

# Tata Surya

**Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa**

International Astronomical Union, Instituto Astronómico de la Academia Rumana (Rumania), Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas y UTN, (Argentina), Universidad de la República, (Uruguay)

## Intisari

Dalam alam semesta dimana sistem bintang, Tata Surya, planet, dan eksoplanet yang terikat di dalamnya, tanpa diragukan lagi, Tata Surya merupakan sistem yang paling kita ketahui. Siapa yang tidak mengetahui apa itu Matahari, planet, komet, dan asteroid. Tapi apakah pengetahuan yang diperoleh benar adanya? Untuk mengetahui jenis objek tersebut berdasarkan sudut pandang ilmiah, maka perlu ditinjau pula aturan atau pola yang bekerja pada sistem tersebut.

Berdasarkan pertemuan yang diadakan oleh Persatuan Astronomi Internasional pada tanggal 24 Agustus 2016 (the resolution of the International Astronomical Union of 24 August 2016), menyepakati bahwa objek yang berada pada Tata Surya adalah:

- planet
- satelit alami planet
- planet kerdil
- objek kecil lain: asteroid, meteoroid, komet, debu, objek sabuk Kuiper, dll

Dengan pemahaman yang sama, jika terdapat bintang lain yang dikelilingi oleh objek terestrial berdasarkan hukum fisika layaknya sistem pada Tata Surya, maka sistem tersebut dinamakan sebagai sistem planet luar atau eksoplanet. Salah satu pertanyaan mendasar yang ingin diketahui adalah Bagaimanakah posisi Tata Surya di alam semesta? Sedangkan Tata Surya bukan satu-satunya sistem planet di alam semesta. Pada bab ini, kita akan mencoba untuk menjelaskan karakteristik penting dari sistem Tata Surya dan sistem eksoplanet lainnya.

## Tujuan

- Menentukan posisi Matahari di alam semesta,
- Menentukan objek yang membentuk Tata Surya,
- Mengetahui secara detail karakteristik berbagai objek yang berada pada Tata Surya, terutama karakteristik khusus yang dimiliki

## Tata Surya

Sistem berdasarkan KBBI merupakan susunan yang teratur dari pandangan, teori, asas, dan sebagainya. Sedangkan berdasarkan terminologinya, sistem merupakan kesatuan yang terdiri dari berbagai komponen (asas, hukum, gaya, dll) yang berhubungan satu sama lain dan bersesuaian dengan sejumlah hukum atau aturan tertentu.

Untuk mendeskripsikan Tata Surya, maka harus ditentukannya semua elemen (dalam hal ini objek) dalam kesatuan sistem, sehingga pengertian Tata Surya: Matahari dan semua objek yang bergerak di sekitarnya, dan terkoneksi oleh gaya gravitasi.



Fig. 1 Sistem Tata Surya berdasarkan ukuran dari objek utamanya

Tata Surya terletak pada lengan terluar dari galaksi kita, yaitu Galaksi Bima Sakti. Lengan tersebut dinamakan Lengan Orion. Lengan ini berada pada daerah dengan kerapatan yang relatif rendah.

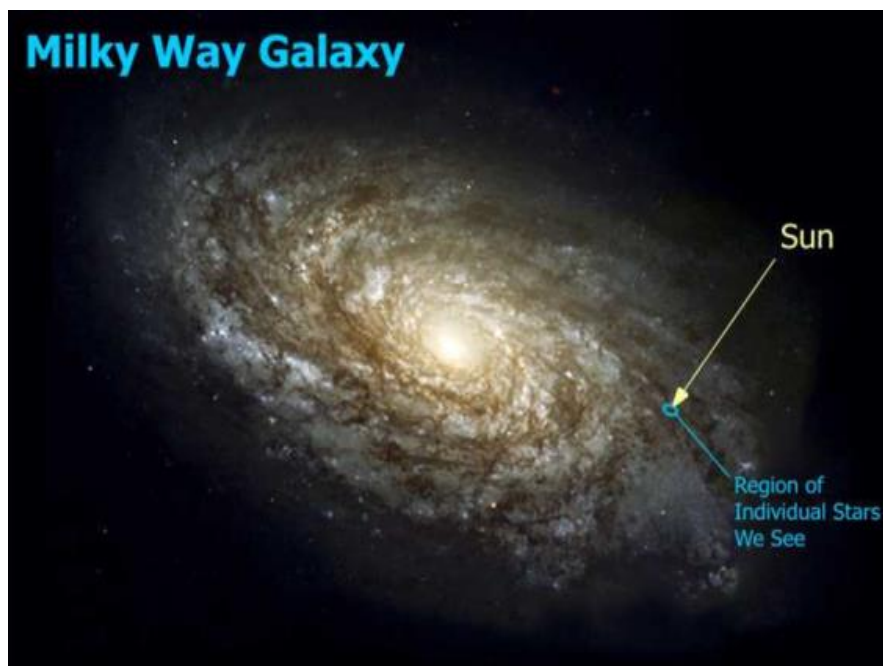


Fig. 2: Posisi Tata Surya pada Galaksi Bima Sakti (simulasi)

Matahari beserta seluruh objek pada Tata Surya mengorbit pusat Galaksi dengan radius antara 25,000 – 28,000 tahun cahaya (diperkirakan kurang lebih setengah dari radius galaksi) dan periode orbital antara 225 – 250 juta tahun (dalam satuan tahun galaksi Tata Surya). Tata Surya mengelilingi pusat Galaksi Bima Sakti dalam orbit yang hampir lingkaran dengan kecepatan 220 km/s, dengan arah gerak berorientasi menuju posisi bintang Vega.

Galaksi Bima Sakti terdiri dari 200 miliar bintang, bersamaan dengan planet masing-masing sistem bintang, dan lebih dari 1000 nebula. Total massa dari Galaksi Bima Sakti beserta seluruh objeknya berkisar 1000 miliar kali lebih besar dari massa Matahari, dan diameternya diperkirakan sekitar 100,000 tahun cahaya.

Sistem bintang yang paling dekat dengan Tata Surya adalah sistem Alpha Centauri (Bintang paling terang di rasi bintang Centaurus). Sistem tersebut terbentuk dari 3 bintang. Dua bintang diantaranya adalah bintang ganda (Alpha Centauri A dan B), yang sangat mirip dengan Matahari, dan berevolusi dengan jarak 0.2 tahun cahaya pada bintang katai merah, disebut Alpha Centauri C, dimana bintang ini memiliki luminositas lebih rendah. Alpha Centauri C merupakan bintang paling dekat dengan Matahari pada jarak 4.24 tahun cahaya dan oleh sebab itu bintang ini juga disebut sebagai “Proxima Centauri”.

Galaksi Bima Sakti merupakan bagian dari galaksi grup yang disebut “Local Group”, terdiri dari 3 galaksi spiral besar dan sekitar 30 galaksi kecil lainnya. Galaksi Bima Sakti mempunyai bentuk spiral besar. Lengan spiral pada Galaksi terdiri dari materi antarbintang, nebula, dan gugus bintang muda, yang lahir dari materi antarbintang tersebut. Pada pusat Galaksi terdiri dari bintang tua, yang sering ditemukan berkelompok membentuk struktur bola, atau lebih dikenal sebagai gugus bola. Pada Galaksi Bima Sakti memiliki sekitar 200 gugus bola, dan hanya 150 gugus yang dikenal. Gugus bintang ini cenderung berada di pusat galaksi. Tata Surya terletak pada 20 tahun cahaya di atas bidang ekuatorial galaksi dan 28,000 tahun cahaya dari pusat galaksi. Letak pusat galaksi berada pada arah rasi bintang Sagitarius, 25,000 – 28,000 tahun cahaya dari Matahari.

## Pembentukan dan Evolusi Tata Surya

Berdasarkan teori standar, sekitar 4,6 miliar tahun yang lalu, Tata Surya terbentuk dari kontraksi gravitasi pada awan gas dan debu antar bintang. Keruntuhan awan ini dimulai dari adanya perturbasi atau gangguan yang kuat (kemungkinan ledakan supernova), yang mengakibatkan gaya gravitasi melebihi tekanan gas.

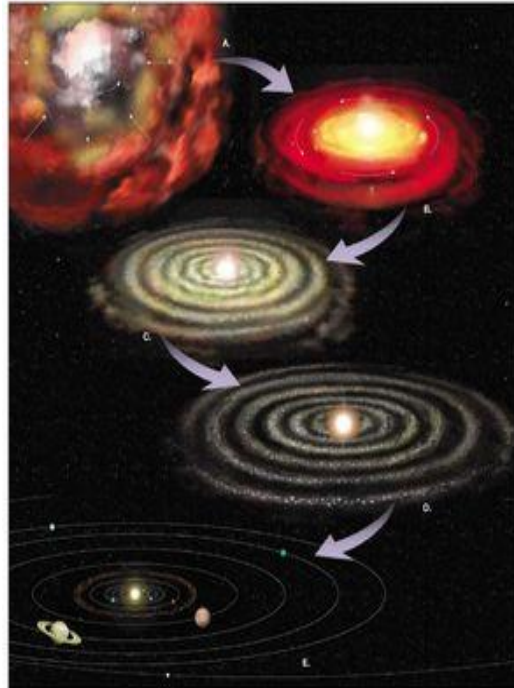


Fig. 3 Skema dari proses pembentukan Tata Surya, berdasarkan teori standar, “Nebular Hypotesis” (Hipotesis Nebula) yang diusulkan oleh Kant dan Laplace pada abad ke-17

Kekekalan momentum sudut menyebabkan nebula berotasi semakin cepat, dan memipih, dan melahirkan protobintang di pusatnya, dan piringan protoplanet yang terbentuk dari debu dan gas di sekitarnya. Di dalam piringan protoplanet, terkondensasi sebuah inti padat yang kecil (planetesimal), yang kemudian terakumulasi oleh proses akresi untuk membentuk sebuah planet.

Hipotesis primitif nebula diusulkan pada tahun 1755 oleh Emmanuel Kant dan juga secara terpisah oleh Pierre-Simon Laplace.

Teori standar (berdasarkan “Hipotesis Nebula” awalnya diusulkan oleh Kant dan Laplace) dapat menjelaskan protoplanet dan orbit semi-sirkular. Selain itu telah ditemukan dengan pengamatan pada beberapa sistem planet di sekitar bintang muda lain, sehingga teori inilah yang diterima hingga sekarang.

## Matahari

Matahari merupakan bintang dengan massa menengah. Umur Matahari diperkirakan 4.6 miliar tahun. Saat ini, Matahari telah menempuh setengah dari siklus evolusi pada deret utamanya. Selama berada pada deret utama, hidrogen pada pusat Matahari diubah menjadi helium melalui reaksi fusi nuklir. Setiap detik pada inti Matahari, lebih dari 4 juta tons materi diubah menjadi energi, sehingga menghasilkan neutrino dan radiasi matahari. Komposisi Matahari sebagian besar terdiri dari hidrogen dan helium. Persentase hidrogen berkisar 74%, dan helium berkisar 25% dari total massa Matahari, sedangkan sisa massa lainnya merupakan elemen-elemen berat seperti oksigen dan karbon.



Fig. 4a: Matahari pada infamerah

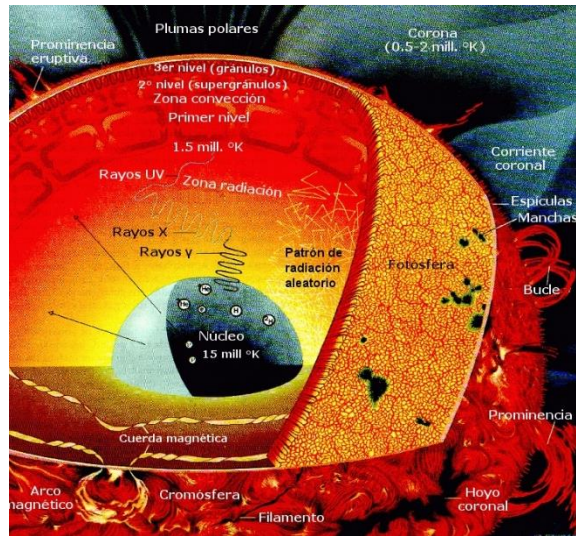


Fig 4b. Struktur internal Matahari

### SIKLUS KEHIDUPAN MATAHARI

Dalam 5 milyar tahun, Matahari akan membesar dan menjadi bintang katai putih, dimana nebula planet akan terbentuk. Hidrogen akan habis, dan akan menyebabkan perubahan yang sangat besar, termasuk kehancuran Bumi di dalamnya. Aktivitas matahari, khususnya aktivitas magnetiknya, akan terdeteksi dalam jumlah dan ukuran sebesar bintang matahari di permukaan, hal serupa juga akan terjadi pada lidah api matahari dan variasi angin matahari. Aktivitas ini akan menghembuskan materi komposisi Matahari ke sistem Tata Surya dan mungkin dapat lebih jauh dari itu.

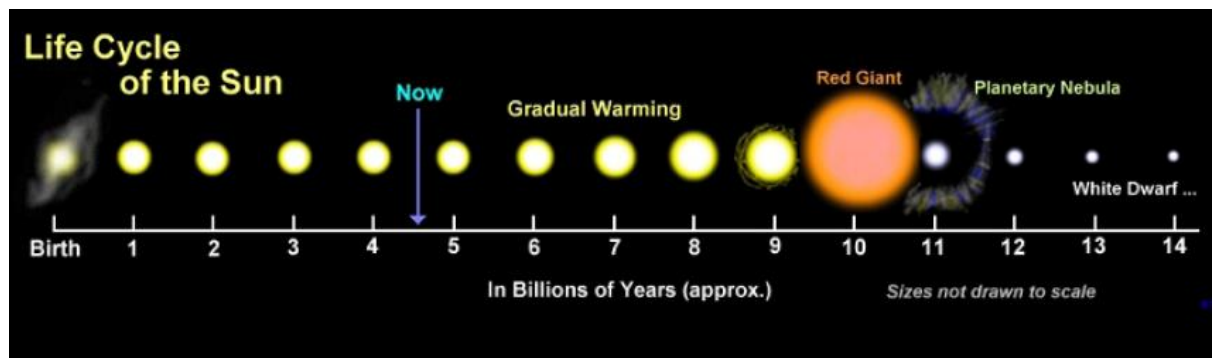


Fig. 5. Siklus kehidupan Matahari sejak protobintang hingga katai putih.

## Planet

Dewasa ini, definisi planet yang digunakan merupakan hasil dari pertemuan ke-26 Persatuan Astronomi Internasional (*26<sup>th</sup> General Meeting of International Astronomical Union*) yang diadakan di Praga, tahun 2006.

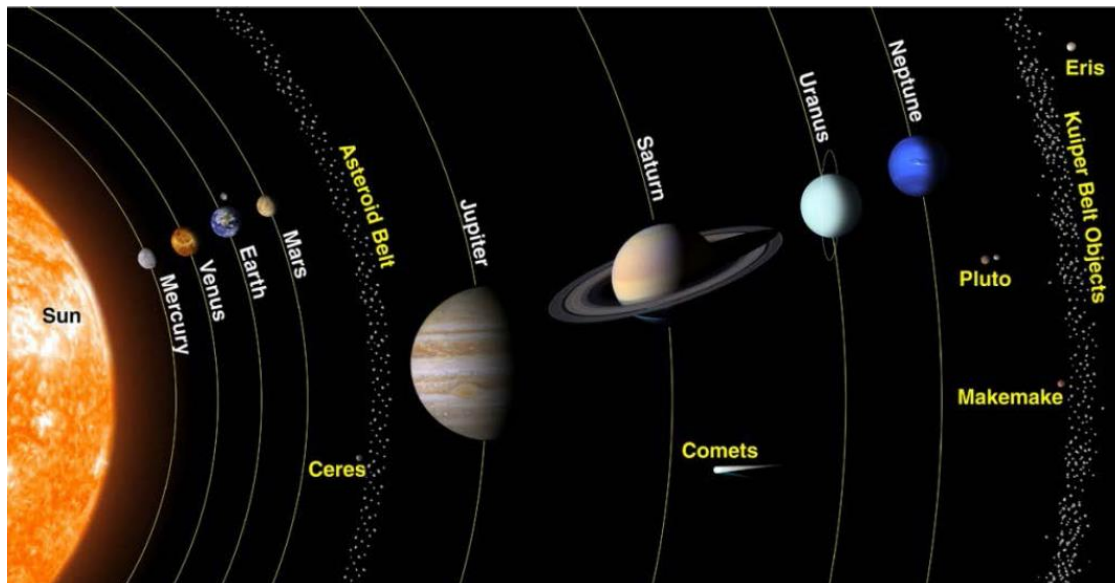


Fig 6. Objek pada Tata Surya (tidak berdasarkan skala)

Di dalam Tata Surya, planet adalah objek langit yang:

1. Berada pada orbit tertentu di sekeliling Matahari,
2. Mempunyai massa yang cukup besar sehingga dapat memenuhi kesetimbangan hidrostatis dengan ditandai oleh bentuk hampir bulat (diameter berkisar 1000 km),
3. Tidak ada objek lain pada orbitnya (“telah menyingkirkan tetangga-tetangganya”).

Objek non-satelit yang memenuhi hanya dua ciri pertama dikategorikan sebagai “planet kerdil”. Sedangkan untuk objek non-satelit yang hanya memenuhi ciri pertama disebut sebagai “objek kecil pada Tata Surya” atau “*small solar system body*” (SSSB).

Berdasarkan IAU, planet dan planet kerdil merupakan dua kelas yang sangat berbeda. Pada mulanya, ada rencana untuk memasukkan planet kerdil sebagai subkategori planet, akan tetapi dengan pertimbangan dapat berpotensi penambahan banyak planet ke Tata Surya, akhirnya rencana ini tidak dijalankan. Pada tahun 2006, dengan adanya definisi planet, maka hanya ada tiga planet kerdil (Ceres, Eris, dan Makemake) dan reklasifikasi Pluto dari planet menjadi planet kerdil. Sekarang, sudah terdapat 5 planet kerdil: Ceres, Pluto, Makemake, Haumea, dan Eris. Hingga sekarang, masih banyak penelitian untuk memasukkan objek baru ke dalam daftar planet kerdil.

Definisi tersebut juga dapat membedakan planet dengan objek kerdil, akan tetapi definisi ini tidak dapat digunakan pada sistem bintang lain, dimana objek kerdil tidak ditemukan di dalamnya. Definisi *Extrasolar planets*, atau eksoplanet mengikuti draf pedoman



komplemen tahun 2003 (*complementary 2003 draft guideline*) untuk planet, dimana dapat dibedakan dengan bintang kerdil, yaitu dengan ukuran yang lebih besar.

### **8 Planet di Tata Surya dapat dikelompokkan menjadi:**

- 4 Planet Kebumian, pada bagian dalam Tata Surya (Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars)
  - Bebatuan, dengan densitas berkisar  $4 - 5 \text{ g / cm}^3$
- 4 Planet Raksasa, pada bagian luar Tata Surya, dapat dibagi menjadi dua tipe:
  - Planet Gas Raksasa: Jupiter dan Saturnus. Komposisi utama Hidrogen dan Helium, dengan komposisi kimia mirip dengan komposisi Matahari
  - Planet Es Raksasa : Uranus dan Neptunus. Memiliki lebih banyak es dibandingkan gas. Komposisi kimia berbeda jauh dengan komposisi Matahari.

Planet raksasa lebih ringan dari planet kebumian (terrestrial), dengan densitas berkisar  $0.7 \text{ g / cm}^3$  (Saturnus) hingga  $2 \text{ g / cm}^3$

Planet raksasa terbentuk dengan skala waktu orde 10 juta tahun (planet batuan membutuhkan waktu sekitar 100 juta tahun). Planet tidak terbentuk secara “in situ”, namun terdapat peristiwa migrasi yang disebabkan oleh pertukaran momentum sudut antara planet raksasa pada saat pembentukan dan planetesimal yang tersapu ke daerah lain dari Tata Surya atau bahkan terlempar keluar dari Tata Surya.

Karakterisasi setiap planet mempunyai makna untuk menentukan sifat umum, seperti massa, radius, densitas, periode rotasi pada porosnya (hari), periode revolusi terhadap Matahari (tahun), komposisi kimia dari struktur internal dan atmosfer, dll. Pada bab ini, kami tidak akan menyajikan data tabel, karena tersedia di internet, dan di buku. Kami akan berfokus pada deskripsi karakteristik unik untuk setiap objek, seperti asal usul, dan lainnya sehingga guru / pengajar dapat mengembangkannya dalam melakukan pengajaran di kelas. (untuk data spesifik setiap planet dan benda lain di Tata Surya, silahkan tinjau informasi di internet).

## **MERKURIUS**

Merkurius merupakan planet terdekat dari Matahari dan juga planet terkecil di Tata Surya. Merkurius termasuk dalam kategori planet terrestrial. Nama planet ini merupakan nama dewa Seni dan Perdagangan Romawi “Mercury”.

Merkurius tidak memiliki satelit alami, dan merupakan salah satu dari 5 planet yang dapat dilihat dari Bumi dengan mata telanjang. Planet ini pertama kali diamati dengan teleskop pada abad ke-17. Dewasa ini, planet Merkurius telah disurvei oleh 2 wahana antariksa: Mariner 10 (tiga kali pada 1974-1975) dan Messenger (dua kali pada 2008).

Meskipun dapat dilihat dengan mata telanjang, planet ini tidak mudah untuk diamati, dikarenakan posisi sebagai planet terdekat dengan Matahari. Posisi planet Merkurius di langit

sangat berdekatan dengan Matahari, dan hanya dapat teramati dengan baik di sekitar elongasi<sup>1</sup> Bumi-Matahari-Merkurius, sesaat sebelum matahari terbit dan sesaat setelah matahari terbenam. Akan tetapi, misi antariksa telah memberikan banyak informasi terkait planet Merkurius, dan secara mengejutkan dapat disimpulkan bahwa Merkurius sangat mirip dengan Bulan.

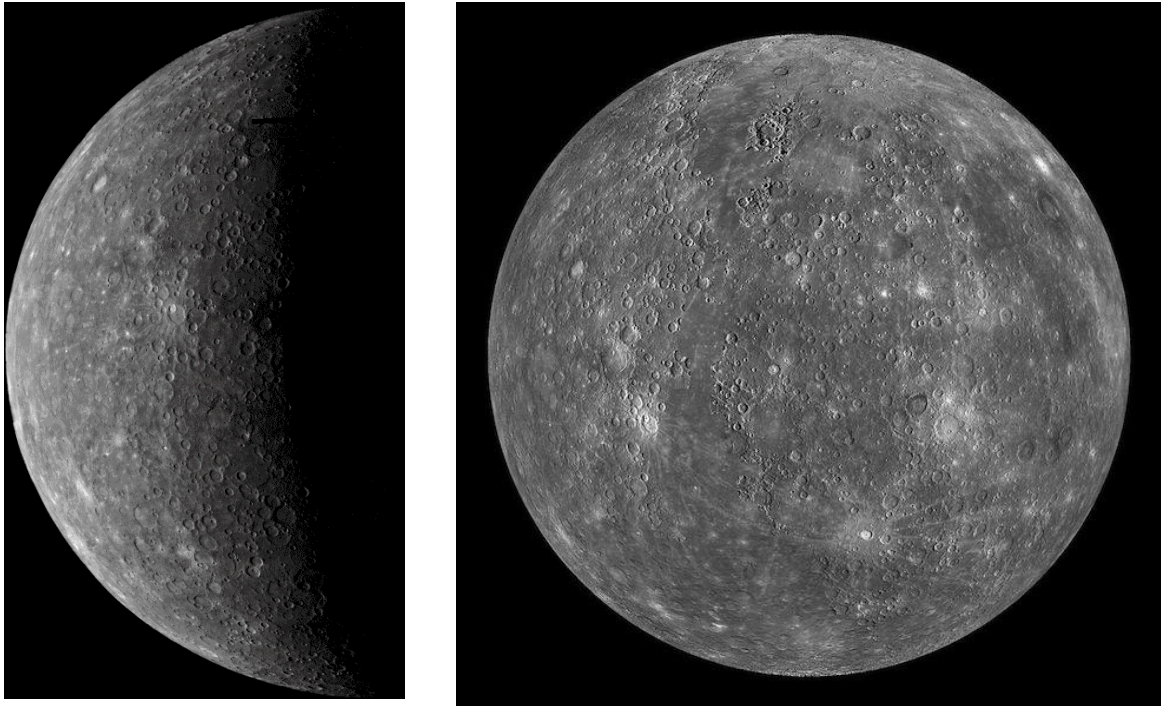


Fig. 7 : Merkurius

Perlu dipahami lebih lanjut untuk 2 karakteristik khusus planet Merkurius: planet terkecil di Tata Surya dan planet terdekat dari Matahari. Merkurius memiliki eksentrisitas orbit terbesar ( $e = 0.2056$ ) dan juga inklinasi terbesar terhadap bidang ekliptikanya ( $i = 7^\circ$ ). Periode sinodis nya sebesar 115.88 hari, yang berarti bahwa sebanyak 3 kali setahun berada pada posisi elongasi barat maksimum terhadap Matahari (sering disebut “bintang pagi”) dan sebanyak 3 kali setahun berada pada posisi elongasi timur maksimum terhadap Matahari (sering disebut “bintang sore”). Pada setiap posisi tersebut, sudut elongasi tidak akan pernah melebihi  $28^\circ$ .

Merkurius memiliki radius sebesar 2440 km, dan menjadikannya sebagai planet terkecil di Tata Surya, bahkan lebih kecil dari 2 satelit Galilean Jupiter: Ganymede dan Callisto.

Densitas sebesar  $5.427 \text{ g / cm}^3$  menjadikan planet Merkurius sebagai planet terpadat setelah Bumi (densitas  $5.5 \text{ g / cm}^3$ ). Besi kemungkinan merupakan komposisi elemen berat utama (70% besi dan 30% materi bebatuan), sehingga berkontribusi pada kerapatan Merkurius yang sangat tinggi. Secara umum dinyatakan bahwa Merkurius tidak memiliki atmosfer, akan tetapi pernyataan ini kurang tepat, karena atmosfer Merkurius sangat tipis, terbentuk oleh 42% Oksigen, 29.0% Natrium, 22.0% Hidrogen, 6.0% Helium, 0.5% Kalium, dan sejumlah kecil Argon, Nitrogen, Karbon dioksida, uap air, Xenon, Krypton, dan Neon.

<sup>1</sup> Sudut yang dibentuk oleh garis lurus yang menghubungkan Bumi-Matahari dengan suatu planet disebut elongasi. Sudut elongasi yang dibentuk oleh Bumi-Matahari-Merkurius antara  $0^\circ - 28^\circ$ .



Merkurius merupakan satu-satunya planet selain Bumi yang memiliki medan magnetik yang cukup besar, meskipun medan magnetik tersebut sebesar 1/100 kali medan magnetik Bumi, akan tetapi cukup untuk membuat magnetosfer yang memanjang hingga 1.5 radius planet, dibandingkan dengan kasus Bumi, magnetosfer Bumi memanjang hingga 11.5 radius Bumi. Seperti halnya dengan Bumi, medan magnetik Merkurius terbentuk oleh efek dinamo dan kutub yang terbentuk merupakan kutub dipolar layaknya Bumi, dengan sumbu magnetik berinklinasi sebesar  $11^\circ$  terhadap sumbu rotasi.

Temperatur pada Merkurius sangat bervariasi dengan selisih yang sangat besar. Saat planet melewati titik perihelion, suhu dapat mencapai hingga  $427^\circ\text{C}$  pada ekuator tengah hari, suhu tersebut cukup untuk melelehkan logam seng. Namun, saat malam hari datang (permukaan tidak menghadap Matahari), suhu turun hingga  $-183^\circ\text{C}$ , yang mengakibatkan perbedaan diurnal planet Merkurius sebesar  $610^\circ\text{C}$ !

Tidak ada planet yang mengalami perbedaan sebesar itu. Perbedaan ekstrem ini disebabkan oleh banyaknya radiasi matahari pada siang hari, tidak adanya atmosfer tebal (atmosfer Merkurius sangat tipis), dan durasi satu hari Merkurius (interval antara fajar dan senja hampir sebesar 3 terrestrial bulan), waktu yang cukup lama untuk menyimpan panas (atau sebaliknya, dingin dengan proses yang sama pada malam yang panjang).

Kawah Merkurius sangat mirip dengan kawah yang ada di Bulan secara morfologi, bentuk dan strukturnya. Kawah terbesar adalah Caloris Basin. Benturan yang menghasilkan cekungan setelah tumbukan merupakan fenomena yang paling sering terjadi untuk mengubah bentuk permukaan suatu planet. Benturan tersebut dapat menyebabkan perubahan keseluruhan kerak planet, dan bahkan gangguan internal planet. Peristiwa ini yang terjadi ketika kawah Caloris terbentuk dengan diameter berkisar 1,550 km.

### Presesi Perihelion Merkurius

Presesi dari perihelion Merkurius telah dikonfirmasi. Seperti pada planet lainnya, perihelion Merkurius tidaklah tetap akan tetapi memiliki pola yang teratur di sekeliling Matahari. Untuk waktu yang lama, pola orbit tersebut adalah 43 detik busur per abad, dimana lebih cepat dibandingkan prediksi menggunakan mekanika “Newtonian” klasik.

Presesi ini telah diprediksi oleh teori relativitas umum Einstein, yang disebabkan oleh bentuk kurva ruang waktu yang terbentuk oleh massa Matahari. Dengan adanya kesesuaian hasil antara observasi perihelion dengan prediksi dari teori relativitas umum, maka hal ini merupakan bukti yang kuat untuk mendukung validitas dari teori relativitas Einstein.



Fig. 8 Pergerakan Presesi Perihelium Merkurius

## VENUS

Venus merupakan satu dari empat planet terrestrial pada planet dalam Tata Surya. Planet merupakan planet terdekat kedua dari Matahari, dan dinamakan sesuai dengan nama Dewi Yunani, “Venus”, yang melambangkan cinta dan kecantikan.

Posisi kedua terdekat dengan Matahari, struktur dan kerapatan atmosfer menjadikan Venus salah satu objek terpanas di Tata Surya. Planet ini memiliki medan magnetik yang sangat lemah dan tidak mempunyai satelit alami. Venus juga merupakan satu-satunya planet yang bergerak retrograde<sup>2</sup> terhadap revolusinya dan satu-satunya planet dengan periode rotasi lebih besar dari periode revolusinya. Planet Venus merupakan objek paling terang di langit setelah Matahari dan Bulan jika dilihat dari Bumi.

Orbit Venus berbentuk hampir lingkaran sempurna, dengan eksentrisitas 0.0068 , dan merupakan eksentrisitas terkecil pada Tata Surya. Satu tahun Venus sedikit lebih pendek daripada satu hari sidereal Venus, dengan perbandingan 0.924.

Dimensi dan struktur geologi Venus mirip dengan Bumi. Akan tetapi kerapatan atmosfer Venus sangat padat. Perpaduan antara CO<sub>2</sub> dan awan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) tebal menciptakan efek rumah kaca, dimana efek ini merupakan efek terbesar yang ada di Tata Surya dengan suhu sekitar 460 °C. Suhu pada permukaan Venus lebih tinggi daripada di Merkurius, walaupun jarak Venus hampir dua kali lipat dari jarak Merkurius dan hanya menerima sekitar 25% radiasi matahari yang diterima planet Merkurius. Permukaan planet ini memiliki relief yang hampir seragam. Medan magnetik Venus sangat lemah, tetapi mampu menarik ekor plasma sepanjang 45 juta km, hal ini diamati pertama kali oleh satelit SOHO pada tahun 1997.

<sup>2</sup> Berotasi dengan arah rotasi planet berlawanan arah revolusinya terhadap Matahari.

Karakteristik khusus yang dimiliki oleh Venus adalah rotasi retrograde. Venus berotasi pada sumbunya dengan sangat lambat, berlawanan arah jarum jam, sedangkan planet lainnya (kecuali Uranus) pada Tata Surya berotasi searah jarum jam. Periode rotasi Venus telah diketahui sejak tahun 1962. Gerak rotasi yang lambat dan retrograde, mengakibatkan hari matahari<sup>3</sup> (eng: solar days) lebih pendek daripada hari siderialnya. Hari sidereal akan lebih lama untuk planet yang berotasi searah jarum jam. Dengan perbedaan hari pada planet Venus, mengakibatkan dalam satu tahun Venus, kurang dari 2 hari matahari telah hilang.

Penyebab gerak rotasi retrograde Venus belum diketahui dengan pasti. Alasan yang paling memungkinkan adalah adanya tumbukan yang sangat kuat dengan objek besar lain ketika proses pembentukan planet pada Tata Surya terjadi. Terdapat kemungkinan pula bahwa atmosfer Venus berpengaruh pada gerak rotasi planet akibat kerapatannya yang sangat besar.

Atmosfer Venus sangat unik, dengan tekanan permukaan 93 bar (9.3 MPa) dan komposisi utama 96.5% Karbon dioksida, 3.5% Nitrogen, 0.015% Sulfur dioksida, 0.007% Argon, 0.002% Uap air, 0.0017% Karbon monoksida, 0.0012% Helium, 0.0007% Neon.

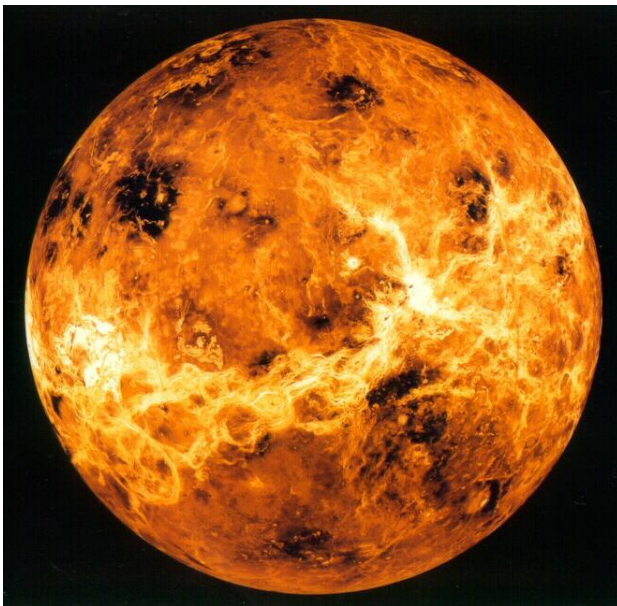


Fig. 9: Venus. Foto diperoleh dari Misi Magellan (Magellan Mission)

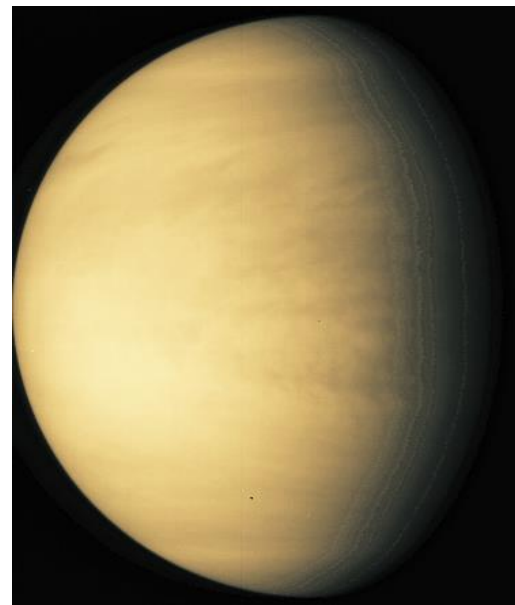


Fig. 10. Venus pada sinar tampak (Teleskop Hubble)

### Venus sebagai saudara kembar Bumi. Analogi.

- Kedua planet ini lahir pada waktu yang sama dari awan gas yang sama pada 4.6 miliar tahun lalu,
- Keduanya merupakan planet dalam di Tata Surya,

<sup>3</sup> Hari matahari adalah waktu yang dibutuhkan planet untuk satu kali rotasi dengan Matahari sebagai titik acuannya. Sedangkan hari sidereal adalah waktu yang dibutuhkan planet untuk satu kali rotasi dengan bintang sebagai titik acuannya. Sebagai contoh, Bumi memiliki hari matahari sebesar 24 jam, sedangkan hari sidereal Bumi adalah 23 jam 56 menit 4.09 detik. Untuk Venus, hari matahari-nya sebesar 116.75 hari terestrial (116 hari 18 jam), sedangkan hari sidereal Venus 243.018 hari terestrial (243 hari 25 menit 55.2 detik)

- Pada permukaan keduanya terdapat struktur tanah yang bervariasi, seperti pegunungan, lapangan, lembah, dataran tinggi, gunung berapi, kawah, dll,
- Keduanya memiliki relatif sedikit kawah, tanda bahwa permukaan planet cukup muda dan adanya atmosfer tebal,
- Keduanya memiliki komposisi kimia yang hampir sama.

## Transit Venus

Transit Venus merupakan peristiwa dimana bayangan Venus muncul pada piringan Matahari dan berada diantara lintasan Bumi-Matahari. Dikarenakan inklinasi dari orbit Venus, fenomena transit Venus ini jarang terjadi pada rentang umur manusia normal. Fenomena ini terjadi dua kali dalam rentang 8 tahun, dan akan terulang kembali dalam rentang waktu lebih dari satu abad, berkisar 105.5 atau 121.5 tahun. Transit Venus terakhir tercatat pada tanggal 8 Juni 2004 dan 6 Juni 2012, serta akan terulang kembali pada tanggal 11 Desember 2117.

## BUMI

Bumi merupakan planet ketiga terdekat dari Matahari dan planet terbesar kelima secara ukuran di Tata Surya. Planet ini juga merupakan planet terrestrial terbesar pada golongan planet dalam di Tata Surya. Planet Bumi satu-satunya planet di alam semesta yang diketahui terdapat kehidupan. Diperkirakan Bumi terbentuk pada 4.57 miliar tahun lalu. Bulan, sebagai satu-satunya satelit alami Bumi, mulai mengorbit Bumi sesaat setelah Bumi terbentuk, 4.533 miliar tahun lalu, dan terdapat beberapa teori tentang asal-usul Bulan. Sekitar 71% permukaan Bumi tertutupi oleh air, dan sisa 29.2% merupakan padatan dan “kering”. Akan tetapi total air merupakan bagian yang sangat kecil dibandingkan elemen lain pada struktur planet Bumi.



Fig. 11: Bumi dan Bulan (Misi Galileo, 1998)

Antara Bumi dan alam semesta terdapat interaksi yang nyata dan kekal. Sebagai contoh Bulan menyebabkan gaya tidal bagi Bumi. Bulan juga mempunyai pengaruh terhadap kecepatan rotasi Bumi. Semua objek yang berada di sekeliling Bumi akan tertarik ke arah Bumi, gaya tarikan ini dinamakan sebagai gaya gravitasi, dan percepatan yang dialami oleh benda jatuh akibat medan gravitasi disebut percepatan gravitasi (disimbolkan dengan "g" =  $9.81 \text{ m / s}^2$ ).

Lautan di Bumi dipercayai telah terbentuk sejak periode pembentukan awal akibat benturan dari banyak komet, yang kemudian benturan dengan asteroid juga mempengaruhi dan mengubah lingkungan di Bumi secara signifikan. Sedangkan untuk perubahan orbit Bumi terhadap Matahari diprediksikan merupakan penyebab terjadinya zaman es di Bumi, seperti yang telah dipelajari pada sepanjang sejarah Bumi.

Tekanan pada permukaan atmosfer Bumi sebesar 101.3 kPa dan terdiri dari 78% Nitrogen ( $\text{N}_2$ ), 20.95% Oksigen ( $\text{O}_2$ ), 0.93% Argon, 0.038% Karbon dioksida, dan sekitar 1% uap air (bergantung musim).

## MARS

Mars merupakan planet terdekat keempat dari Matahari di Tata Surya, dan terkecil kedua setelah Merkurius. Mars termasuk pada golongan planet terrestrial, dan menyandang nama Dewa perang Roma, "Mars", dikarenakan warnanya yang kemerahan jika dilihat dari Bumi. Beberapa misi antariksa telah mempelajari planet ini lebih lanjut sejak tahun 1960 untuk mendapatkan sebanyak mungkin informasi mengenai struktur geografi, atmosfer, dan detail lainnya.

Mars dapat diamati dengan mata telanjang dari Bumi, akan tetapi Mars tidak seterang Venus dan hanya terkadang lebih terang dari Jupiter. Mars akan lebih terang dari Jupiter jika Mars berada pada posisi oposisi dengan Bumi-Matahari. Diantara seluruh objek pada Tata Surya, planet yang dijuluki sebagai planet "Merah" ini paling banyak menginspirasi berbagai buku fiksi. Alasan utamanya dikarenakan planet ini merupakan planet yang paling sering muncul pada saluran terkenal, tampil pertama kali pada tahun 1858 oleh Giovanni Schiaparelli, dan sering disebut sebagai hasil dari konstruksi manusia.

Warna kemerahan planet ini disebabkan oleh adanya senyawa hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , besi (iii) oksida), yang dapat ditemukan pada permukaan Mars. Mars memiliki relief permukaan yang tajam, dimana terdapat pegunungan tertinggi di Tata Surya, volcano Olympus Mons, dengan ketinggian berkisar 25 km, dan juga tebing terbesar dengan kedalaman rata-rata 6 km.

Inti planet Mars terbuat dari besi dengan diameter sekitar 1700 km, dilapisi mantel olivine dan kerak basal dengan ketebalan rata-rata 50 km. Mars memiliki atmosfer dengan komponen utama karbon dioksida. Dulu atmosfer Mars memiliki lapisan hidrosphere yang aktif, dimana terkadang air berada di permukaan, akan tetapi dengan kondisi temperatur atmosfer, akibat dari hilangnya medan magnet, dan juga pengaruh temperatur Mars, maka air menguap pada suhu ruangan.

Saat ini, atmosfer Mars memiliki tekanan permukaan sebesar 0.6 – 1.0 kPa dan mempunyai komposisi 95.72% Karbon dioksida, 2.7% Nitrogen, 1.6% Argon, 0.2% Oksigen, 0.07% Karbon monoksida, 0.03% uap air, 0.01% Nitrogen monoksida, dan sebagian kecil Neon, Crypon, Formaldehida, Xenon. Ozon, Methana.

Mars hanya memiliki 2 satelit alami, yaitu Phobos dan Deimos, yang kemungkinan besar merupakan asteroid yang terperangkap oleh gravitasi Mars. Diameter Mars adalah setengah dari diameter Bumi dan area permukaannya sama dengan luas daratan di Bumi. Massa Mars berkisar 1/10 dari massa Bumi, dan merupakan planet dengan densitas terendah diantara planet terrestrial lainnya. Berdasarkan karakteristik ini, gravitasi Mars lebih rendah daripada gravitasi di Merkurius, walaupun secara ukuran, Mars dua kali lipat daripada Merkurius.

Besar inklinasi orbit Mars hampir sama dengan inklinasi Bumi, sehingga musim yang ada di Mars sama dengan yang ada di Bumi. Besar dimensi puncak kutub di Mars sangat bervariasi bergantung dengan musim yang berlangsung akibat pertukaran karbon dioksida dan molekul air dengan atmosfer. Karakteristik lain dari planet ini adalah satu hari Mars lebih panjang 39 menit dari satu hari Bumi. Sebaliknya, akibat jarak Mars yang lebih jauh, satu tahun Mars lebih lama daripada satu tahun Bumi, lebih dari 322 hari. Mars merupakan planet terdekat dari Bumi, dan jarak ini semakin dekat ketika Mars berada pada oposisi, dimana Bumi berada pada posisi diantara Matahari dan Mars dalam garis lurus.

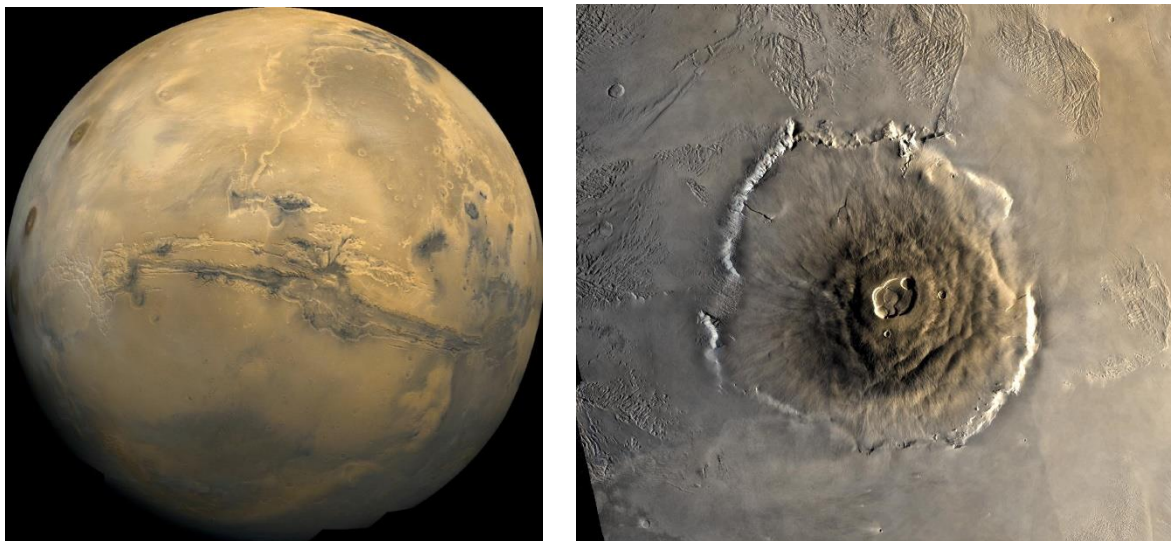


Fig. 12 Mars (kiri); Olympus Mons (kanan)

Pada tanggal 27 Agustus 2003, Mars hanya berjarak 55.76 juta km dari Bumi, atau hanya 0.3727 AU, dimana jarak terdekat Mars sebelumnya tercatat pada jarak 59,618 juta km. Fenomena seperti ini seringkali menghasilkan hasil observasi yang sangat menakjubkan, seperti Mars akan terlihat sebesar Bulan purnama. Dengan diameter sudut sebesar 25.13 detik busur, Mars secara normal hanya akan terlihat seperti titik jika dilihat dengan mata telanjang, sedangkan Bulan akan terlihat jauh lebih besar dimana diameter busurnya berkisar 30 menit busur (1800 detik busur). Oleh karena itu, oposisi Mars merupakan salah satu fenomena langka, dan oposisi Mars terdekat akan terjadi kembali pada tanggal 28 Agustus 2287, dimana jarak antara kedua planet adalah 55,69 juta km.



## JUPITER

Jupiter adalah planet terdekat kelima dari Matahari dan planet terbesar di Tata Surya. Diameter Jupiter 11 kali lebih besar dari diameter Bumi, dengan massa 318 kali lebih besar dari massa Bumi, dan volume 1300 kali lebih besar dari volume Bumi. Jupiter mengorbit Matahari dengan jarak 778,546,200 km. Jupiter merupakan objek paling terang keempat di langit jika terlihat dari Bumi (setelah Matahari, Bulan, Venus, dan terkadang Mars). Keberadaan planet ini telah diketahui sejak zaman prasejarah. Penemuan empat satelit terbesar Jupiter, Io, Europe, Ganymede, dan Callisto (disebut pula satelit Galilean) oleh Galileo, dan Simon Marius pada tahun 1610 merupakan pengamatan pertama yang membuktikan bahwa Bumi bukan sebagai pusat gerak objek langit. Penemuan tersebut merupakan titik balik yang penting bagi teori heliosentris terhadap gerak planet yang dikemukakan oleh Nicolaus Copernicus. Hasil temuan dan dukungan Galileo terhadap teori gerak Copernicus memberikan masalah untuknya dengan pihak Gereja, dimana pada zaman itu teori geosentris sangat dipercaya oleh masyarakat, dan Gereja merupakan pihak yang berkuasa. Sebelum misi antariksa Voyager, hanya 16 satelit alami yang diketahui, akan tetapi sekarang ini telah diketahui lebih dari 60 satelit alami yang mengitari Jupiter.

Inti Jupiter diprediksikan merupakan materi padat dengan massa hingga 10 – 15 kali massa Bumi. Inti tersebut dilapisi oleh lapisan tebal dari cairan hydrogen metalik. Dikarenakan suhu dan tekanan di dalam Jupiter, mengakibatkan hydrogen dalam wujud cair bukan gas dan berperan sebagai konduktor listrik sehingga menjadi sumber dari medan magnetik Jupiter. Lapisan ini juga kemungkinan besar mengandung helium dan jejak es. Lapisan luar Jupiter sebagian besar terbuat dari molekul hydrogen dan helium, wujud cair di dalam, dan wujud gas di luar. Atmosfer yang terlihat dari Bumi hanya bagian luar dari lapisan yang tebal. Air, karbon dioksida, metana, dan molekul sederhana lainnya terdeteksi dalam jumlah kecil.

Atmosfer Jupiter terdiri dari 80% hydrogen, dan 14% helium dengan sedikit metana, air, ammonia, dan “batu”. Komposisi ini hampir sama dengan komposisi solar nebula primordial, nebula awal terbentuknya Tata Surya (Uranus dan Neptunus mempunyai jumlah hydrogen dan helium lebih sedikit).

Salah satu karakteristik unik dari Jupiter adalah adanya Bintik Merah Raksasa. Bintik Merah Raksasa (*Great Red Spot, GRS*) pertama kali diamati dengan teleskop di Bumi lebih dari 300 tahun lalu. Bintik ini berbentuk oval dengan ukuran panjang sumbu mayor 25000 km dan sumbu minor 12000 km, diameter ini mampu menampung dua atau tiga diameter Bumi. Daerah Bintik Merah Raksasa merupakan daerah bertekanan tinggi dan termasuk jenis badai antisiklon, dimana awan superior lebih tinggi dan lebih dingin daripada sekelilingnya. Struktur seperti ini juga teramati pada Saturnus dan Neptunus. Teori bagaimana bintik tersebut dapat terbentuk dan bertahan dalam kurun waktu lama belum dapat dijelaskan hingga sekarang.

Pada Jupiter dan planet gas raksasa lainnya, terdapat badai dengan kecepatan sangat tinggi di daerah pita yang lebar pada lintang yang berbeda, dan dikelompokkan pada pita-pita yang bergerak pada arah berlawanan. Badai bergerak pada arah yang berbeda pada 2 pita yang berdampingan di Jupiter. Suhu yang kecil atau perbedaan komposisi kimia berpengaruh terhadap perbedaan warna untuk setiap pita Jupiter. Atmosfer Jupiter selalu mengalami turbulensi. Hal ini membuktikan bahwa badai didorong, sebagian besar, oleh energi panas

internal planet dan bukan berasal dari Matahari, seperti kasus badai di Bumi. Atmosfer Jupiter memiliki tekanan permukaan sebesar 20 – 200 kPa (lapisan awan) dan komposisi kimianya adalah 90% Hidrogen ( $H_2$ ), 10% Helium,  $\sim 0.3\%$  Methana,  $\sim 0.036\%$  Amonia,  $\sim 0.003\%$  Hidrogen Deuterida (HD), 0.0006% Etana, 0.0004% Air, serta es terdiri dari: Amonia, air, dan ammonium hidrosulfida ( $NH_4SH$ ).

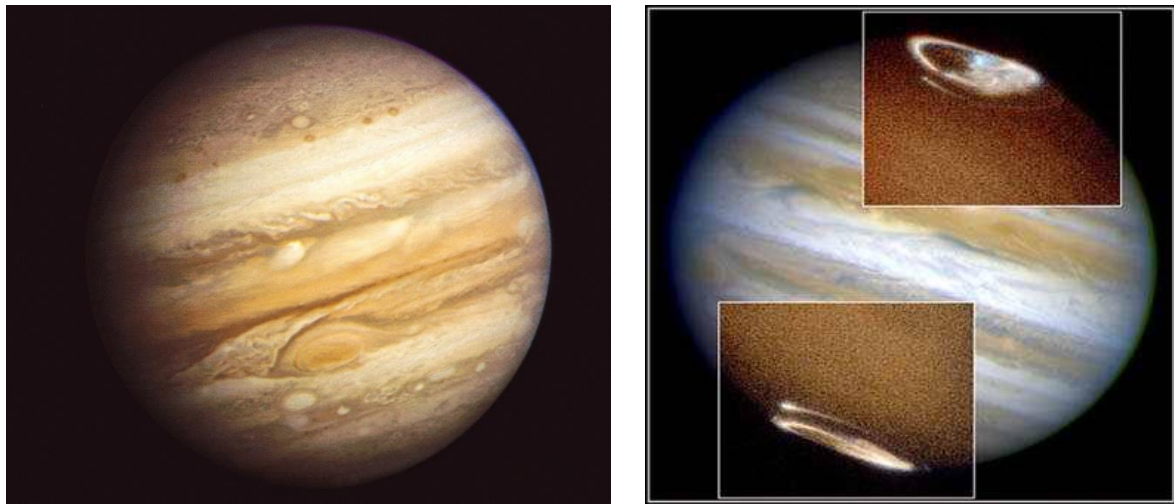


Fig. 13: Jupiter (kiri); Aurora di Jupiter (kanan, diambil dari Hubble Space Telescope)

Magnetosfer Jupiter mempunyai medan magnet yang sangat besar, 14 kali lebih kuat dari medan magnet Bumi. Magnetosfer ini dapat mengembang hingga 650 juta km (lebih jauh dari orbit Saturnus). Satelit alami Jupiter berada pada magnetosfernya, yang mana dapat menjelaskan sebagian fenomena yang terjadi pada Io. Masalah yang kemungkinan akan dihadapi untuk perjalanan ruang angkasa di masa depan, seperti yang dihadapi oleh penyusun misi Voyager dan Galileo, adalah terdapat partikel dalam jumlah yang sangat besar pada ruang di sekeliling Jupiter, dimana partikel-partikel ini tertangkap oleh medan magnet Jupiter. Radiasi pada magnetosfer ini hampir sama dengan Bumi, akan tetapi jauh lebih kuat daripada yang teramati pada sabuk Van Allen Bumi, dan akan menjadi daerah yang berbahaya (dapat menyebabkan kematian secara langsung) untuk manusia tanpa perlindungan.

Dari pengamatan wahana penjajak (*probe*) pada misi Galileo, ditemukan bahwa terdapat radiasi yang sangat kuat antara cincin Jupiter dan lapisan teratas atmosfernya. Sabuk radiasi baru ini memiliki intensitas kurang lebih 10 kali lebih kuat dari radiasi sabuk Van Allen di Bumi. Secara mengejutkan pula, pada sabuk ini terdapat ion helium berenergi tinggi, tanpa diketahui asalnya.

Jupiter memiliki cincin seperti layaknya Saturnus, tetapi cincin tersebut lebih redup dan lebih kecil dibandingkan Saturnus. Berbeda dengan cincin Saturnus, cincin Jupiter berwarna gelap, dan diprediksi terdiri dari butiran kecil materi bebatuan, serta tidak mengandung es. Partikel yang ada di cincin Jupiter kemungkinan tidak berada dalam waktu yang lama (karena pengaruh dari atmosfer dan daya tarik medan magnet). Berdasarkan data yang diberikan wahana penjajak Galileo, cincin Jupiter secara terus menerus disuplai debu yang terbentuk oleh benturan antara mikrometeorit dengan interior Jupiter, dimana berenergi sangat tinggi, akibat medan gravitasi Jupiter.

## SATURNUS

Saturnus adalah planet keenam dari Matahari, merupakan planet gas raksasa, dan planet terbesar kedua berdasarkan massa dan volumenya setelah planet Jupiter. (3.3 kali lebih kecil dari Jupiter, tapi 5.5 kali lebih besar dari Neptunus dan 6.5 kali lebih besar dari Uranus). Planet ini bermassa 95 kali massa Bumi, dengan diameter 9 kali lebih besar dari Bumi. Saturnus merupakan satu-satunya planet di Tata Surya yang memiliki densitas lebih kecil dari densitas air:  $0.69 \text{ g / cm}^3$ . Hal ini mengidentifikasi bahwa atmosfer Saturnus memiliki komponen utama Hidrogen (lebih ringan dari air), tapi pada inti jauh lebih rapat. Meskipun inti Saturnus memiliki kerapatan lebih besar daripada air, akan tetapi kerapatan relatif lebih kecil dari air disebabkan oleh atmosfer gas hidrogen yang besar.

Massa dan dimensi planet Saturnus memiliki bentuk bulat spheroid, dimana bentuk yang diratakan di kutub dan dibengkakkan keluar di sekitar khatulistiwa, atau dalam bahasa sederhana, bulat di kutub tapi gepeng di khatulistiwa. Perbedaan antara diameter ekuatorial dengan diameter kutub berkisar 10%, akibat oleh rotasi yang sangat cepat pada sumbunya dan komposisi cairannya yang cukup tinggi. Planet gas raksasa lainnya (Jupiter, Uranus, dan Neptunus) juga berbentuk bulat gepeng, tapi tidak terlalu gepeng seperti halnya Saturnus.

Atmosfer Saturnus serupa dengan atmosfer Jupiter. Atmosfer Saturnus tersusun dari beberapa pita parallel berdasarkan lintangnya, tapi pita tersebut lebih redup dari Jupiter, dan lebih lebar di ekuator. Pita-pita parallel ini lebih terpisah satu dengan lainnya jika dibandingkan dengan pita pada Jupiter. Atmosfer Saturnus berotasi dengan kecepatan yang berbeda-beda bergantung dari posisi lintangnya. Sistem awan Saturnus (beserta badai abadi) pertama kali teramati oleh wahana Voyager. Awan yang teramati pada tahun 1990, merupakan salah satu dari Bintik Putih Raksasa (*Great White Spot*), sebuah fenomena unik Saturnus yang hanya muncul setiap 30 tahun sekali. Jika siklus ini berlanjut, maka badai selanjutnya kemungkinan akan muncul kembali pada tahun 2020. Pada tahun 2006, NASA mengobservasi badai sebesar badai siklon terkunci di kutub selatan dengan mata badai terlihat jelas. Hal ini merupakan penemuan mata badai pertama pada planet selain Bumi.

Cincin Saturnus merupakan salah satu fenomena yang menakjubkan di Tata Surya, dan menjadi ciri khas dari planet Saturnus. Tidak seperti cincin planet raksasa lainnya, cincin Saturnus sangat terang (albedo berkisar 0.2 – 0.6), dan dapat diamati melalui bantuan binocular. Cincin tersebut didominasi oleh aktivitas permanen seperti tabrakan, pengakumulasian materi, dll.

Saturnus mempunyai cukup banyak satelit alami. Sulit untuk mengungkapkan berapa satelit yang dimiliki oleh Saturnus, karena es yang berada pada cincin Saturnus dapat pula dianggap sebagai satelit. Pada tahun 2009, sebanyak 62 satelit telah tercatat, 53 diantaranya telah dikonfirmasi, dan diberi nama. Sebagian besar merupakan satelit kecil, dimana 31 satelit memiliki diameter kurang dari 10 km, dan 13 satelit memiliki diameter kurang dari 50 km. Hanya 7 satelit yang mempunyai massa yang cukup besar untuk berbentuk bulat akibat gaya gravitasi dirinya sendiri. Titan merupakan satelit terbesar Saturnus, lebih besar dari Merkurius dan Pluto, dan merupakan satu-satunya satelit alami di Tata Surya yang memiliki atmosfer tebal. Misi Cassini mengirimkan wahana penjajak (probe), the Huygens, pada tahun 2004 ke permukaan Titan. Misi ini mempelajari komposisi dari Titan terutama siklus serupa

pembentukan air di Bumi, untuk metana, elemen ini ditemukan dalam 3 bentuk (cair, gas, padat) di permukaan satelit Titan.

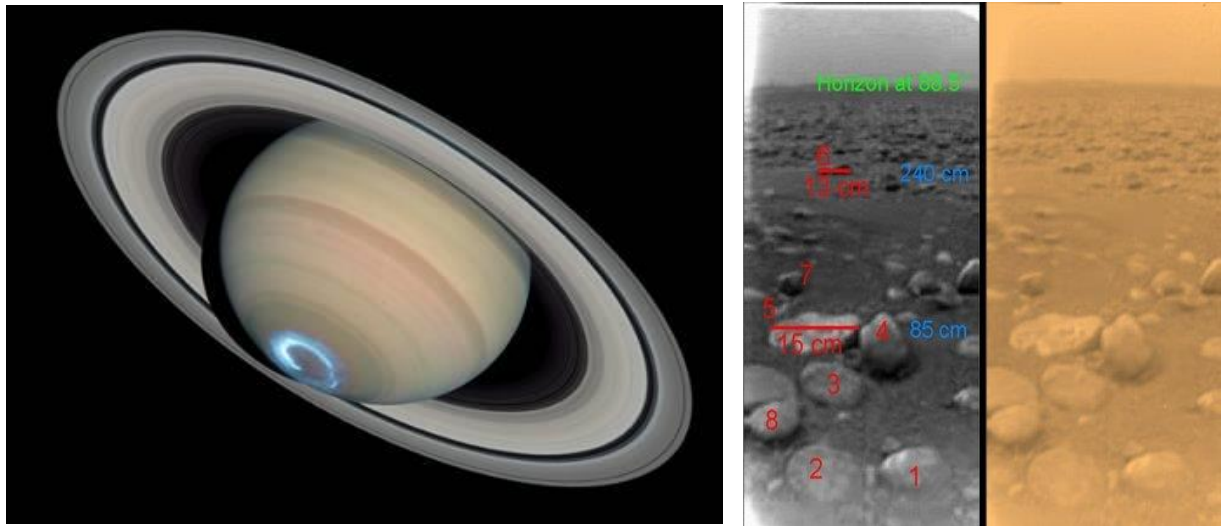


Fig. 14 Aurora Saturnus (kiri); Foto terakhir pada permukaan Titan, Misi Cassini – Huygens (kanan)

## URANUS

Uranus adalah planet gas raksasa dan memiliki cincin paling sedikitnya 13 cincin utama. Planet ini merupakan planet ketujuh dari Matahari di Tata Surya, berukuran terbesar ketiga, dan massa terbesar keempat. Planet ini merupakan planet pertama yang ditemukan pada era teleskop. Meskipun dapat diamati dengan mata telanjang seperti 5 planet klasik sebelumnya (Merkurius, Venus, Mars, Jupiter, dan Saturnus), tetapi karena luminositasnya cukup rendah, objek ini tidak pernah dikenali sebagai planet. Sir William Herschel mengumumkan penemuannya pada tanggal 13 Maret 1781, sehingga menambah batas Tata Surya yang telah diketahui untuk pertama kalinya dalam zaman modern (*modern epoch*). Planet ini juga merupakan planet pertama yang ditemukan dengan bantuan teleskop.

Uranus dan Neptunus mempunyai struktur internal dan komposisi atmosfer yang berbeda dari planet raksasa lainnya, Jupiter dan Saturnus. Oleh karena itu, astronom sering kali menempatkan kedua planet ini dalam kategori yang berbeda, yaitu planet raksasa es atau subraksasa.

Atmosfer Uranus, meskipun sebagian besar terdiri dari hidrogen dan helium, juga terdapat air dalam wujud es, ammonia, dan methane dalam jumlah besar, dan sedikit jejak hidrokarbon. Atmosfer Uranus merupakan atmosfer terdingin dalam Tata Surya, dengan suhu terendah sebesar  $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Uranus mempunyai struktur awan yang kompleks, dengan awan pada lapisan bawah diprediksikan terdiri dari air, sedangkan pada lapisan atas terdiri dari metana.

Seperti halnya planet gas raksasa lainnya, Uranus juga memiliki cincin, magnetosfer, dan banyak satelit alami. Uranus memiliki sistem konfigurasi yang unik, dimana sumbu rotasinya mirip ke samping, dan hampir sama dengan bidang revolusinya, sehingga Uranus terlihat

seperti menggelinding di langit dan keduanya kutubnya terletak pada tempat dimana bagi planet lain merupakan ekuatornya. Pada tahun 1986, berdasarkan gambar yang diperoleh wahana Voyager 2, tidak memiliki fitur pada daerah visual, tanpa pita awan atau badai yang tampak pada planet Jovian lainnya. Meskipun demikian, observasi terbaru menunjukkan bahwa adanya perubahan musim dan peningkatan aktivitas meteorology pada periode dimana Uranus mendekati ekuinoksnya Desember 2007. Kecepatan angin di permukaan Uranus dapat mencapai 250 m/s.

Tidak seperti planet lain di Tata Surya, inklinasi Uranus hampir  $97,77^\circ$ , atau condong ke porosnya, sehingga hampir sejajar dengan bidang orbitnya. Dengan konfigurasi demikian, dapat dikatakan bahwa Uranus bergulir pada orbitnya, dan kedua kutub menghadap Matahari dalam waktu yang lama berturut-turut. Salah satu dampak dari orientasi Uranus adalah daerah kutub menerima lebih banyak energi dari Matahari dibandingkan dengan daerah khatulistiwa. Namun demikian, daerah ekuator tetaplah lebih hangat daripada daerah kutub, mekanisme yang menyebabkan hal ini masih belum diketahui dengan pasti.

Satu kali revolusi Uranus mengelilingi Matahari sebesar 84 tahun Bumi, dengan jarak rata-rata dari Matahari berkisar 3 miliar km dengan intensitas sinar Matahari yang diperoleh sebesar  $1/400$  dari total yang diterima Bumi. Periode rotasi Uranus adalah 17 jam 14 menit. Pada atmosfer lapisan atas mengalami badai yang sangat kuat pada arah rotasinya, seperti yang terjadi pada planet gas raksasa lainnya. Karenanya, sekitar lintang 60, fitur atmosfer tampak bergerak jauh lebih cepat, dan menyelesaikan satu kali rotasi dalam waktu kurang dari 14 jam. Tekanan permukaan atmosfer Uranus kurang dari 1.3 bar, dan komposisi kimia atmosfer adalah 83% Hidrogen ( $H_2$ ), 15% Helium, 2.3% Metana, 0.009% Hidrogen deuteride (HD), serta es terdiri dari: Amonia, air, dan ammonium hidrosulfida ( $NH_4SH$ ), metana ( $CH_4$ ).

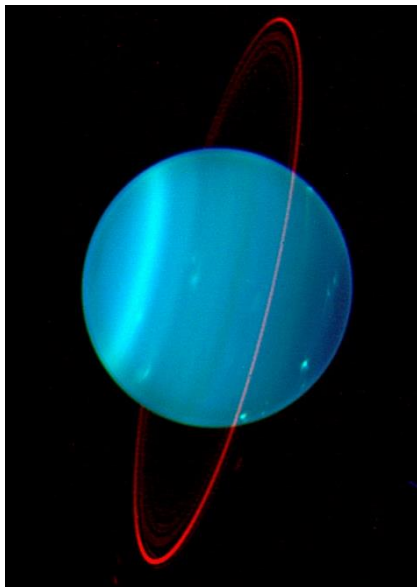


Fig. 15a: Uranus (kiri)

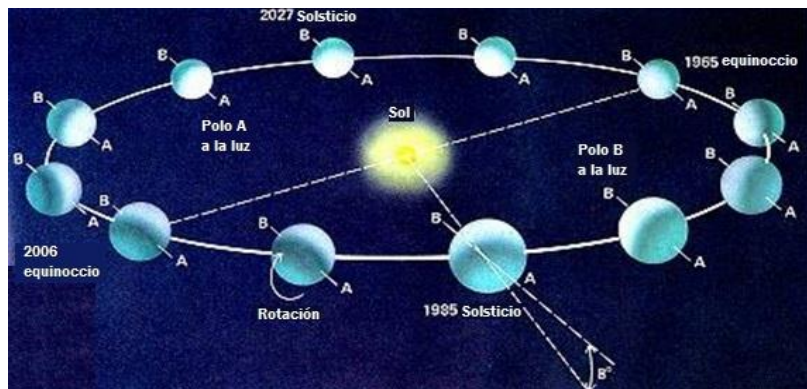


Fig. 15b: Orbit Uranus (kanan).

Meskipun hanya sedikit informasi yang diketahui mengenai komposisi internal planet Uranus, tapi dapat dipastikan bahwa komposisi tersebut berbeda dengan komposisi Jupiter maupun Saturnus. Model standar struktur Uranus menunjukkan bahwa inti Uranus seharusnya berupa

padatan dari silikat besi, dengan diameter kira-kira 7500 km, dilingkupi oleh mantel terbuat dari percampuran es (air yang membeku) dengan helium, metana, dan ammonia. Mantel tersebut mempunyai tebal hingga 10,000 km, dan selanjutnya terdapat atmosfer yang terdiri dari hidrogen dan cairan helium, kurang lebih setebal 7600 km. Uranus tidak cukup masif, seperti Jupiter dan Saturnus, untuk mempertahankan hidrogen dalam fase logam di sekeliling nukleusnya. Warna biru kehijauannya planet Uranus dikarenakan oleh adanya unsur metana pada atmosfer, yang mengabsorpsi panjang gelombang merah dan inframerah.

Uranus memiliki paling sedikit 27 satelit alami. Dua satelit pertama ditemukan oleh William Herschel pada tanggal 13 Maret 1787 dan dinamakan Titania dan Oberon.

## NEPTUNUS

Neptunus merupakan planet kedelapan dan planet terjauh dari Matahari pada Tata Surya. Planet Neptunus ditemukan oleh astronom Jerman, Johann Gottfried Galleon pada tanggal 23 September 1847, mengikuti prediksi yang dikemukakan oleh Urban Le Verrier berdasarkan perhitungan matematika pada daerah di langit yang kemungkinan akan ditemukan objek lain di dalamnya, hal ini juga dikemukakan oleh astronom Inggris John Couch Adam.

Neptunus tidak akan dapat teramati dengan mata telanjang dari Bumi dan tidak terlihat seperti piringan hijau kebiruan melalui teleskop. Planet ini hanya sekali dikunjungi oleh wahana antariksa, Voyager 2, pada tanggal 25 Agustus 1989. Satelit alami terbesar adalah Triton. Komposisi internal Neptunus hampir sama dengan komposisi Uranus. Inti Neptunus diyakini merupakan berupa padatan terbuat dari besi dan silikat, dengan massa sebesar massa Bumi, dan dilingkupi oleh mantel es, metan, 15% hidrogen dan sedikit helium. Pada Neptunus tidak terdapat struktur lapisan seperti pada Jupiter dan Saturnus.

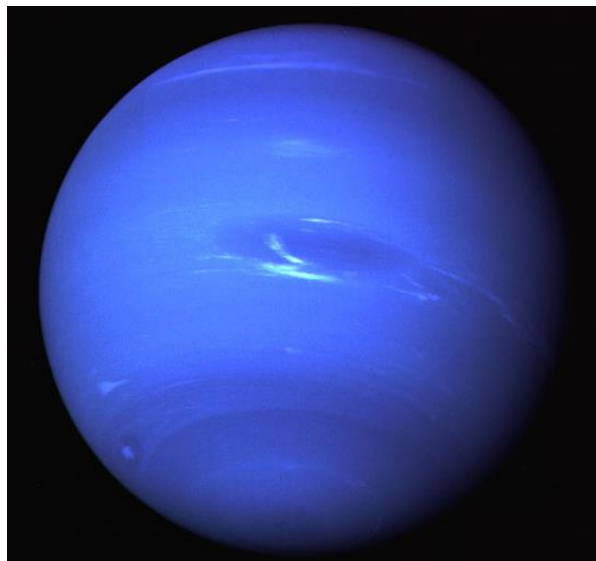


Fig. 16: Neptunus



Warna kebiruan Neptunus sebagian besar berasal dari metana, dimana mengabsorpsi cahaya tampak di panjang gelombang merah. Atmosfer Neptunus mengandung 80% Hidrogen (H<sub>2</sub>), 19% Helium, 1.5% Metana, ~0.019% Hidrogen deuteride (HD), ~0.00015% Etana, serta es yang terdiri dari amonia, air, amonium hidrosulfida, dan metana.

Seperti planet gas raksasa lainnya, Neptunus juga memiliki sistem aerolian berasal dari angin dengan kecepatan yang sangat tinggi pada pita sejajar dengan ekuator, yaitu pusaran badai besar. Angin tercepat yang ada di Neptunus dapat mencapai kecepatan lebih dari 2000 km / jam. Selama survei wahana Voyager 2, hal yang paling menarik adalah proses pembentukan dari Bintik Hitam Raksasa (*Great Dark Spot*), dengan ukuran kemungkinan sama dengan Bintik Merah Raksasa Jupiter (*Great Red Spot*). Bintik Hitam Raksasa merupakan badai besar antisiklon dengan kecepatan sebesar 1000 km/jam. Cincin Neptunus cenderung berwarna gelap dengan awal pembentukan masih belum diketahui. Neptunus memiliki paling sedikit 13 satelit alami, paling besar diantaranya adalah Triton, ditemukan oleh William Lassell, segera setelah 17 hari setelah planet Neptunus ditemukan.

## PLANET Kerdil

### PLUTO-CHARON AND ERIS

Meskipun banyak objek yang telah dikonfirmasi sebagai planet kerdil, Pluto (jarak rata-rata 39 AU), Charon (satelit Pluto), dan Eris (berukuran lebih besar dari Pluto), merupakan objek yang menarik.

Pluto ditemukan pada tahun 1930 oleh Clive Thombaugh, awalnya dikategorikan sebagai planet, dan dilakukan kategori ulang menjadi planet kerdil pada Agustus 2006. Inclinasi Pluto sebesar 17° terhadap bidang ekliptikanya. Jarak orbit Pluto pada titik perihelion berkisar 29.7 AU dan pada titik aphelion berkisar 49.5 AU. Satelit Pluto terbesar, Charon, cukup masif sehingga keduanya berputar di sekitar pusat gravitasinya dan selalu menunjukkan sisi yang sama; titik pusat massa berada diantara Pluto dan Charon. Empat satelit Pluto lainnya (Nix, Styx, Kerberos, dan Hydra) mengorbit Pluto. Pluto termasuk dalam objek resonansi Neptunus dengan resonansi orbital 3:2 (Pluto menyelesaikan dua kali revolusinya saat Neptunus telah menyelesaikan 3 kali revolusi).

Eris ditemukan pada Januari 2005 oleh tim Observatorium Palomar yang diketuai oleh Michael E. Brown. Dengan ukuran yang sedikit lebih besar dari Pluto, Eris sempat dikategorikan sebagai planet ke-10 hingga dikategorikan kembali oleh IAU pada 2006 sebagai planet kerdil. Eris memiliki satelit alami, yaitu Disnomia. Sama halnya seperti Pluto, Eris merupakan bagian dari Sabuk Kuiper dan objek Transneptunian.

## OBJEK LAIN DI TATA SURYA

### Ruang antarplanet

Selain cahaya, Matahari juga menghasilkan radiasi arus kontinu dari partikel-partikel bermuatan (plasma) yang disebut angin matahari. Angin matahari ini bergerak dengan kecepatan 1.5 juta km/jam, sehingga menciptakan lapisan heliosfer (*heliosphere*), atmosfer tipis yang mengelilingi Tata Surya seluas kurang lebih 100 AU (ujung heliosfer disebut *heliopause*). Materi yang membuat lapisan heliosfer ini dinamakan materi antarplanet. Siklus 11 tahun matahari, juga frekuensi lidah api (*solar flares*) dan lontaran massa korona (*coronal mass ejection*), mengganggu heliosfer dan menciptakan iklim antarplanet. Rotasi dari medan magnetik matahari dalam ruang antarplanet, menyebabkan adanya Lembar Aliran Heliosfer (*Heliospheric Current Sheet*), dan merupakan struktur terbesar dalam Tata Surya.

Medan magnetik Bumi melindungi atmosfernya dari angin matahari. Interaksi dari tumbukan antara angin matahari dan medan magnetik Bumi akan menghasilkan fenomena aurora pada kutub Bumi. Heliosfer merupakan perlindungan pertama Tata Surya dari sinar kosmik, dimana perlindungan ini akan lebih kuat untuk planet yang mempunyai medan magnet.

Pada ruang antarplanet juga merupakan tempat beradanya setidaknya dua daerah piringan yang berisi debu kosmik. Daerah pertama, awan debu zodiak<sup>4</sup>, terletak bagian dalam dan merupakan penyebab cahaya zodiak. Awan ini kemungkinan terbentuk akibat tumbukan dalam sabuk asteroid yang disebabkan oleh interaksi dengan planet-planet. Daerah kedua membentang antara 10–40 AU, dan kemungkinan disebabkan oleh tumbukan yang mirip pada sabuk Kuiper. Materi ini merupakan “sisa” dari akresi planet, dan meliputi kelompok yang bervariasi, seperti asteroid, komet, dan objek transneptunian.

### KOMET

Komet merupakan benda kecil Tata Surya, dengan diameter berorder kilometer, dan pada umumnya terbentuk oleh es yang mudah menguap. Komet memiliki eksentrisitas yang sangat besar, dengan titik perihelionnya terkadang berada di dalam Tata Surya, sedangkan titik aphelionnya berada lebih jauh dari Pluto. Ketika komet memasuki bagian dalam Tata Surya, akibat jaraknya yang dekat dengan Matahari, memacu adanya proses sublimasi dan ionisasi pada permukannya, dan menciptakan ekor komet, jejak panjang yang terbuat dari gas dan debu.

Komet periode pendek (contoh: Komet Halley) menyelesaikan orbitnya pada waktu kurang dari 200 tahun dan diyakini berasal dari sabuk Kuiper. Komet periode panjang (contoh: Komet Hale-Bopp) mempunyai periode ribuan tahun dan diyakini berasal dari awan Oort. Beberapa komet juga mempunyai trajektori hiperbola, dimana hal ini menunjukkan bahwa komet dapat melarikan diri dari Tata Surya. Komet tua telah kehilangan komponen yang mudah menguap dan sering dipercaya menjadi asteroid pada masa sekarang.

Centaur, berjarak diantara 9 – 30 AU, adalah objek-objek es yang mirip dengan komet, dimana orbitnya diantara Jupiter dan Neptunus. Objek Centaur terbesar yang diketahui, Chariklo,

---

<sup>4</sup> Debu yang ditemukan dalam Tata Surya, utamanya pada ruang diantara Matahari dan Jupiter.

mempunyai diameter berkisar antara 200 dan 250 km. Objek Centaur pertama, Chiron, pada awalnya dikategorikan sebagai komet karena memiliki ekor layaknya ekor komet. Beberapa astronom menggolongkan Centaur sebagai bagian dari sabuk Kuiper.



Fig. 17: Komet

## RESERVOIR BENDA KECIL TATA SURYA

Reservoir dalam hal ini mengacu pada daerah relatif stabil di Tata Surya, dimana objek Tata Surya yang dapat berada di daerah tersebut dalam waktu yang lama, hingga orbitnya berubah akibat adanya gaya gangguan.

Ada 3 reservoir besar pada Tata Surya:

**1. Sabuk Asteroid Utama.** Populasi objek yang terdapat pada daerah ini seperti asteroid yang menuju Bumi (disingkat dengan NEAS, *Near Earth Asteroid*). Asteroid merupakan objek kecil yang dominan pada Tata Surya yang terbuat dari batu dan mineral logam yang tidak mudah menguap. Sabuk asteroid berada orbit diantara Mars dan Jupiter, dengan jarak berkisar 2.3 – 3.3 AU dari Matahari. Sabuk asteroid ini terbentuk dari primordial solar nebula planetesimal, atau sisa-sisa kehancuran dari cikal bakal planet. Planetesimal dalam pembentukan planet telah terganggu cukup kuat oleh gravitasi Jupiter, sehingga gagal menjadi planet.

Ukuran Asteroid cukup bervariasi dari ukuran dalam ratusan kilometer sampai debu mikroskopik. Semua Asteroid, kecuali untuk Ceres, dikategorikan sebagai benda kecil Tata Surya. Beberapa Asteroid besar seperti Vesta dan Hygeia dapat dikategorikan sebagai planet kerdil, jika dalam kedepannya Asteroid tersebut dapat mencapai kesetimbangan hidrostatik. Sabuk asteroid mengandung ribuan, bahkan jutaan objek dengan diameter lebih dari satu kilometer. Namun demikian, total massa sabuk ini hanya berkisar 1/1000 dari massa Bumi.

Ceres (berjarak 2.77 AU dari Matahari) merupakan objek terbesar pada sabuk Asteroid dan satu-satunya yang dikategorikan sebagai planet kerdil. Dengan diameter hampir sebesar 1000 km, dan memiliki massa yang cukup besar untuk mencapai kesetimbangan hidrostatik, ditandai dengan bentuknya yang bulat.

**2. Sabuk Transneptunian.** Tempat dimana komet periode pendek berasal. Sabuk Kuiper adalah sebuah cincin raksasa yang mirip dengan sabuk asteroid, dengan komposisi utamanya adalah es. Bagian pertama dari sabuk Kuiper memanjang antara 30 hingga 50 AU dari Matahari dan berhenti pada “tebing Kuiper”, dimana merupakan titik awal dari bagian kedua hingga 100 AU. Daerah ini diyakini sebagai sumber dari komet periode pendek. Sabuk ini terdiri dari beberapa objek kecil, dan beberapa objek besar, seperti Quaoar, Varuna, atau Orcus, yang mungkin dapat diklasifikasikan sebagai planet kerdil. Sabuk Kuiper dapat dibagi menjadi objek “sabuk klasik” dan objek beresonansi dengan Neptunus. Sebagai contoh dari objek resonansi ini adalah dua orbit objek plutonian untuk setiap tiga orbit Neptunus.

**3. Awan Oort.** Memiliki distribusi bola dan dibentuk oleh planetesimal yang beku yang disapu keluar oleh planet raksasa selama masa pembentukan Tata Surya. Akibat adanya gangguan dari papasan dekat bintang atau awan molekul raksasa, atau gaya pasang surut galaksi, orbit dari beberapa objek ini dapat berubah membelok menuju bagian dalam Tata Surya, menjadi komet periode panjang.

## SISTEM KEPLANETAN LAIN

Pada tahun 1995, astronomer Swiss, Michael Mayor dan Didier Queloz mengumumkan bahwa mereka berhasil mendeteksi eksoplanet yang mengorbit 51 Pegasi. Bintang dan planet kemudian dinamai Helvetios dan Dimidio pada tahun 2015 setelah dilakukan voting umum yang dilakukan IAU.

Pada 10 Mei 2016, para saintis yang berkolaborasi pada misi teleskop Kepler, misi pertama NASA untuk mencari planet yang habitable seukuran Bumi, mengumumkan koleksi terbesar eksoplanet baru. Dari 5,000 kandidat, lebih dari 3200 sudah terkonfirmasi, dan 2325 diantaranya terkonfirmasi menggunakan teleskop Kepler.

Satelit NASA “*Transiting Exoplanet Survey*”, yang mengorbit sejak tahun 2018, juga menggunakan metode yang sama dengan teleskop Kepler untuk mengamati 200,000 bintang terang yang dekat untuk mencari planet terutama dengan seukuran Bumi atau lebih besar dari Bumi (Super Earth).

Berapa banyak bintang yang memiliki planet? Berapa banyak sistem planet tersebut yang memiliki planet pada zona layak-hidup (*habitable zone*), dimana air dapat berupa zat cair, dan planet tersebut berada pada posisi yang ideal dari bintang induknya. Berapa banyak planet yang terdapat kehidupan didalamnya? Pertanyaan - pertanyaan inilah yang hingga sekarang masih belum terjawab oleh astronomi modern, dan masih dicari jawabannya.

## REFERENSI

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.