raksasa) tertarik ke arah Bintang itu. Ketika Bintang yang berpapasan tersebut menjauh kembali, sebagian lidah api raksasa tersebut jatuh kembali ke matahari dan sebagian lagi terhambur menjadi gumpalan-gumpalan kecil atau Planetesimal. Planetesimal-Planetesimal tersebut kemudian melayang-layang di angkasa sebagai benda-benda dingin dalam orbit mengitari Matahari. Akibat adanya tumbukkan dan tarikan gravitasi, Planetesimal yang lebih besar menyapu yang lebih kecil bergabung membentuk planet-planet (Kanginan, 1999).



Gambar 6.6. Matahari berpapasan dengan Bintang lain, sebagian materi matahari tertarik oleh gravitasi bintang

Tetapi kemudian sanggahan terhadap teori ini datang dari beberapa ahli astronomi. Menurut para astronom, kebanyakan bahan-bahan yang dihamburkan dari Matahari berasal dari bagian dalam Matahari yang bersuhu sangat tinggi yaitu

dapat mencapai  $1.000.000^{\circ}\text{C}$ . Karena suhu yang sangat tinggi ini, maka gas-gas yang dihamburkan dari Matahari akan terpecah ke seluruh ruang angkasa akibat ledakan hebat, dan bukannya memadat menjadi planet-planet seperti yang dinyatakan oleh teori Planetesimal.

### **3. Teori Bintang Kembar**

Bagaimana terbentuknya tata surya menurut teori ini? Teori Bintang kembar hampir sama dengan teori Planetesimal. Teori ini diusulkan pada tahun 1930-an. Dulunya Matahari diprediksi merupakan Bintang kembar. Kemudian Bintang yang satu meledak menjadi kepingan-kepingan kecil, dan karena adanya pengaruh gravitasi dari Bintang yang satunya lagi, maka kepingan-kepingan tersebut bergerak mengitari Bintang tersebut dan menjadi planet-planet. Bintang yang satu lagi yang dikelilingi kepingan-kepingan sekarang bernama Matahari (Kanginan, 1999).

### **4. Teori Proto Planet**

Teori Proto Planet merupakan teori yang populer saat ini. Bagaimana terbentuknya tata surya menurut teori ini? Proto adalah kata pada bahasa Yunani yang berarti primitif. Teori ini pada awalnya dikemukakan oleh seorang astronom Jerman yang bernama Carl Von Weizsäcker pada tahun 1940, yang kemudian disempurnakan lagi oleh astronom lain, yaitu Gerard P. Kuiper pada tahun 1950, Subrahmanyan Chandrasekhar, dan lain-lain (Kanginan, 1999).

Pada dasarnya teori ini menyatakan bahwa tata surya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu sehingga teori ini dikenal juga sebagai teori awan debu. Dasar pemikiran ke arah itu adalah adanya fakta yang menunjukkan bahwa di jagat raya banyak ditemukan gumpalan awan seperti itu. Lebih dari lima milyar tahun yang lalu, salah satu gumpalan awan itu mengalami pemampatan. Pada proses pemampatan tersebut, partikel-partikel debu tertarik ke dalam menuju pusat awan membentuk gumpalan bola dan mulai berotasi. Seperti pada ilustrasi pemain sepatu es, begitu partikel-partikel debu yang berada di pinggir tertarik ke dalam, maka laju rotasi gumpalan awan harus bertambah agar momentum sudut gumpalan bernilai tetap. Karena rotasinya yang makin cepat, maka gumpalan

tersebut akan mulai memipih (mendatar) menyerupai bentuk cakram, yaitu tebal di bagian tengah dan tipis di bagian tepi. Hukum ketiga Kepler menyatakan bahwa di bagian tengah harus berotasi lebih cepat dari pada di bagian pinggir. Akibatnya partikel-partikel yang berada di bagian tengah akan saling menekan dan menimbulkan panas dan berpijar. Bagian tengah yang berpijar ini disebut Proto Sun (Bakal Matahari), yang pada akhirnya menjadi Matahari.

Bagian tepi atau bagian yang lebih luar berotasi sangat cepat, sehingga terpecah-pecah menjadi banyak gumpalan gas dan debu yang lebih kecil. Gumpalan kecil ini disebut Proto Plasma juga berotasi, dan akhirnya memadat menjadi planet-Planet dan Satelit-Satelitnya.

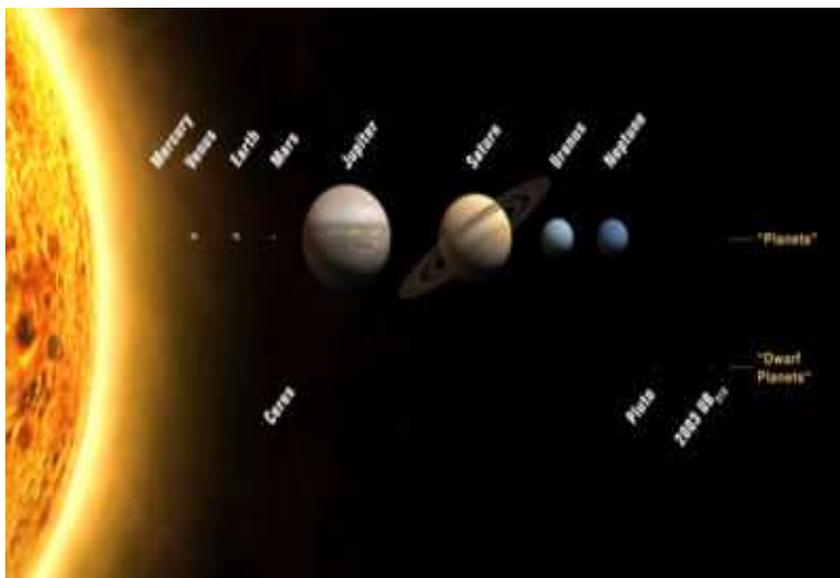


Gambar 6.7. Proto planet dan proto Sun (<http://en.wikipedia.org>)

## B. Pengelompokkan Planet

Berapa buah planet yang menjadi anggota tatasurya kita? Hingga saat ini telah ditemukan sembilan buah planet sebagai anggota tata surya, yaitu Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, dan Pluto. Untuk planet yang terakhir yaitu Pluto masih menjadi bahan perdebatan apakah tergolong Planet atau bukan. Beberapa ahli astronomi mempercayai bahwa Pluto merupakan sebuah satelit Neptunus yang terlepas. Sampai pada abad ke 17 baru

dikenal 6 Planet, yaitu Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, dan Saturnus. Uranus baru ditemukan sekitar tahun 1781, Neptunus pada tahun 1846, dan Pluto pada tahun 1930 (Tjasyono, 2003).



Gambar 6.8. Bentuk tampilan Matahari dan Planet-Planet (<http://en.wikipedia.org>)

Apakah planet-planet memancarkan cahaya sendiri? Matahari memancarkan sinar karena memiliki sumber cahaya sendiri. Oleh karena itu Matahari tergolong Bintang. Planet-planet tidak memiliki sumber cahaya sendiri. Planet-planet bersinar karena planet-planet memantulkan cahaya Matahari yang diterimanya.

Planet Merkurius, Venus, Mars, Jupiter dan Saturnus dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa bantuan teleskop. Karena itu kelima Planet ini telah dipelajari oleh para astronom selama ribuan tahun. Tiga Planet lainnya ditemukan setelah penemuan teleskop. Uranus ditemukan oleh Hershel pada malam hari tanggal 13 Maret 1781. Neptunus ditemukan berdasarkan perhitungan John Couch Adams dan Le Verrier, dan teramati pertama kali di langit pada tanggal 23 September 1846 oleh Johann G. Galle, asisten kepala observatorium Berlin. Pluto ditemukan berdasarkan perhitungan ahli matematika yang bernama Percival

Lowell, dan teramati pertama kali di langit oleh Clyde W. Tombaugh pada tanggal 13 Maret 1930. Percival Lowell dan Clyde W. Tombaugh bekerja pada observatorium Lowell, Arizona, Amerika Serikat (Kanginan, 1999).

Antara orbit planet Mars dan planet Jupiter terdapat sabuk (belt) Asteroid, yaitu kumpulan ribuan planet-planet kecil dan pecahan-pecahan yang asal usulnya hingga kini masih menjadi bahan perdebatan para ahli astronomi. Asteroid Ceres ditemukan pertama kali pada sekitar tahun 1801 oleh seorang astronom Italia bernama Piazzi. Benda tersebut hanya memiliki diameter sekitar 750 km, sehingga terlalu kecil untuk disebut Planet. Dari pengamatan selanjutnya menunjukkan bahwa ternyata Asteroid ini merupakan keluarga besar yang jumlahnya 100.000 buah.

Bagaimana planet-planet dapat dikelompokkan ? Terdapat tiga cara untuk pengelompokkan planet-planet, yaitu : (Kanginan, 1999)

*Pertama*, pengelompokkan planet atas dasar planet Bumi sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok planet yaitu planet Inferior dan planet Superior. Planet Inferior adalah planet-planet yang orbitnya terletak di dalam orbit planet Bumi. Anggota kelompok planet Inferior terdiri atas dua planet yaitu Merkurius dan Venus. Planet Superior adalah planet-planet yang orbitnya terletak di luar orbit planet Bumi. Yang termasuk kelompok planet Superior adalah planet Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus dan Pluto.

*Kedua*, Pengelompokkan planet atas dasar lintasan Asteroid sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok planet yaitu kelompok planet Dalam (*inner Planets*) dan planet Luar (*outer Planets*). Planet Dalam adalah planet-planet yang orbitnya terletak di sebelah dalam lintasan Asteroid. Anggota kelompok planet ini terdiri dari planet Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars. Planet Luar adalah planet-planet yang orbitnya di sebelah luar lintasan Asteroid. Yang tergolong planet ini adalah planet Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus dan Pluto.

*Ketiga*, Pengelompokkan planet atas dasar ukuran dan komposisi bahan penyusunnya. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok Planet yaitu kelompok *planet Terrestrial* dan *planet Jovian*. *Planet Terrestrial* adalah

planet-planet yang ukuran dan komposisi bahan penyusunnya (batuan) mirip dengan planet Bumi. Yang termasuk kelompok planet ini adalah Merkurius, Venus, dan Mars. Kelompok Planet ini kadang-kadang disebut juga kelompok planet Kerdil, karena memang ukuran diameternya relatif jauh lebih kecil dibanding dengan diameter planet Jupiter. Ciri-ciri utama dari planet Kerdil ini adalah diameternya kecil, padat, dan kerapatan massanya tinggi, yaitu antara 4,2 hingga 5,5 gram/cm<sup>3</sup>. Planet kebumihan disusun terutama (90 %) dari unsur-unsur Besi, Oksigen, Silikon, dan Magnesium. Planet ini juga biasanya memiliki angkasa yang tidak terlalu tebal, bahkan Merkurius tidak diselubungi angkasa. *Planet Jovian*, disebut juga planet Raksasa adalah planet-planet yang ukurannya besar dan komposisi bahan penyusunnya mirip dengan planet Jupiter, yaitu terdiri dari sebagian besar es dan gas hidrogen. Yang tergolong planet ini adalah Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus. Ciri-ciri utama dari planet Raksasa ini adalah diameternya besar, kurang padat, dan kerapatan massanya sangat rendah. Sebagai contoh, Saturnus memiliki rapat massa antara 0,7 hingga 1,6 gram/cm<sup>3</sup>. Angkasa planet Raksasa biasanya sangat tebal dan terdiri atas senyawa yang mengandung hidrogen.

planet Pluto tidak mirip dengan Planet Bumi maupun dengan Planet Jupiter, dan banyak astronom telah mengusulkan agar Pluto dikelompokkan sebagai sebuah Asteroid (Planet kecil).

## LATIHAN

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

1. Coba anda kelompokkan teori-teori mana yang menerangkan bahwa Matahari terbentuk bersamaan dengan terbentuknya anggota tata surya lain dan teori-teori mana yang menerangkan bahwa Planet-Planet terbentuk dari serpihan material Matahari atau material Bintang !
2. Bubuhkan tanda ceklist (√) pada kolom kelompok Planet yang anda anggap tepat untuk setiap Planet !

Nama Planet	Planet Inferior	Planet Superior	Planet Dalam	Planet Luar	Planet Terrestrial	Planet Jovian
Merkurius						
Venus						
Bumi						
Mars						
Jupiter						
Saturnus						
Uranus						
Neptunus						
Pluto						

### Rambu-Rambu Jawaban

1. Untuk menjawab soal nomor 1, anda harus mengacu pada teori-teori tentang asal-usul tata surya, yaitu teori Nebula, teori Planetesimal, teori Bintang kembar, dan teori Proto Planet.
2. Untuk dapat menjawab soal latihan nomor 2, anda harus melihat tiga jenis pengelompokan planet, yaitu pengelompokan Planet berdasarkan Bumi sebagai batas, asteroid sebagai batas serta ukuran dan unsur pembentuk

Planet. Berdasarkan cara-cara pengelompokkan seperti itu maka setiap planet dapat dikelompokkan seperti pada tabel berikut ini :

Nama Planet	Planet Inferior	Planet Superior	Planet Dalam	Planet Luar	Planet Terrestrial	Planet Jovian
Merkurius	√		√		√	
Venus	√		√		√	
Bumi			√		√	
Mars		√	√		√	
Jupiter		√		√		√
Saturnus		√		√		√
Uranus		√		√		√
Neptunus		√		√		√
Pluto		√		√	-	-

## RANGKUMAN

Terdapat beberapa teori yang mencoba menjelaskan asal-usul terbentuknya tata surya. Beberapa diantaranya yang cukup terkenal adalah Teori Kabut atau Teori Nebula, Teori Planetesimal, Teori Bintang Kembar, dan Teori Proto Planet. Menurut teori Nebula tata surya terbentuk dari Bebula atau kabut yang terdiri dari gas (terutama gas helium dan hidrogen) dan partikel-partikel angkasa lainnya yang memadat akibat berotasi dengan cepat, sedangkan menurut teori planetesimal, Matahari adalah sebuah bintang sedangkan planet-planet dan benda-benda antar planet lainnya berasal dari material matahari yang tertarik dan terpecah akibat gravitasi bintang lain. Sementara menurut teori Bintang kembar, Matahari adalah satu dari Bintang kembar dan Planet-Planet serta benda-benda antar Planet lainnya bersumber dari serpihan Bintang yang satu lagi yang meledak. Dan menurut teori Proto Planet, Tata surya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu yang memadat sehingga teori ini dikenal juga sebagai teori awan debu.

Dari proses pembentukan tata surya tersebut, hingga saat ini telah ditemukan sembilan buah Planet sebagai anggota tata surya, yaitu Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, dan Pluto. Planet Merkurius, Venus, Mars, Jupiter dan Saturnus dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa bantuan teleskop. Antara orbit Planet Mars dan Planet Jupiter terdapat sabuk (belt) Asteroid, yaitu kumpulan ribuan Planet-Planet kecil.

Terdapat tiga bentuk pengelompokkan Planet-Planet, yaitu : *Pertama*, Pengelompokkan Planet atas dasar Planet Bumi sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok Planet yaitu Planet Inferior dan Planet Superior; *Kedua*, Pengelompokkan Planet atas dasar lintasan Asteroid sebagai pembatas. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok Planet yaitu kelompok Planet dalam (*inner Planets*) dan Planet luar (*outer Planets*); dan *Ketiga*, Pengelompokkan Planet atas dasar ukuran dan komposisi bahan penyusunnya. Atas dasar pengelompokkan ini, terdapat dua kelompok Planet yaitu kelompok *Planet terrestrial* dan *Planet Jovian*.

Ciri-ciri utama dari Planet terrestrial atau planet kerdil adalah diameternya kecil, padat, dan kerapatan massanya tinggi, yaitu antara 4,2 hingga 5,5 gram/cm<sup>3</sup>.

Planet kebumihan disusun terutama (90 %) dari unsur-unsur Besi, Oksigen, Silikon, dan Magnesium. Planet ini juga biasanya memiliki angkasa yang tidak terlalu tebal, bahkan Merkurius tidak diselubungi angkasa. Sedangkan Ciri-ciri utama dari Planet Jovian atau planet raksasa adalah diameternya besar, kurang padat, dan kerapatan massanya sangat rendah. Sebagai contoh, Saturnus memiliki rapat massa antara 0,7 hingga 1,6 gram/cm<sup>3</sup>. Angkasa Planet raksasa biasanya sangat tebal dan terdiri atas senyawa yang mengandung hidrogen. Planet Pluto tidak mirip dengan Planet Bumi maupun dengan Planet Jupiter, dan banyak astronom telah mengusulkan agar Pluto dikelompokkan sebagai sebuah Asteroid (Planet kecil).

## TES FORMATIF 2

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

1. Teori yang tidak menjelaskan tentang asal-usul pembentukan Tata Surya adalah .....
  - A. Teori Nebula
  - B. Teori Planetesimal
  - C. Teori Bintang Kembar
  - D. Teori Big Bang
  - E. Teori Protoplanet
2. Ketika Nebula (kabut) yang sedang berotasi ukurannya menyusut, maka kecepatan rotasi Nebula akan .....
  - A. tetap
  - B. berkurang
  - C. bertambah besar
  - D. mula-mula berkurang kemudian bertambah besar
  - E. Mula-mula membesar kemudian berkurang
3. Teori asal-usul tata surya yang populer pada saat ini yang menganggap bahwa tata surya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu adalah .....
  - A. Teori Nebula
  - B. Teori Big Bang
  - C. Teori Bintang Kembar
  - D. Teori Protoplanet
  - E. Teori Planetesimal
4. Matahari yang massanya paling besar memiliki momentum sudut paling besar, padahal seharusnya planet-planet lah yang memiliki momentum sudut paling besar. Ini adalah sanggahan terhadap teori .....
  - A. Teori Planetesimal
  - B. Teori Nebula
  - C. Teori Protoplanet
  - D. Teori Bintang Kembar

E. Teori Big Bang

5. Karena suhu pada bagian dalam Matahari sangat tinggi, maka gas-gas yang dihamburkan oleh Matahari akan terpecah ke seluruh angkasa dengan ledakan hebat dan bukan memadat menjadi Planet-Planet. Ini adalah sanggahan terhadap teori .....

  - A. Teori Planetesimal
  - B. Teori Nebula
  - C. Teori Protoplanet
  - D. Teori Bintang Kembar
  - E. Teori Big Bang

6. Planet-Planet tampak bersinar karena .....

  - A. Memancarkan cahaya
  - B. Menyerap cahaya
  - C. Memantulkan cahaya Matahari
  - D. Memantulkan cahaya Bulan
  - E. Memantulkan cahaya Bintang

7. Adanya kelompok planet dalam dan kelompok planet luar adalah karena adanya pengelompokan planet berdasarkan .....

  - A. Bumi sebagai pembatas
  - B. Jarak terhadap Matahari
  - C. Ukuran Planet
  - D. komposisi bahan penyusun Planet
  - E. Asteroid sebagai pembatas

8. Berikut ini yang tergolong Planet inferior adalah .....

  - A. Planet Venus
  - B. Planet Mars
  - C. Planet Bumi
  - D. Planet Jupiter
  - E. Planet Pluto

9. Berikut ini yang tergolong sebagai Planet Superior juga sebagai Planet Jovian adalah .....

  - A. Planet Venus

- B. Planet Mars
  - C. Planet Bumi
  - D. Planet Jupiter
  - E. Planet Pluto
10. Berikut ini yang tidak tergolong sebagai Planet Terrestrial maupun Planet Jovian adalah .....
- A. Planet Merkurius
  - B. Planet Mars
  - C. Planet Uranus
  - D. Planet Neptunus
  - E. Planet Pluto
11. Berikut ini adalah ciri-ciri Planet Jovian, kecuali .....
- A. Ukuran volumenya sangat besar
  - B. Rapat massanya sangat tinggi
  - C. Unsur pembentuknya mirip dengan Matahari
  - D. memiliki angkasa yang sangat tebal
  - E. Kurang padat
12. Berikut adalah unsur-unsur utama pembentuk planet terrestrial, kecuali .....
- A. Besi
  - B. Silikon
  - C. Hidrogen
  - D. Oksigen
  - E. Magnesium

### **BALIKAN DAN TINDAK LANJUT**

Cocokkan hasil jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif 6.2 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, Bagus ! Tetapi apabila tingkat penguasaan materi anda masih di bawah 80 %, anda harus mengulang kembali kegiatan belajar 2, terutama pada bagian yang belum anda kuasai, sebelum anda mempelajari BBM berikutnya.

## KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

### Kunci Jawaban Tes Formatif 1

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

### Alasan :

1. Matahari sebagai pusat tata surya (model heliosentris) dikemukakan oleh Copernicus, sedangkan lintasan edar revolusi planet-planet berbentuk elips ditemukan oleh Kepler.
2. Menurut Copernicus lintasan orbit planet-planet mengitari Matahari berbentuk lingkaran, padahal yang sebenarnya adalah berbentuk elips.
3. Tanda untuk planet Mars adalah 12, sehingga menurut hukum Titius Bode jarak Mars dengan Matahari adalah  $(12 + 4) : 10 = 1,6 SA$
4. Adanya siang dan malam bukan akibat revolusi Bumi mengelilingi Matahari melainkan akibat gerak rotasi Bumi.
5. Posisi perihelium adalah posisi terdekat suatu planet ke Matahari dalam lintasan edar yang berbentuk elips, jadi jelas pada posisi 5.
6. Menurut hukum gravitasi Newton antara Matahari dengan planet-planet terjadi gaya tarik-menarik (interaksi massa) dengan gaya tarik menarik yang sama besar. Sehingga gaya Matahari menarik Venus akan sama dengan Gaya Venus menarik Matahari.

7. Gerak retrogresi adalah gerak rotasi planet yang searah dengan arah putar jarum jam. Ada dua planet yang geraknya seperti ini yaitu Venus dan Uranus. Planet-planet lainnya berotasi dalam arah berlawanan dengan arah putar jarum jam.
8.  $\frac{dS}{dt} = C$ , merupakan ungkapan hukum kedua Kepler
9. Persamaan untuk momentum sudut  $L = p.r$ , karena  $L$  tetap maka jika  $r$  mengecil maka  $p$  membesar, dan karena  $p = m.v$ , maka jika  $p$  membesar maka  $v$  juga membesar karena  $m$  tetap.
10. Hukum ketiga Kepler  $\frac{T^2}{R^3} = C$ , jadi waktu ( $T$ ) yang dibutuhkan suatu planet untuk mengitari Matahari bergantung pada  $R$  yaitu jarak planet ke Matahari.
11. Menurut hukum ketiga Kepler  $\frac{T_B^2}{R_B^3} = \frac{T_P^2}{R_P^2}$  maka  $\frac{1^2}{R_B^3} = \frac{T_P^2}{(2R_B)^3}$  atau  $\frac{T_P^2}{1} = \frac{8R_B^3}{R_B^3}$ ,  
sehingga  $T_P = \sqrt{8} = 2,8 \text{ tahun}$
12. Berat di planet Bumi,  $F_B = G \frac{Mm_B}{r_B^2}$  dan berat di planet M,  $F_M = G \frac{Mm_M}{r_M^2}$   
 $F_M = G \frac{M(am_B)}{(br_B)^2} = \frac{a}{b^2} G \frac{Mm_B}{r_B^2}$ , sehingga berat benda di planet M dibanding  
di planet Bumi adalah  $\frac{a}{b^2}$  kali

### Kunci Jawaban Tes Formatif 2

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

9. D
10. E
11. B
12. C

**Alasan :**

1. Teori yang membahas tentang pembentukan planet meliputi teori Nebula, teori Planetesimal, teori Bintang kembar, dan teori Protoplanet, sedangkan Teori Big Bang bukan teori pembentukan planet.
2.  $L$  konstan,  $L = p.r = mvr$ , jadi jika  $r$  mengecil maka  $v$  membesar
3. Teori yang menganggap bahwa tatasurya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu adalah teori Protoplanet.
4. Menurut teori Nebula Matahari memiliki momentum sudut paling besar karena memiliki massa paling besar dibanding massa planet-planet, padahal seharusnya yang memiliki momentum sudut paling besar adalah planet-planet karena memiliki kecepatan linier paling besar karena berada di tepi cakram.
5. Menurut teori planetesimal Matahari telah ada sebelum planet-planet ada. Matahari merupakan salah satu bintang dari sekian banyak bintang di langit. Ketika Matahari berpapasan dengan salah satu bintang sebagian bahan Matahari tertarik ke arah bintang itu akibat gaya tarik bintang. Material yang tertarik itu berupa lidah api raksasa. Ketika bintang itu menjauh kembali Material itu jatuh lagi ke Matahari dan sebagian lagi terhambur menjadi gumpalan-gumpalan kecil.
6. planet tidak memancarkan cahaya sendiri, planet tampak bersinar karena memantulkan cahaya matahari yang jatuh kepadanya.
7. Kelompok planet dalam dan planet luar adalah pengelompokkan planet berdasarkan Asteroid sebagai pembatas
8. Planet inferior adalah kelompok planet yang orbit revolusinya berada di dalam orbit revolusi Bumi, termasuk di dalamnya adalah planet Merkurius dan Venus.
9. Planet Superior adalah kelompok planet yang orbit revolusinya berada di luar orbit revolusi Bumi, termasuk di dalamnya adalah planet Mars, Jupiter,

Saturnus, Uranus, Neptunus dan Pluto. Planet Jovian adalah golongan planet raksasa yang bahan penyusunnya mirip planet Jupiter yaitu berupa es dan gas hidrogen, tercakup di dalamnya planet Jupiter, Saturnus, Uranus dan Neptunus.

10. Planet terrestrial adalah golongan planet yang bahan penyusunnya mirip planet Bumi, termasuk di dalamnya planet Merkurius, Venus dan Mars. Planet Jovian adalah golongan planet raksasa yang bahan penyusunnya mirip planet Jupiter yaitu berupa es dan gas hidrogen, tercakup di dalamnya planet Jupiter, Saturnus, Uranus dan Neptunus.
11. Planet jovian, ukurannya besar, unsur pembentuknya berupa gas mirip pembentuk Matahari, memiliki angkasa yang tebal, dan kerapannya kecil.
12. Unsur pembentuk planet terrestrial adalah 90 % dari unsur besi, oksigen, silikon, dan magnesium

## **DAFTAR PUSTAKA**

Tjasyono, B., 2003, Geosains, ITB

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

Kanginan, M., 1999, Fisika SMU kelas 2, Erlangga, Jakarta

<http://en.wikipedia.org>

## GLOSARIUM

**Aphelium** : Titik pada lintasan orbit Planet yang menandai posisi paling jauh Planet ke Matahari

**Direct** atau **Gerak Langsung** : Arah putar berlawanan dengan arah putar jarum jam

**Ekliptika** : Bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari

**Eksentrisitas** : Perbandingan antara jarak dua fokus dengan diameter panjang elips

**Gaya gravitasi** : gaya tarik menarik antara dua benda bermassa sebanding dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut

**Geosentris** : Model tatasurya yang dikembangkan oleh Claudius Ptolemaeus, dimana Bumi sebagai pusat dan matahari serta planet-planet bergerak mengelilingi Bumi

**Heliosentris** : Model tatasurya yang dikembangkan oleh Nicolaus Copernicus, dimana Matahari sebagai pusat, dan planet-planet serta benda-benda lainnya bergerak mengelilingi matahari.

**Periode Revolusi** : Waktu yang diperlukan oleh sebuah Planet untuk beredar satu kali mengitari Matahari

**Periode Rotasi** : Waktu yang diperlukan oleh suatu Planet untuk berputar satu kali mengitari porosnya

**Perihelium** : Titik pada lintasan orbit Planet yang menandai posisi paling dekat Planet ke Matahari

**Retroge** atau **Gerak Balik** : Arah putar searah dengan arah putaran jarum jam

**Revolusi** : Gerak seluruh Planet mengitari Matahari dalam arah berlawanan dengan arah putar jarum jam

**Rotasi** : Gerak Planet berputar mengitari porosnya (sumbu putarnya) dengan arah berlawanan dengan arah putar jarum jam, kecuali untuk planet Venus dan Uranus

**Satuan astronomi** : Jarak rata-rata Bumi dari Matahari dalam keseluruhan orbitnya yaitu sekitar 93,0 juta mil (150 juta km)

**Tata Surya** : Sistem dengan Matahari sebagai pusat yang dikitari oleh Planet-Planet dan benda-benda antar planet lain

**Planet Inferior** : Planet-Planet yang orbitnya terletak di dalam orbit Planet Bumi

**Planet superior** : Planet-Planet yang orbitnya terletak di luar orbit Planet Bumi

**Planet dalam** : Planet-Planet yang orbitnya terletak di sebelah dalam lintasan Asteroid

**Planet luar** : Planet-Planet yang orbitnya di sebelah luar lintasan Asteroid

**Planet terrestrial** : Planet-Planet yang ukuran dan komposisi bahan penyusunnya (batuan) mirip dengan Planet Bumi.

**Planet Jovian** : Disebut juga Planet Raksasa adalah Planet-Planet yang ukurannya besar dan komposisi bahan penyusunnya mirip dengan Planet Jupiter, yaitu terdiri dari sebagian besar es dan gas hidrogen