

# Planet dan eksoplanet

**Rosa M. Ros, Hans Deeg**

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia (Spain),  
Instituto de Astrofísica de Canarias and University of La Laguna (Spain)

## Intisari

Lokakarya ini menyediakan serangkaian kegiatan untuk membandingkan banyak properti yang diamati (seperti ukuran, jarak, kecepatan orbital, dan kecepatan lepas) dari planet-planet di Tata Surya kita. Setiap bagian memberikan konteks ke berbagai tabel data planet dengan memberikan demonstrasi atau perhitungan untuk membandingkan sifat-sifat planet, memberikan siswa rasa konkret untuk apa arti data.

Saat ini, beberapa metode digunakan untuk menemukan exoplanet, kurang lebih secara tidak langsung. Telah dimungkinkan untuk mendeteksi hampir 4000 planet, dan sekitar 500 sistem dengan banyak planet

## Tujuan

- Memahami apa nilai numerik dalam tabel data ringkasan Tata Surya artinya.
- Memahami karakteristik utama sistem planet ekstrasolar dengan membandingkan propertinya dengan sistem orbital Jupiter dan satelit Galileanya.

## Tata Surya

Dengan menciptakan model skala Tata Surya, diharapkan siswa dapat membandingkan berbagai parameter planet. Tabel 1 akan digunakan sebagai data utama untuk setiap aktivitas yang dilakukan pada lokakarya ini.

Planets	Diameter (km)	Distance to Sun (km)
Sun	1 392 000	
Mercury	4 878	57.9 $10^6$
Venus	12 180	108.3 $10^6$
Earth	12 756	149.7 $10^6$
Marte	6 760	228.1 $10^6$
Jupiter	142 800	778.7 $10^6$
Saturn	120 000	1 430.1 $10^6$
Uranus	50 000	2 876.5 $10^6$
Neptune	49 000	4 506.6 $10^6$

Tabel 1. Data Planet di Tata Surya

Dalam semua kegiatan pada lokakarya ini, tujuan utama setiap model adalah untuk membuat data numerik setiap planet dapat dimengerti oleh siswa. Jutaan kilometer bukan jarak yang mudah dipahami. Namun, jika diterjemahkan ke jarak dan ukuran berskala, siswa cenderung

akan lebih mudah memahami dan membayangkannya.

## Model Tata Surya

### Aktivitas 1: Models Diameter

Dengan menggunakan potongan besar (atau beberapa bagian kecil yang digabungkan jika perlu) kertas kuning. Potong kertas kuning tersebut berbentuk lingkaran dengan diameter 139 yang akan mewakili Matahari, dimana skala 1 sebanding dengan 10,000 pada ukuran sebenarnya. Buatlah setiap planet pada kertas yang berbeda, disarankan dengan menggunakan kertas karton polos atau kertas origami, dan gambarlah karakteristik morfologis untuk setiap planet (contoh: Cincin planet, warna planet, dkk). Tempelkan setiap planet yang telah dibuat pada piringan Matahari, sehingga siswa dapat memahami perbedaan ukuran antara Matahari dan setiap planet.

Perhatikan diameter setiap planet akan berbeda. Dengan skala yang sama seperti Matahari (1 per 10,000), maka skala diameter setiap planet adalah: Matahari 139, Merkurius 0.5, Venus 1.2, Bumi 1.3, Mars 0.7, Jupiter 14.3, Saturnus 12, Uranus 5, dan Neptunus 4.9.

Saran: Dapat pula dilakukan pada baju/kaos. Lukislah dengan menggunakan cat untuk setiap planet dengan skala diameter yang telah diberikan, tetapi hanya lukis sebagian kecil dari Matahari (tinjau gambar 2a dan 2b).



Gbr. 1 dan 2: Contoh kemeja yang memberikan perbandingan skala diameter Solar dan planet.

### Aktivitas 2: Model Jarak

Dengan membandingkan jarak antara planet dan Matahari, kita dapat menghasilkan model lain yang mudah dipasang atau mudah diletakkan pada lorong sekolah atau tempat manapun

di dalam sekolah yang memungkinkan. Pertama, potong beberapa karton dengan lebar 10 , hubungkan karton-karton tersebut hingga mendapatkan strip panjang beberapa meter (tinjau gambar 3). Pada kertas yang berbeda, potong setiap planet (potongan planet pada model sebelumnya dapat digunakan kembali). Kemudian pada strip panjang yang telah dibuat, letakkan potongan planet sesuai dengan jaraknya dengan benar.

Mohon ingatkan siswa bahwa dalam model jarak ini skala yang digunakan berbeda dengan model diameter yang sebelumnya dibuat. Pada model ini, skala yang digunakan akan lebih kecil, planet-planet akan seribu kali lebih kecil dibandingkan model sebelumnya, dimana 1 sebanding dengan 10,000,000 sementara pada model sebelumnya skala yang digunakan adalah 1 per 10,000 .

Dengan skala 1 per 10 , maka skala jarak setiap planet dari Matahari adalah: Merkurius 6, Venus 11, Bumi 15, Mars 23, Jupiter 78, Saturnus 143, Uranus 288, dan Neptunus 450.



Gbr. 3: Model jarak.

Saran: Untuk mempermudah dalam pemodelan dapat menggunakan tissue toilet, dimana setiap lembar digunakan sebagai perhitungan skala. Sebagai contoh: satu lembar tissue toilet sebanding dengan 20 pada jarak sebenarnya.

### Aktivitas 3: Model Diameter dan Jarak

Tantangan selanjutnya adalah cara menggabungkan antara kedua aktivitas di atas dan membuat model baru yang dapat mewakili baik ukuran diameternya serta jarak yang sesuai. Pada prakteknya, penggabungan dua model sebelumnya tidaklah mudah, dengan menentukan perbandingan skala yang memungkinkan kita untuk mewakili planet-planet dengan benda yang tidak terlalu kecil dan masih memiliki jarak yang tidak terlalu besar, dalam hal ini ukuran dan jarak tidak mudah untuk terasimilasi, dan model tidak terlalu bermanfaat bagi siswa. Sehingga sebagai saran, mungkin ide yang bagus untuk menggunakan halaman sekolah saat membuat model dan menggunakan bola sebagai planet-planet dengan diameter yang berbeda sesuai dengan kebutuhan.

Sebagai contoh, akan diberikan solusi yang memungkinkan. Di salah satu ujung halaman sekolah, letakkan bola basket dengan diameter berkisar 25 yang mewakili Matahari. Merkurius dimisalkan dengan kepala jarum berdiameter 1 dan terletak 10 dari Matahari (dapat pula dimisalkan setiap langkah siswa sebanding dengan 1 , sehingga Merkurius berjarak 10 langkah dari Matahari). Kepala jarum sedikit lebih besar (diameter 2 ) akan mewakili Venus dengan jarak 19 dari Matahari, sementara Bumi akan dimisalkan dengan kepala jarum lain

yang serupa dengan Venus (diameter 2 ) dengan jarak 27 dari Matahari. Mars akan diwakili oleh kepala jarum yang lebih kecil dengan Bumi, dan seukuran dengan Merkurius dengan diameter kepala jarum 1 terletak sejauh 41 dari Matahari. Normalnya, halaman sekolah akan berakhir di sini, atau mungkin telah berakhir pada Bumi. Untuk planet Jovian haruslah diletakkan pada tempat lain di luar halaman sekolah, tetapi disarankan pada tempat di sekitar sekolah dimana para siswa familiar dengan jaraknya. Bola pingpong (berdiameter 2.5 ) mewakili Jupiter dengan jarak 140 dari Matahari. Bola pingpong dengan ukuran yang lebih kecil (diameter 2 ) akan menjadi Saturnus pada jarak 250 dari Matahari. Bola kelereng dengan diameter 1 akan menjadi Uranus pada 500 dari Matahari, dan bola kelereng lainnya (diameter 1 ) akan mewakili Neptunus berjarak 800 dari Matahari.

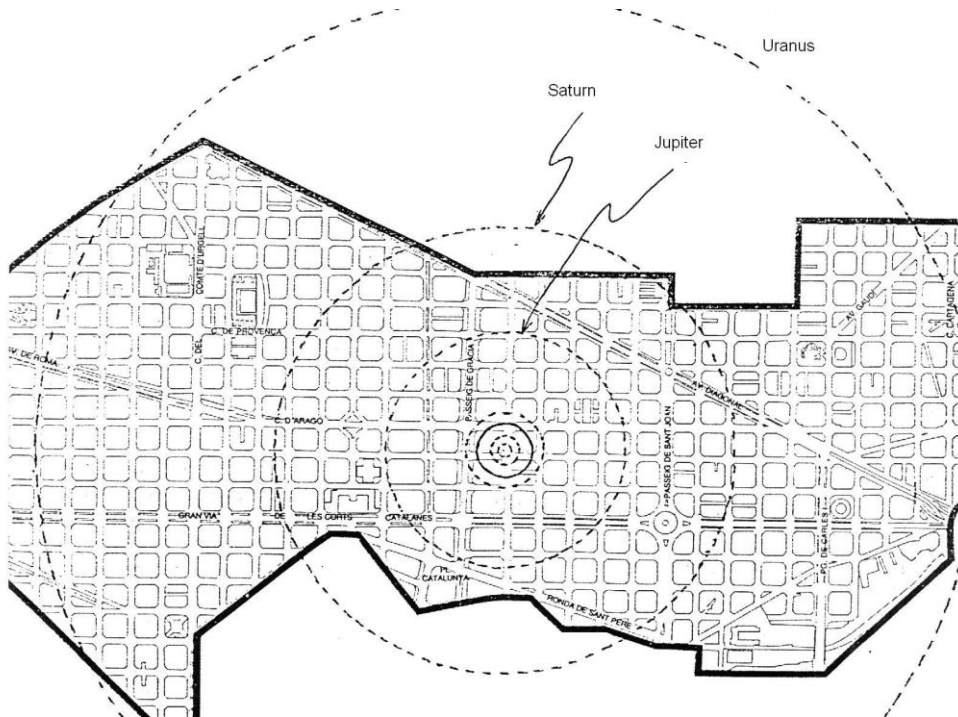


Gbr. 4: Matahari dan planet-planet model diameter dan jarak.

Perlu ditekankan bahwa sistem planet ini tidak akan memungkinkan untuk berada dalam satu area sekolah. Namun, jika skala kita diperkecil dengan harapan jarak antar planet dan Matahari akan semakin kecil dan dapat dimuat dalam satu sekolah, hal ini akan berimbas pada ukuran planet terutama untuk planet dalam, planet Merkurius hingga planet Mars akan menjadi lebih kecil dari kepala jarum dan hampir akan mustahil untuk divisualisasikan. Sebagai tugas akhir, anda dipersilahkan untuk menghitung besar skala yang digunakan untuk mengembangkan model ini.

#### Aktivitas 4: Model pada Peta Kota

Ide dari model ini adalah cukup sederhana – menggunakan peta kota untuk menentukan posisi setiap planet dengan asumsi bahwa Matahari terletak pada gerbang pintu masuk sekolah. Sebagai contoh, pada gambar 5 adalah peta kota Barcelona lengkap dengan posisi setiap planet. Tersedia pula data model objek yang akan mewakili setiap planet (buah atau jenis sayuran tertentu) yang akan terletak sesuai dengan posisi setiap planet, sehingga diharapkan perbandingan ukuran akan terbayang dengan lebih baik. Sebagai latihan, sangat disarankan untuk melakukan aktivitas yang sama pada kota anda sendiri.



Gbr. 5: Peta "Eixample de Barcelona" dengan beberapa planet.

Dengan menggunakan peta kota pada gambar 5, Merkurius akan diwakili oleh telur ikan, Venus dan Bumi oleh kacang polong, Mars oleh butiran lada, Jupiter jeruk, Saturnus jeruk keprok, sedangkan untuk Uranus dan Neptunus diwakili oleh sepasang walnut. Untuk Matahari, karena tidak ada jenis sayuran maupun buah-buahan dengan ukuran yang sangat besar, maka sebaiknya siswa dapat membayangkan sebuah bola dengan ukuran sebesar mesin cuci. Instruktur dapat melakukan hal yang sama dengan menggunakan peta kota masing-masing.

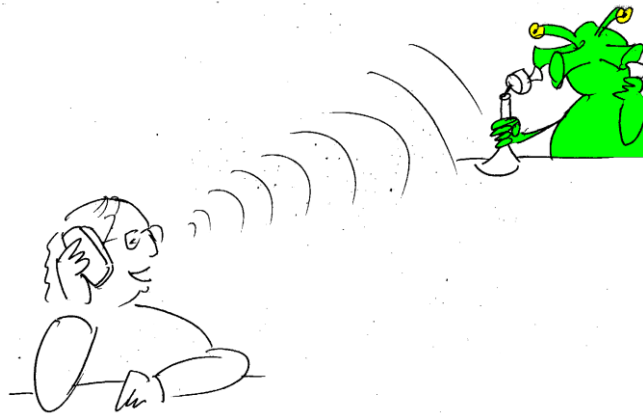


Gambar 6a dan 6b: Foto kota Metz.

Di kota Metz (Perancis), terdapat model Tata Surya yang tersebar di jalan maupun alun-alun kota, dengan model planet-planet yang bersesuaian dan dilengkapi dengan panel informasi planet terkait untuk masyarakat umum.

## Aktivitas 5: Model Waktu

Dalam perhitungan astronomi, satuan jarak yang umum digunakan adalah tahun cahaya, akan tetapi hal ini seringkali disalahartikan sebagai satuan waktu. Konsep ini dapat diilustrasikan menggunakan model Tata Surya. Dengan kecepatan cahaya sebesar  $= 300,000 \text{ km/s}$ , maka dalam 1 detik, cahaya dapat menempuh jarak sejauh 300,000 km. Sebagai contoh, untuk melakukan perjalanan dari Bulan ke Bumi, dimana diketahui jarak Bumi-Bulan 384,000 km, cahaya hanya memerlukan waktu sebesar 1,3 detik.



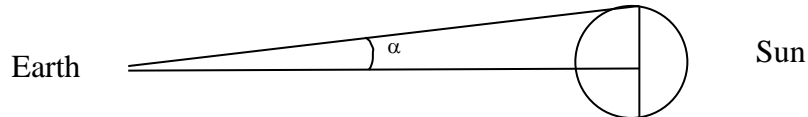
Gbr. 7: Contoh lain

Dengan menggunakan contoh sebagai acuan, silahkan untuk mengintruksikan siswa untuk menghitung waktu yang dibutuhkan oleh cahaya matahari untuk mencapai permukaan setiap planet. (Berikut adalah data waktu yang dibutuhkan oleh cahaya matahari ke permukaan setiap planet: Merkurius 3,3, Venus 6, Bumi 8.3, Mars 12.7, Jupiter 43.2, Saturnus 1.32, Uranus 2.66 dan Neptunus 4.16). Anda juga dapat meminta siswa untuk membayangkan seperti apa atau bagaimana jika sebuah video konferensi dilakukan antara Matahari dan salah satu planet.

Pada kegiatan ini, diperkenalkan pula jarak ke bintang terdekat, dengan tujuan agar dapat memvisualisasikan jarak yang sangat jauh ke bintang lainnya, dan merupakan alasan mengapa sistem planet ekstrasurya sangat sulit untuk ditemukan. Bintang yang terdekat dari Tata Surya adalah bintang Alpha Centauri dengan jarak  $4.37 \text{ h}$  atau  $4.13 \cdot 10^{13}$  dari Matahari. Anda dapat meminta siswa untuk menghitung jarak bintang Alpha Centauri ke salah satu planet ataupun pada model jarak dan diameter sebelumnya. Dalam model “halaman sekolah” dengan skala 1 per 56,000, bintang Alpha Centauri akan berada pada jarak 7375 dari Matahari, anda dipersilahkan untuk memberikan gambaran sejauh apa dengan menyebutkan tempat sekiranya dimanakah jarak 7375 berada dari kota anda

### Aktivitas 6: Matahari dilihat dari planet-planet

Dari salah satu planet, contohnya Bumi, Matahari dapat dinyatakan dengan sudut (tinjau gambar 8). Untuk nilai yang sangat kecil, gunakan  $\tan \approx$  (dalam satuan radian).



Gambar 8: Dari Bumi, Matahari menyudutkan sudut  $\alpha$ .

Diketahui diameter Matahari adalah  $1.4 \cdot 10^6$ , sehingga radius Matahari sebesar  $0.7 \cdot 10^6$ , dan jarak Bumi-Matahari adalah  $150$  atau  $1.5 \cdot 10^8$ , maka:

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radians}$$

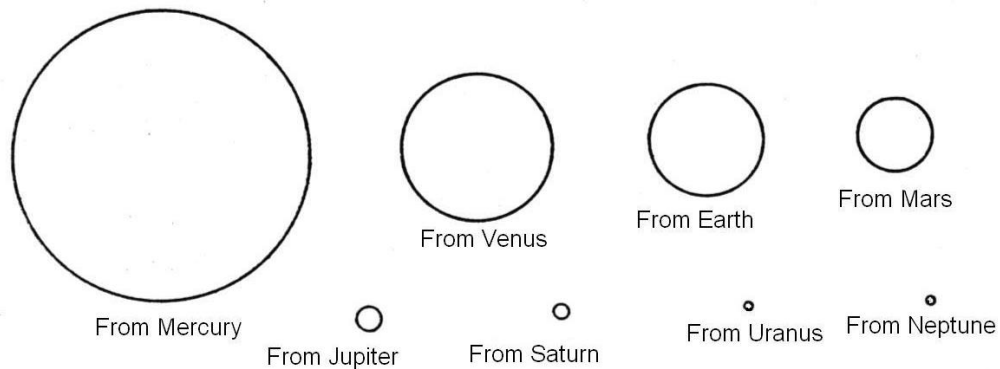
Dalam derajat:

$$\frac{0,0045 \cdot 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

Dapat disimpulkan bahwa dari Bumi, ukuran Matahari akan sebesar  $2 \alpha = 2(0.255^\circ) = 0.51^\circ$ , atau sekitar setengah derajat. Dengan melakukan perhitungan yang sama pada setiap planet, akan diperoleh ukuran Matahari dilihat dari masing – masing planet. Ukuran Matahari ini dapat dilihat pada tabel 2 dan pada gambar 9 akan diperlihatkan ukuran relatif untuk setiap planet.

Planets	$2 \tan \alpha$	$2\alpha$ (°)	$2\alpha$ (°) approx.
Mercury	0.024	1.383	1.4
Venus	0.0129	0.743	0.7
Mars	0.006	0.352	0.4
Jupiter	0.0018	0.1031	0.1
Saturn	0.000979	0.057	0.06
Uranus	0.00048	0.02786	0.03
Neptune	0.0003	0.0178	0.02

Tabel 2. Data ukuran Matahari untuk setiap planet.



Gambar 9: Matahari terlihat dari setiap planet: Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus.

### Aktivitas 7: Model Densitas

Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk mencari sampel bahan atau material yang mudah untuk dimanipulasi dan memiliki densitas atau kerapatan yang mirip dengan setiap objek di Tata Surya, agar kita seolah-oleh merasakan Tata Surya dalam gengaman.

	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Sun	1.41
Mercury	5.41
Venus	5.25
Earth	5.52
Moon	3.33
Mars	3.9
Jupiter	1.33
Saturn	0.71
Uranus	1.3
Neptune	1.7

Tabel 3. Densitas Matahari dan setiap planet



Gambar 10: Model kepadatan



Minerals	Density	Other materials	Density
Plaster	2.3	Glycerin	1.3
Orthoclase	2.6	Cork	0.24
Sulfur	1.1-2.2	Aluminium	2.7
Alite	2	Iron	7.86
quartz	2.65	Cement	2.7 – 3.1
Borax	1.7	Glass	2.4 – 2.8
Blende	4	Tin	7.3
Pyrite	5.2	Clay	1.8 – 2.5
Erythrocytes	5.4	Bakelite	1.25
Calcite	2.7	Oak	0.90
Galena	7.5	Pinewood	0.55

Table 4: Contoh densitas beberapa material

Data densitas Matahari dan planet-planet terdapat pada tabel 3. Dari tabel 3, cukup bandingkan nilai kerapatan dengan densitas berbagai mineral (pada setiap sekolah biasanya mempunyai beberapa koleksi mineral) atau dengan sampel bahan / material lain yang mudah ditemukan, seperti kaca, keramik, kayu, plastik, dkk. Pada tabel 4 menyajikan beberapa contoh material lengkap dengan densitasnya dalam satuan/.

Dapat pula menggunakan bahan yang tidak tercantum pada tabel 4. Perhitungan densitas atau kerapatan pun cukup mudah dilakukan. Pertama, ambil sebagian bahan, lalu timbang untuk mengetahui massanya, disimbolkan. Selanjutnya letakkan bahan tersebut pada gelas ukur yang berisi air (catat terlebih dahulu volume air mula-mula), ketika gelas ukur telah diisi oleh bahan, hitunglah kenaikan air dan catat sebagai volume dari bahan, disimbolkan. Densitas  $d$  bahan tersebut dapat dihitung dengan

$$d = \frac{m}{V}$$

Perlu diperhatikan juga bahwa pastikan berdasarkan tabel 4, siswa mengetahui bahwa Saturnus akan terapung dalam air, dikarenakan densitas Saturnus kurang dari 1

## Aktivitas 8: Model Perataan Planet

Untuk memvisualisasikan deformasi (perataan) gas planet karena gaya sentrifugal yang dihasilkan akibat gerak rotasi planet, pada aktivitas ini akan dibuat model perataan planet secara sederhana

Seperti pada gambar 11, dengan tongkat dan beberapa strip kardus, model dapat dengan mudah dibuat dan dapat mempresentasikan perataan planet akibat oleh gerak rotasi planet itu sendiri.

Cara pembuatan model:

1. Potong beberapa potongan karton dengan ukuran lebar 1 cm dan panjang 35 cm, banyak potongan karton menyesuaikan dengan diameter stick yang digunakan.

2. Pasang kedua ujung potongan karton ke 50 cm tongkat stick. Pasang ujung atas karton ke tongkat secara permanen sehingga ujung karton tidak akan bergerak, tetapi pada ujung bawah karton, keratkan ujung sedemikian rupa agar karton dapat bergerak bebas sepanjang tongkat.
3. Putar tongkat dengan menempatkannya di antara dua telapak tangan, lalu putar dengan cepat dalam satu arah. Akan terlihat bagaimana gaya sentrifugal akan mendeformasi pita karton, proses yang sama terjadi pada deformasi planet.



Gbr. 11: Model untuk mensimulasikan perataan karena rotasi

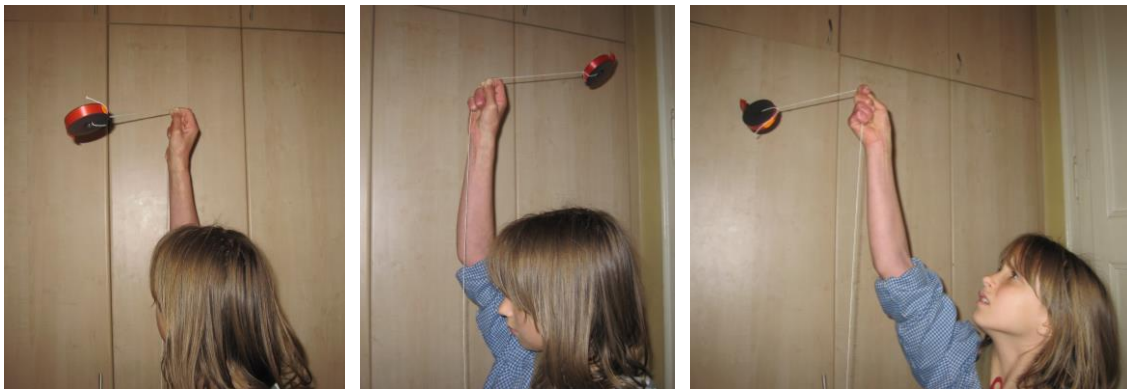
### Aktivitas 9: Model Periode Orbital Planet

Planet mengorbit Matahari dengan kecepatan yang berbeda dan periode orbit yang berbeda pula (tinjau tabel 5). Dengan mengetahui periode dan jarak rata-rata dari Matahari, maka kecepatan orbital rata-rata setiap planet dapat dihitung. Akan diberikan cara perhitungan kecepatan orbital rata-rata Bumi sebagai contoh. Langkah yang sama dapat pula digunakan untuk mengetahui besar kecepatan orbital rata-rata planet lain. Panjang revolusi orbital adalah  $L = 2 \pi R$ , sehingga kecepatan orbital rata-rata adalah  $v = L / T = 2 \pi R / T$ . Untuk Bumi, periode adalah 365 hari, kemudian  $v = 2.582.750 \text{ km / hari} = 107.740 \text{ km / h} = 29,9 \text{ km / s}$ , di mana jarak dari Bumi ke Matahari  $R = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ . Kami menekankan bahwa Matahari juga berputar di sekitar pusat galaksi dengan kecepatan  $220 \text{ km / s}$ , atau apa yang sama sekitar  $800.000 \text{ km / jam}$ .

Planet	Orbital period (days)	Distance from the Sun (km)	Orbital average speed (km/s)	Orbital average speed (km/h)
Mercury	87.97	$57.9 \cdot 10^6$	47.90	172440
Venus	224.70	$108.3 \cdot 10^6$	35.02	126072
Earth	365.26	$149.7 \cdot 10^6$	29.78	107208
Mars	686.97	$228.1 \cdot 10^6$	24.08	86688
Jupiter	4331.57	$778.7 \cdot 10^6$	13.07	47052
Saturn	10759.22	$1\,430.1 \cdot 10^6$	9.69	34884
Uranus	30.799.10	$2\,876.5 \cdot 10^6$	6.81	24876
Neptune	60190.00	$4\,506.6 \cdot 10^6$	5.43	19558

Tabel 5: Data orbital dari badan Tata Surya

Merkurius merupakan planet yang memiliki kecepatan orbital rata-rata paling besar, sebaliknya planet terjauh, Neptunus sebagai planet terlambat. Bangsa Romawi telah mengetahui bahwa Merkurius merupakan planet tercepat di antara planet lain, dan Merkurius diidentifikasi sebagai utusan para dewa dan disimbolkan dengan kaki bersayap (*winged feet*). Periode revolusi atau setahun Merkurius hanya berlangsung selama 88 hari. Bahkan jika mengamati dengan mata telanjang dari Bumi selama beberapa minggu, akan terlihat bahwa Jupiter dan Saturnus bergerak jauh lebih lambat melintasi rasi bintang zodiac daripada Venus dan Mars.



Gambar 12a, 12b dan 12c: Mensimulasikan gerakan melingkar planet-planet.

Terdapat cara sederhana untuk mengetahui secara nyata hubungan antara jarak dan periode orbital.

Sediakan benda dengan massa sedang, seperti spidol, dan seutas tali. Lekatkan benda pada salah satu ujung tali, pastikan tali terikat dengan kuat. Pegang tali pada ujung yang lain. Putarlah tali dengan gerakan melingkar di atas kepala. Kemudian cobalah untuk mengendurkan atau menarik tali saat benda berputar. Jika tali dipanjangkan, terlihat bahwa kecepatan objek semakin lambat dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan satu periode orbit. Sebaliknya jika tali dipendekkan, terlihat bahwa kecepatan objek akan bertambah, dan membutuhkan waktu yang lebih sedikit untuk menyelesaikan satu periode orbit.

Model di atas dapat dikembangkan dan disesuaikan dengan data orbit planet di Tata Surya. Benda dan panjang tali dapat dipilih secara proporsional berdasarkan jari-jari orbit planet (dengan asumsi planet bergerak dalam orbit lingkaran). Sebaiknya potong tali sepanjang 20 , dibandingkan jika memotong tali secara terpisah untuk setiap planet. Pada tali 20 , dengan menggunakan skala yang sesuai, ukur dan tandai jarak dari benda untuk setiap planet atau secara sederhana buat simpul sebagai tanda. Kemudian, tali dapat dipegang sesuai lokasi simpul ketika memutar benda, dan lakukan transisi dari planet Merkurius hingga Neptunus.

Dalam menggunakan model ini, pegang tali pada lokasi simpul dan putar di atas kepala kita, usahakan bidang putaran benda sejajar lantai dengan kecepatan seminimum mungkin yang akan membuat benda tetap berputar pada orbitnya. Hasil dari percobaan ini adalah kecepatan yang kita butuhkan untuk menjaga benda tetap berputar semakin besar untuk radius yang

semakin kecil. Hal inilah yang menyebabkan Merkurius sebagai planet terdekat merupakan planet tercepat, sebaliknya Neptunus sebagai planet terjauh merupakan planet terlambat.

### Aktivitas 10: Model Gravitasi Permukaan

Rumus untuk gaya gravitasi,  $F = G \frac{Mm}{d^2}$ , memungkinkan kita untuk menghitung gravitasi permukaan  $g$  yang bekerja pada permukaan planet dengan massa  $M$ . Mempertimbangkan satuan satuan ( $m = 1$ ) pada permukaan planet ( $d = R$ , jari-jari planet), kita mendapatkan gravitasi permukaan  $g = \frac{GM}{R^2}$ , di mana  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  adalah konstanta gravitasi universal. Jika kita mengganti massa planet dengan  $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ , di mana  $\rho$  adalah kepadatan planet dan jari-jarinya  $R$ , kita menemukan:

$$g = \frac{4}{3} \pi G \rho R$$

Mengganti dua variabel terakhir ini untuk nilai-nilai yang tercantum dalam tabel 6 (setelah mengkonversi radius ke meter dan kepadatan menjadi  $\text{kg/m}^3$ , dengan  $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ ), kita dapat menghitung nilai gravitasi permukaan  $g$  untuk semua planet

Planet	R equatorial radius (km)	$\rho$ density ( $\text{g/cm}^3$ )	$g$ surface gravity ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )
Moon	1738	3.3	1.62
Mercury	2439	5.4	3.70
Venus	6052	5.3	8.87
Earth	6378	5.5	9.81
Mars	3397	3.9	3.71
Jupiter	71492	1.3	24.8
Saturn	60268	0.7	8.96
Uranus	25559	1.2	8.69
Neptune	25269	1.7	11.00

Tabel 6: Ukuran, kerapatan dan gravitasi permukaan benda-benda Tata Surya.

Mari kita lihat beberapa contoh:

$$g_{mercury} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5400 \text{ kg/m}^3 = 3.7 \text{ m/s}^2,$$

$$g_{venus} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 6052 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5300 \text{ kg/m}^3 = 8.9 \text{ m/s}^2.$$

Demikian pula, kita dapat menghitung  $g$  untuk sisa planet. Seperti pada tabel 7, gravitasi permukaan sering diberikan relatif terhadap Bumi, dan ditunjukkan oleh huruf  $g$ .

### Model Timbangan Manual

Tujuan utama dari aktivitas pemodelan ini adalah untuk mengembangkan 9 (sembilan) set timbangan manual yang akan mempresentasikan besar gravitasi permukaan ke-delapan planet dan juga Bulan, sehingga siswa dapat mensimulasikan penimbangan berat badan di setiap

planet dan juga Bulan, diharapkan dengan aktivitas ini siswa akan lebih memahami arti dari setiap nilai numerik yang mereka dapatkan pada aktivitas sebelumnya.

Dikarenakan proses pembuatan yang sama untuk setiap planet, dalam subbab ini hanya akan dideskripsikan satu contoh. Ide dasar dari aktivitas ini adalah membuka skala yang ada pada timbangan manual dan menggantinya dengan skala replika yang baru dengan bobot yang sudah terkalibrasi untuk planet tertentu.

Cara pembuatan model:

1. Buka timbangan. Pada umumnya, terdapat dua pegas sebagai penyangga *base* timbangan. Pastikan kedua pegas tidak akan hilang karena akan digunakan kembali ketika penyusunan akhir (tinjau gambar 13)
2. Ketika telah terbuka, ambillah disk skala timbangan yang ada, anda dapat menggantinya dengan disk baru atau ditulis ulang pada disk yang lama sesuai dengan bobot skala yang seharusnya untuk planet tertentu.
3. Pada tabel 7, terdapat data gravitasi permukaan untuk Bulan dan setiap planet di Tata Surya, dan pada kolom kedua, disajikan pula data setiap gravitasi permukaan relatif terhadap gravitasi Bumi. Nilai ini akan menjadi acuan konversi nilai disk skala baru terhadap nilai disk skala lama. Sederhananya lakukan perkalian berdasarkan data pada kolom ke dua tabel 7, contoh: untuk skala Bulan, terlihat bahwa gravitasi permukaan Bulan 0.16 relatif terhadap gravitasi Bumi, sehingga disk skala yang baru haruslah mempunyai skala 0.16 relatif terhadap gravitasi Bumi. Hal ini berarti untuk skala 10 kg disk lama harus digantikan menjadi 1.6 kg, dimana formula yang digunakan:
4. Langkah terakhir, susun timbangan seperti semula dengan disk skala baru. Mintalah setiap siswa untuk melakukan percobaan menimbang diri mereka sendiri pada setiap timbangan (tinjau gambar 14). Anda juga dapat meminta siswa untuk mencatat hasilnya, dan kemudian tanyakan hal apa yang dapat mereka simpulkan dari percobaan ini. Pastikan siswa memahami bahwa berat badan akan semakin besar pada planet Jupiter dan Neptunus.

	$g$ surface gravity ( $m \cdot s^{-2}$ )	$g$ surface gravity (relative to Earth)
Moon	1.62	0.16
Mercury	3.70	0.37
Venus	8.87	0.86
Earth	9.81	1.00
Mars	3.71	0.38
Jupiter	24.79	2.53
Saturn	8.96	0.91
Uranus	8.69	0.88
Neptune	11.00	1.12

Tabel 7. Gravitasi permukaan relatif terhadap gravitasi Bumi.



Gbr.13a dan 13b: Skala kamar mandi dengan disk yang diganti



Gbr. 14: Model Tata Surya dengan timbangan kamar mandi.

## Aktivitas 12: Model Dampak Kawah

Sebagian besar kawah yang terdapat di Tata Surya bukanlah kawah vulkanik akan tetapi merupakan hadil dari meteoroid yang jatuh ke permukaan planet maupun satelit alami planet.

Langkah percobaan:

1. Tutupi lantai dengan kertas koran untuk mencegah lantai menjadi kotor,
2. Dalam suatu kotak, buatlah lapisan tepung setinggi 1 atau 2 cm dengan saringan untuk membuat permukaan yang sangat halus,
3. Buatlah lapisan beberapa milimeter dari bubuk cocoa di atas tepung dengan saringan,
4. Dari ketinggian sekitar 2 m, jatuhkan sesendok makan bubuk cocoa untuk membuat tanda seperti kawah (tinjau gambar 15),

5. Dipersilahkan jika memungkinkan untuk melakukan percobaan dengan perbedaan ketinggian, ataupun jumlah cocoa yang akan dijatuhkan,
6. Tepung yang digunakan dapat di daur ulang untuk percobaan baru.

Saran: Bubuk cocoa dapat diganti dengan bubuk lainnya, akan tetapi pastikan bubuk tersebut memiliki kerapatan hampir sama dengan bubuk cocoa, dan tidak mudah larut dalam air. Jika bubuk yang dipilih memiliki kerapatan lebih rendah dari bubuk cocoa, maka saat dijatuhkan bubuk tersebut akan jatuh terlalu menyebar, sehingga bentuk kawah tidak akan didapatkan.



Gambar 15a: Simulasi kawah.



Gambar 15b: Kawah yang dihasilkan.

## Aktivitas 12: Model Kecepatan Lepas

Jika kecepatan peluncuran roket tidak terlalu besar, maka gaya gravitasi planet akan menarik roket dan mengakibatkan roket jatuh kembali ke permukaan. Jika kecepatan peluncurannya cukup besar, maka roket dapat lolos dari medan gravitasi planet. Pada aktivitas ini, akan diberikan pengenalan cara menghitung kecepatan lepas dimana dengan minimal kecepatan tersebut maka roket dapat lepas dari medan gravitasi planet.

Mempertimbangkan rumus-rumus gerak berakselerasi yang seragam, adalah  $e$  adalah jarak tempuh dan  $a$  percepatan :

$$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0$$

Jika kita mengganti akselerasi dengan  $g$  dan kita menganggap kecepatan awal  $v_0$  menjadi nol, kita menemukan bahwa pada permukaan planet,  $R = \frac{1}{2} g t^2$  dan, lebih lanjut,  $v = gt$ . Setelah menghapus variabel waktu, kami menemukan,

$$v = \sqrt{2gR},$$

di mana kita dapat mengganti nilai  $g$  dan  $R$  dengan nilai-nilai yang tercantum dalam tabel 6 untuk menghitung kecepatan lepas untuk setiap planet.

Tetapi juga dapat disimpulkan dengan cara lain. Kecepatan lepas tergantung pada bentuk

potensi gravitasi di mana proyektil berada. Oleh karena itu, pada permukaan benda langit, kecepatan lepas hanya bergantung pada ketinggian titik peluncuran, jika gaya gesekan di atmosfer, jika ada (seperti halnya Bumi). Kecepatan lepas tidak tergantung pada massa proyektil atau arah peluncuran, dan deduksi dapat dibuat dalam istilah yang murni energik.

Untuk menghitung kecepatan lepas, rumus berikut yang terkait dengan energi potensial dan energi kinetik digunakan:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = -G\frac{Mm}{R}$$

Mempertimbangkan prinsip konservasi energi, jika kita menetapkan kondisi bahwa objek bergerak ke jarak tak terbatas dan tetap diam, hasilnya:

$$\frac{1}{2}mv_e^2 - G\frac{Mm}{R} = 0$$

dan membersihkan kecepatan::

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}$$

di mana:  $v_e$  adalah kecepatan lepas,  $G$  adalah konstanta gravitasi universal ( $6.672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ ),  $M$  adalah massa bintang,  $m$  adalah massa proyektil,  $R$  adalah jari-jari bintang (dengan asumsi bentuk bulat),  $g$  adalah percepatan gravitasi pada permukaan bintang. Di dunia,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

Sebagai contoh, kami menghitung kecepatan pelarian beberapa planet. Untuk Bumi,

$$v_{earth} = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9.81 \text{ m s}^{-2} \cdot 6378 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 11186 \text{ m/s} \approx 11.2 \text{ km/s..}$$

Serupa, untuk planet terkecil, Merkurius,

$$v_{mercury} = (2 \cdot 3.78 \text{ m s}^{-2} \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 4294 \text{ m/s} \approx 4.3 \text{ km/s.}$$

Dan untuk planet terhebat, Jupiter,

$$v_{jupiter} = (2 \cdot 23.1 \text{ m s}^{-2} \cdot 71492 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 57471 \text{ m/s} \approx 57 \text{ km/s.}$$

Jelas bahwa lebih mudah untuk meluncurkan roket dari Merkurius daripada dari Bumi, tetapi paling sulit untuk meluncurkan roket di Jupiter, di mana kecepatan lepasnya sekitar 60 km / s.

Untuk dapat membandingkan hasilnya, kecepatan lepas yang diterima untuk setiap benda di Tata Surya adalah sebagai berikut: Merkurius 4,3 km / dtk, Venus 10,3 km / dtk, Bumi 11,2 km / dtk, Mars 5,0 km / dtk, Jupiter 59,5 km / s, Saturnus 35,6 km / s, Uranus 21,2 km / s, Neptunus 23,6 km / s. Seperti yang bisa kita lihat, perhitungan sederhana kami memberi kami hasil yang dapat diterima.)

It is clear that it is easier to launch a rocket from Mercury than from the Earth, but it is most difficult to launch a rocket on Jupiter, where the escape velocity is about 60 km / s.

(To be able to compare the results, the accepted escape velocity for each body in the Solar System are the following: Mercury 4.3 km/s, Venus 10.3 km/s, Earth 11.2 km/s, Mars 5.0

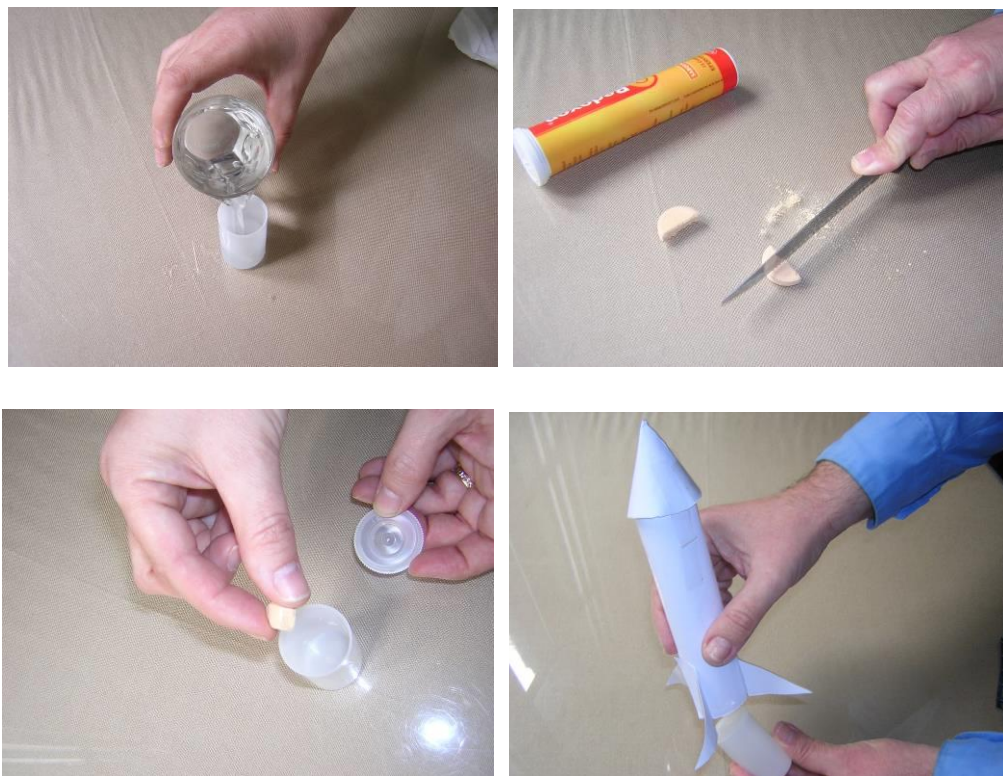


km/s, Jupiter 59.5 km/s, Saturn 35.6 km/s, Uranus 21.2 km/s, Neptune 23.6 km/s. As we can see, our simple calculations give us acceptable results.)

## Model Rocket

Sebagai contoh roket yang dapat diluncurkan dengan aman di ruang kelas, kami mengusulkan roket berikut, yang menggunakan tablet aspirin atau effervescent sebagai propelan. Kita mulai dengan memotong model roket pada garis padat, dan menempel pada garis putus-putus seperti di foto.

Kami akan menggunakan kapsul plastik, seperti yang digunakan untuk menyimpan pil atau makanan untuk ikan, memastikan bahwa kapsul tersebut dapat masuk ke dalam silinder roket. Kemudian, kami menempatkan tiga segitiga sebagai penopang pada badan roket dan akhirnya, tambahkan kerucut di bagian atas silinder (angka 16a, 16b, 16c, 16d, 17d, 17, 18, 19a, 19b, 19c)

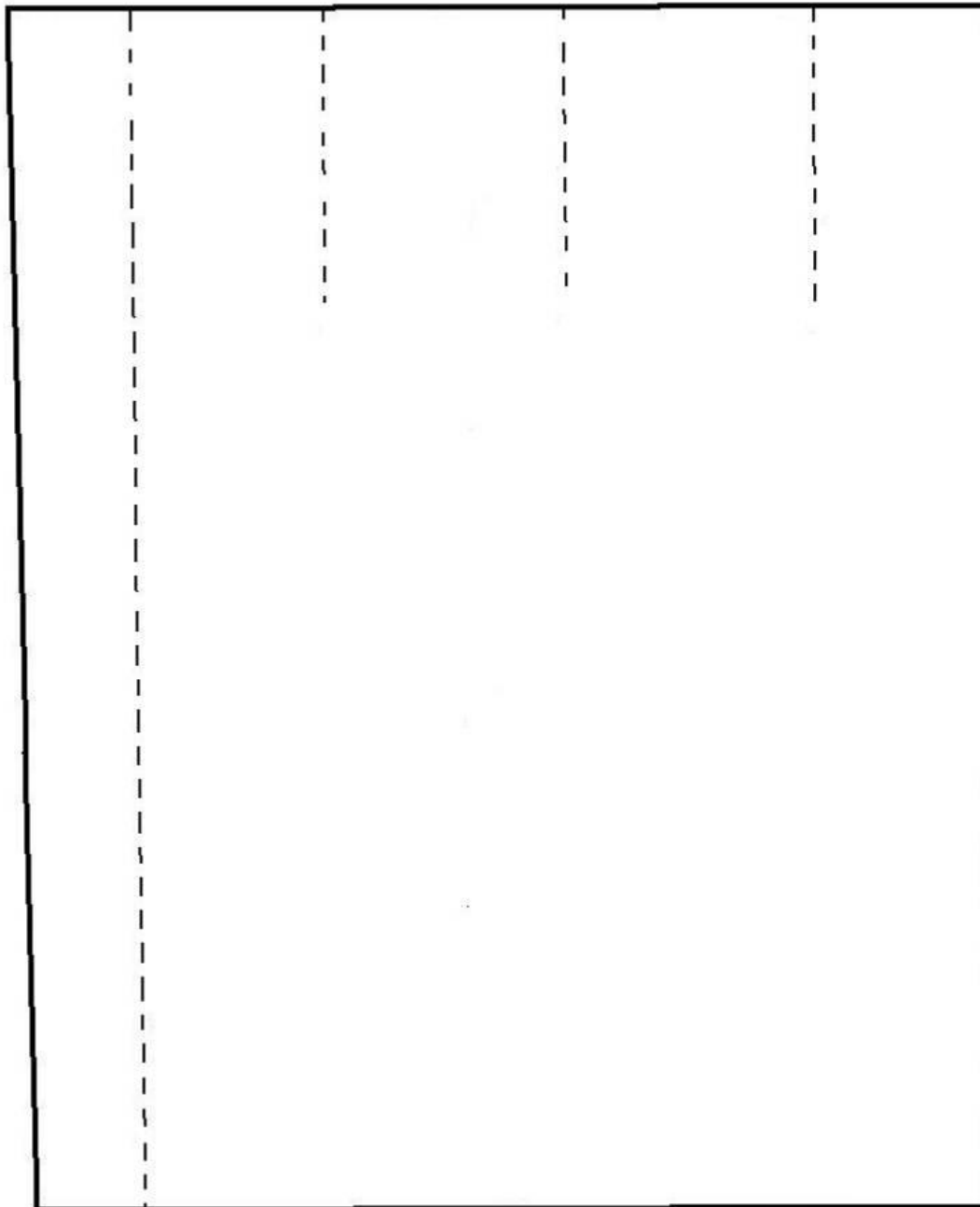


Gbr. 16a, 16b, 16c, dan 16d: Proses dalam empat gambar.

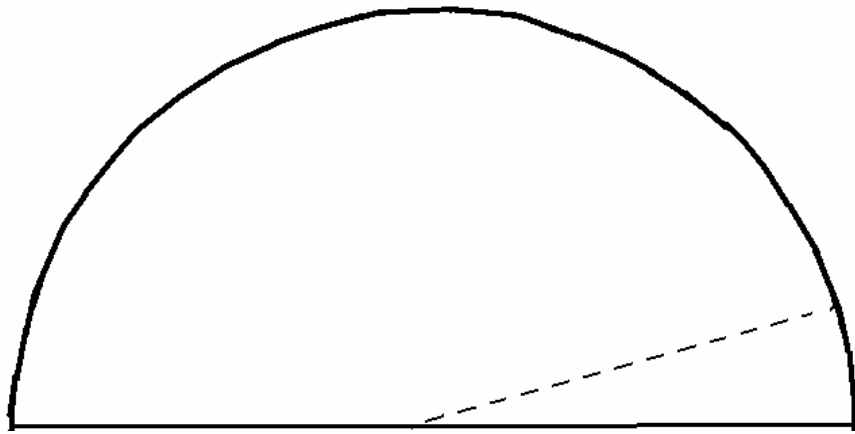
Setelah roket tersusun sempurna, langkah selanjutnya adalah proses peluncuran roket. Untuk meluncurkan roket, pada tabung plastik isi air kurang lebih hingga mencapai ketinggian  $\frac{1}{3}$  dari ketinggian tabung plastik (sekitar 1 ). Masukkan  $\frac{1}{4}$  potongan tablet effervescent ke dalam tabung. Tutup tablet dengan penutup dan letakkan roket di atasnya. Tunggu kurang lebih 1 menit, dan roket akan meluncur ke atas. Tentu percobaan ini dapat dilakukan berulang kali, setidaknya akan ada sisa  $\frac{3}{4}$  tablet effervescent yang siap digunakan. Pastikan siswa

mendapatkan giliran untuk meluncurkan roketnya. Anda juga dapat mencoba untuk meluncurkan roket dengan per panduan cocacola-mentos atau cuka-soda kue.

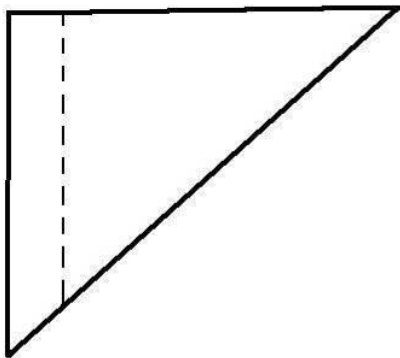
Dimungkinkan juga untuk meluncurkan roket menggunakan bikarbonat dan cuka.



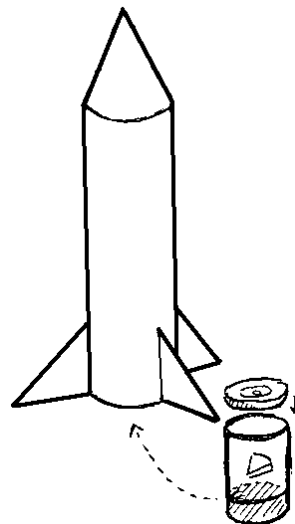
Gbr. 17a: Tubuh roket. Rekatkan sirip di zona bertitik.



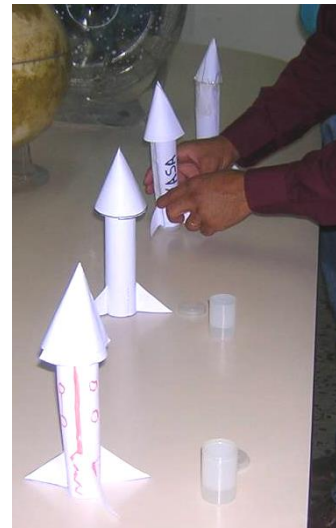
Gambar 17b: Kerucut atas roket.



Gbr. 17c: Model untuk tiga sirip.



Gbr. 18: Skema Sederhana



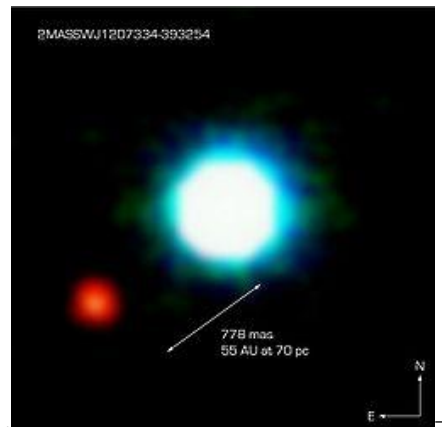
Gbr. 19: Beberapa roket.

## Eksoplanets

Sejauh ini, para astronom telah mendeteksi sekitar 4000 planet dan 500 sistem planet berganda. Contoh dari salah satu planet pertama yang dipotret langsung ditunjukkan pada Gambar 20.

Semua topik lokakarya ini adalah bagian dari evolusi teknologi yang memungkinkan kemajuan di bidang ini. Beberapa aspek mungkin kurang penting di masa depan tetapi bagus untuk membawanya ke sekolah. Ini adalah bidang yang bergerak cepat dan beberapa konten mungkin perlu diperbarui.

Mari kita perhatikan contoh dari sejarah astronomi. Pada 1610 Galileo mengamati Saturnus untuk pertama kalinya. Dia tidak mengerti bahwa benda itu adalah sebuah planet yang dikelilingi oleh cincin yang bagus. Sebaliknya ia menafsirkannya sebagai gugus bintang dengan tiga komponen. Kita harus menunggu pengamatan Huygens dengan teleskop yang lebih baik untuk menyelesaikan planet dan sistem cincin. Selama beberapa tahun komunitas ilmiah salah menafsirkan struktur Saturnus. Contoh dari ini terlihat dalam lukisan Rubens 1636-1638, yang menggambarkan Saturnus sebagai tiga bintang setelah penemuan terbarunya oleh Galileo.



Gbr. 20: Planet pertama (2M1207b) diamati secara langsung, pada tanggal 16 Maret 2003 dengan salah satu teleskop VLT 8 m ESO. Ia memiliki massa 3-10 kali Jupiter dan mengorbit pada 41 AU dari bintang pusatnya yang merupakan katai coklat. Pada tahun 2006, sebuah cakram debu ditemukan di sekitar bintang pusat, memberikan bukti kelanjutan pembentukan planet dalam sistem muda ini (Sumber: ESO).



Gbr 21a dan 21b: Saturnus menurut Rubens (1636-1638) dan gambar yang dibuat oleh Galileo pada tahun 1610.

Dalam nada yang sama ini, baik untuk diingat bahwa Ceres dianggap sebagai planet pada abad ke-19 (dari 1801 hingga 1850), tetapi kemudian diklasifikasikan sebagai asteroid. Dengan cara yang sama ketika Pluto ditemukan pada tahun 1930 itu diklasifikasikan sebagai planet. Namun, pada tahun 2006 itu direklasifikasi sebagai planet kecil seperti Ceres. Jadi tentunya beberapa pemahaman tentang exoplanet saat ini mungkin perlu dipertimbangkan kembali di masa depan, tetapi ini seharusnya tidak menghentikan kita dari memperkenalkan topik ini ke pusat-pusat pendidikan.

## Nomenklatur eksoplanet

Planet atau planet ekstrasurya dianggap sebagai planet yang mengorbit bintang selain Matahari dan, karenanya, bukan milik tata surya kita. NASA memiliki katalog (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>) dengan lebih dari 4000 exoplanet yang dikonfirmasi pada tahun 2019. Nomenklatur dari exoplanet sederhana dan berasal dari penggunaannya dalam bintang biner. Huruf kecil ditempatkan setelah nama bintang dari huruf "b" untuk planet pertama yang ditemukan dalam sistem (misalnya: 51 Pegasi b). Planet berikutnya yang terdeteksi dalam sistem diberi label dengan huruf alfabet c, d, e, f, dll. (Misalnya: 51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e atau 51 Pegasi f). Dengan demikian, urutan huruf tidak ada hubungannya dengan periode orbit planet-planet, atau dengan parameter lainnya. Selain itu, pada 2015 International Astronomical Union (IAU) menetapkan nama untuk 19 sistem exoplanetary pertama yang ditemukan. Dengan demikian, dalam sistem bintang Upsilon Andromedae (lihat Tabel 8), bintang utama (Ups And) memiliki nama alternatif *Titawin*, dan planet b, c dan d akan disebut *Saffar*, *Samh* dan *Makriti*. Namun saat ini, nama-nama ini belum mulai digunakan baik di komunitas astronom profesional maupun amatir.

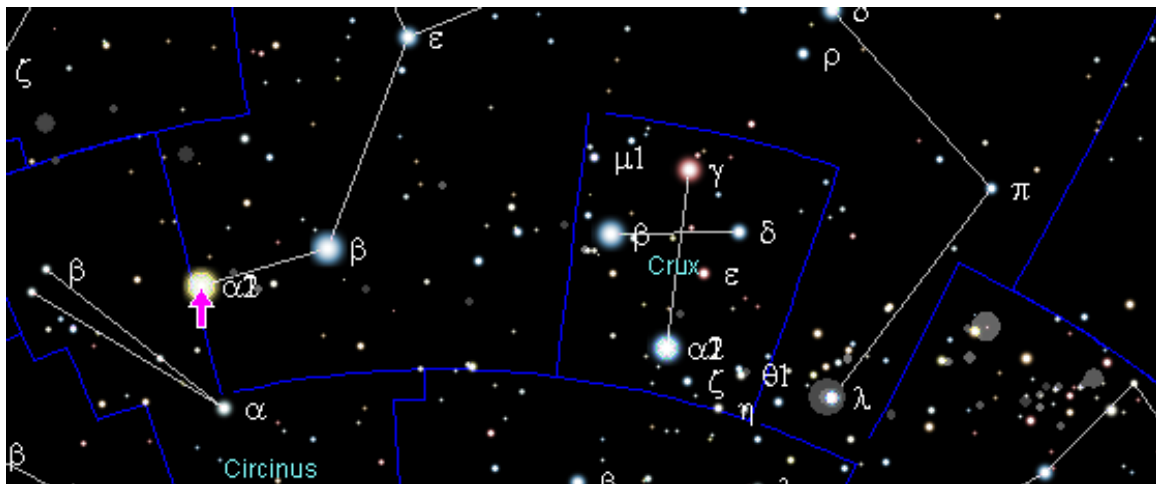
## Deteksi sistem exoplanetary

Jarak ke Alpha Centauri atau Proxima Centauri, bintang terdekat dengan kita yang hanya 4,5 tahun cahaya, sangat besar dibandingkan dengan jarak planet-planet di tata surya kita. Faktanya, Alpha Centauri sekitar 10.000 kali lebih jauh dari Neptunus, planet kita yang paling jauh. Jarak yang sangat jauh ini membuat deteksi planet-planet di sekitar bintang-bintang lain menjadi tidak mungkin sampai teknik pengamatan canggih dikembangkan menjelang akhir abad yang lalu.

Bintang paling terang ketiga di langit malam adalah Alpha Centauri. Alpha Centauri, pada kenyataannya, adalah sistem bintang tiga. Terdiri dari pasangan biner, Alpha Centauri A dan B, dan bintang kerdil yang paling dekat dengan kita, yang disebut Proxima Centauri. Itu berada di sekitar bintang ketiga ini, dari jenis "kuncup merah", di mana sebuah planet berbatu telah terdeteksi yang mungkin memiliki beberapa kesamaan dengan Bumi: Proxima b, yang merupakan bagaimana nama planet ekstrasurya baru, yang terdekat dengan Bumi adalah diketahui tetapi belum diamati secara langsung. Mereka yang bertanggung jawab atas penemuan ini mengungkapkan kehadirannya dengan mengamati anomali kecil di orbit bintang, yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi planet. Gangguan ini berfungsi untuk

menyimpulkan keberadaan planet dan beberapa karakteristiknya. Ia mengelilingi matahari hanya dalam 11 hari, sedikit lebih besar dari Bumi dan mungkin memiliki permukaan yang padat.

Fitur signifikan dari planet ekstrasurya ini adalah kedekatannya dengan bintang induknya, Proxima Centauri. Ini adalah 5% dari jarak yang memisahkan Bumi dari Matahari, yaitu sekitar 0,05 AU. Kedekatan ini akan membuatnya menjadi neraka yang terbakar jika bintangnya seperti Matahari kita. Namun matahari adalah katai merah sehingga planet ini berada di zona layak huni. Ini karena katai merah seperti Proxima Centauri, dengan 12% massa matahari, memiliki kecerahan hanya 0,1% dari Matahari. Dengan karakteristik ini, planet baru akan memiliki suhu 40 derajat di bawah nol tanpa efek rumah kaca dari atmosfer yang memungkinkan, yang dapat menaikkan suhu beberapa derajat di atas titik beku air.

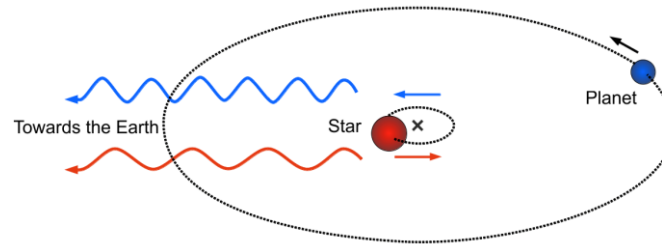


Gbr. 22: Alpha Centauri dekat Salib Selatan.

Salah satu kelemahan dari keberadaan kehidupan di sistem planet ini di sekitar katai merah adalah bahwa planet-planet harus sangat dekat dengan bintang mereka untuk memiliki suhu di mana air dapat ada dalam keadaan cair. Ketika itu terjadi, dalam banyak kasus ada fenomena yang disebut rotasi sinkron yang kita lihat di Bulan kita sendiri. Waktu orbital dan waktu rotasi disamakan dan planet ini selalu menunjukkan wajah yang sama dengan bintang. Ini akan menyaranakan belahan bumi yang hangus di mana atmosfer menguap dan beku lainnya. Namun, atmosfer yang lebih padat daripada Bumi memungkinkan suhu ekstrim ini dimoderasi melalui sirkulasi atmosfer dan redistribusi panas.

## Metode kecepatan radial

Saat ini, ada dua metode yang mendominasi penemuan planet ekstrasurya. Keduanya adalah metode tidak langsung, di mana keberadaan sistem planet disimpulkan dari pengamatan bintang pusat sistem.



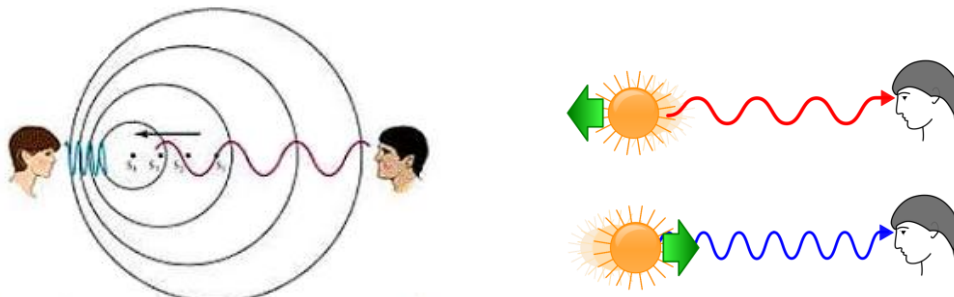
Gbr. 23: Metode kecepatan radial untuk mendeteksi planet.

Metode kecepatan radial menemukan exoplanet pertama yang berputar di sekitar bintang pusat, dengan penemuan 51 Pegasus b pada tahun 1995. Dalam metode ini, goyangan bintang pusat diukur karena pergerakan planet di sekitar bintang pusat. Bintang dan planet mengorbit barycentre dari sistem bintang-planet. Pergerakan bintang pusat ini menyebabkan perubahan sangat kecil pada cahaya bintang dari merah ke biru (gambar 23), karena pergeseran Doppler. Dengan cara ini, kita dapat menentukan massa planet sehubungan dengan massa bintang pusat. Namun dalam praktiknya, kita tidak mengetahui orientasi sebagian besar sistem planet yang terdeteksi dengan metode ini, karena itu massa planet yang dapat kita gali adalah massa minimum (yang berarti massa sebenarnya bisa lebih besar).

### Aktivitas 13: Efek Doppler

As seen in the Expansion of the Universe workshop, the Doppler Effect is what makes the wavelength of a sound vary when the source is in motion. It can be demonstrated by rotating an alarm clock inserted in a cloth bag tied with a rope in a horizontal plane. When it approaches the listener wavelength is shortened and the sound has a higher pitch. When it moves away, the wavelength lengthens and the sound has a lower pitch. The person at the centre of rotation does not detect any variation.

In the case of the exoplanet and star, the light waves from the star are affected. When a star approaches us, the apparent wavelength of its radiation decreases, its light shifts towards the blue end of the visible spectrum. When the star moves away, the apparent wavelength increases and its light shifts towards the red end of the visible spectrum.



Gbr 24: Ketika sumber mendekati panjang gelombang berkurang dan ketika sumber menjauh, panjang gelombang meningkat. Gbr. 25: Ketika sumber mendekati itu tampak lebih biru dan ketika sumber menjauh tampak lebih merah

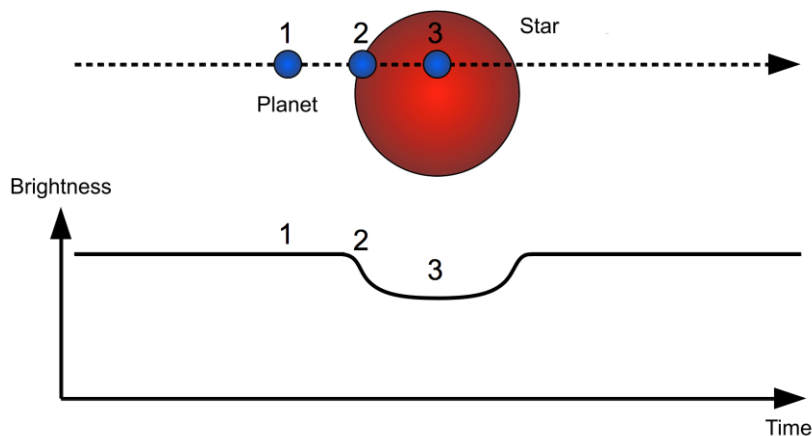
Ini adalah Efek Doppler karena gerakan relatif dan itu adalah apa yang dimiliki planet ekstrasurya ketika mereka bergerak di sekitar bintang induknya. Ketika planet ekstrasurya bergerak menjauh dari kita cahayanya bergerak ke arah merah dan ketika mendekati cahayanya bergerak ke arah biru.

### Metode Transit

Metode penting lainnya, yang disebut "metode transit" didasarkan pada pengamatan perubahan kecerahan bintang ketika salah satu planetnya lewat ("transit") di depan bintang, sehingga menyembunyikan sebagian kecil bintang disk-nya (gambar 26). Dengan metode transit, ukuran planet,  $R_p$ , dapat diukur sehubungan dengan ukuran  $R_*$  bintang pusatnya, dan kira-kira diberikan oleh:

$$R_p / R_* = \sqrt{dF / F}$$

di mana  $dF / F$  adalah perubahan relatif dalam kecerahan yang diamati selama transit sebuah planet (misalnya,  $dF / F = 0,01$  menunjukkan pengurangan 1% dalam kecerahan bintang selama transit).

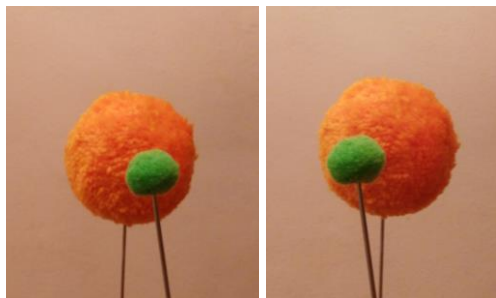


Gbr. 26: Metode transit untuk mendeteksi planet.

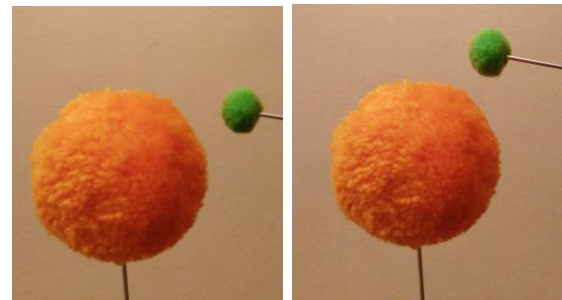
### Aktivitas 14: Simulasi transit

Transit dapat disimulasikan dengan menggunakan dua bola: bola besar yang mewakili bintang dan bola kecil yang mewakili planet yang mengorbit bintang pusat. Jika pengamat berada di bidang yang sama dengan orbit planet dan mengamati pada saat itu, mereka akan tahu kapan planet itu lewat di depan bintang pada saat jatuh dan naik dalam kurva luminositas bintang (gambar 27). Tetapi jelas bahwa jika pengamat tidak berada di bidang rotasi yang sama, tidak ada perubahan dalam kurva kecerahan yang akan diamati (gambar 28).





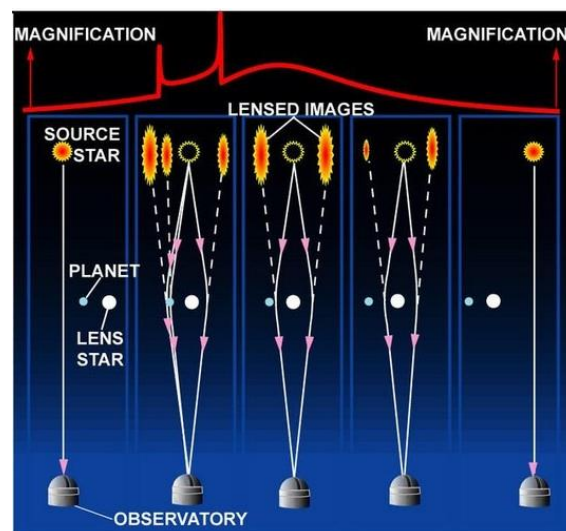
Gbr. 27: Pengamat di bidang rotasi dapat melihat transit planet ini dan mendeteksi perubahan dalam kurva kecerahan



Gbr. 28: Pengamat di luar bidang rotasi, tidak dapat melihat perubahan kurva kecerahan.

## Metode Lensa Mikrogravitasi

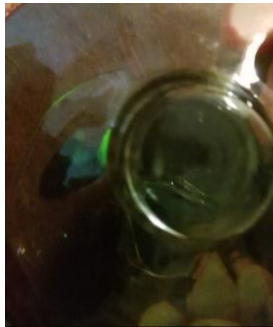
Metode lain dari deteksi planet ekstrasurya juga menonjol, meskipun mereka kurang digunakan. Metode lensa mikro terdiri dalam mengamati peningkatan kecerahan bintang latar belakang, karena penyelarasan bintang latar belakang dengan bintang dengan exoplanet. Sistem exoplanetary bertindak sebagai lensa gravitasi dan akan menghasilkan ekstensi kecerahan yang sangat khas (garis merah pada gambar 29). Agar berfungsi, harus ada keselarasan visual yang lengkap antara tiga bagian (bintang latar belakang, bintang dengan planet ekstrasurya dan Bumi).



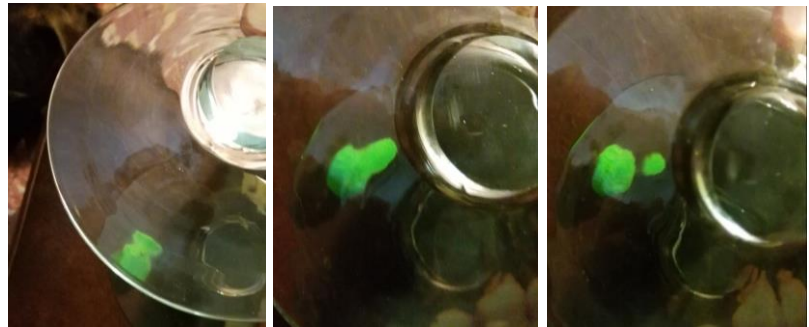
Gbr. 29: Metode microlensing untuk mendeteksi planet.

## Aktivitas 15: Simulasi microlenses

Anda dapat mensimulasikan pendeteksian planet ekstrasurya di sekitar bintang induk dengan sepasang pangkalan gelas anggur, seperti yang digunakan dalam bengkel Ekspansi Semesta. Pertama kami hanya menggunakan satu basis dan tidak ada yang terlihat. Lalu kami melewati yang lain dan satu titik muncul dan mungkin bahkan dua.



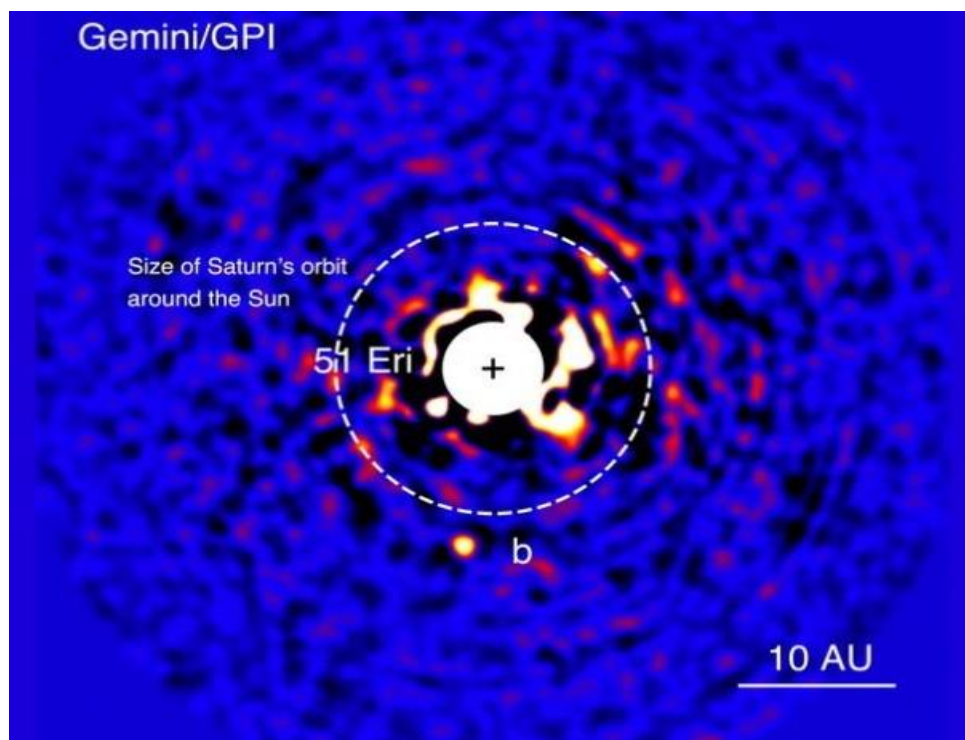
Gbr. 30: Pertama dengan hanya satu lensa.



Gbr. 31: Memindahkan lensa kedua dari yang pertama, sebuah titik muncul dan kemudian dua, dalam semua kasus tanpa menggerakkan lensa pertama.

### Metode deteksi langsung

Dan akhirnya, metode deteksi langsung berhubungan dengan perolehan dan analisis gambar yang sangat beresolusi tinggi dari bintang tersebut, untuk menentukan keberadaan planet-planet di sekitarnya. Karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sebuah bintang, metode ini telah berhasil hanya untuk planet-planet yang sangat jauh dari bintang pusatnya dan pada saat yang sama masih sangat muda, sehingga mereka masih memancarkan cahaya karena panas yang dihasilkan selama pembentukannya (lihat juga gambar 32).



Gbr. 32: Metode deteksi langsung untuk mendeteksi planet.

## Contoh sistem extrasolar

Planet extrasurya yang paling terkenal memiliki massa yang sebanding dengan Jupiter, yang merupakan planet terbesar di tata surya kita. Inilah sebabnya mengapa massa dan ukuran planet extrasurya dalam satuan massa Jupiter  $M_J$  ( $1,90 \times 10^{27}$  kg) dan jari-jari Jupiter  $R_J$  (71492 km) sering diindikasikan. Hanya sedikit planet (sekitar 20) yang diketahui memiliki massa yang sebanding dengan Bumi. Namun, ada lebih banyak planet (sekitar 700, atau 20% dari semua yang diketahui) dengan ukuran yang sebanding dengan Bumi, hingga  $1,5 R_T$  (jari-jari terrestrial). Telah ditunjukkan bahwa planet-planet ini adalah yang paling umum, tetapi teknik deteksi saat ini lebih berhasil dalam mendeteksi objek yang lebih besar atau lebih besar.

Planet Name	Average distance AU	Orbital period days	Minimum mass * Jupiter or Terrestrial Mass	Discovered year	Radius km
Urs And b	0,059	4,617	0,69 Mj	1996	124000*
Urs And c	0,83	241,5	1,98 Mj	1999	176000*
Urs And d	2,51	1274,6	4,13 Mj	1999	221999*
Urs And e	5,24	3832,5	1,06 Mj	2010	70000*
Gl 581 e	0,030	3,149	1,9 Mt	2009	7600*
Gl 581 b	0,041	5,368	15,7 Mt	2005	16000*
Gl 581 c	0,073	12,932	5,7 Mt	2007	11000*
Kepler-62 b	0,0553	5,714	9 Mt	2013	8350
Kepler-62 c	0,0929	12,441	4 Mt	2013	3400
Kepler-62 d	0,120	18,164	14 Mt	2013	12400
Kepler-62 e	0,427	122,387	1,6 Mt	2013	10300
Kepler-62 f	0,718	267,291	2,8Mt	2013	9000
Trappist-1 b	0,012	1,5111	1,02 Mt	2016	7100
Trappist-1 c	0,016	2,422	1,16 Mt	2016	7000
Trappist-1 d	0,022	4,050	0,30 Mt	2016	5000
Trappist-1 e	0,030	6,099	0,77 Mt	2017	5800
Trappist-1 f	0,039	9,206	0,93 Mt	2017	6700
Trappist-1 g	0,047	12,354	1,15 Mt	2017	7300
Trappist-1 h	0,062	18,768	0,33 Mt	2017	4900

Tabel 8: Empat sistem extrasurya yang representatif dengan banyak planet. Data diekstraksi dari Katalog Planet 2 Extrasolar (kecuali kolom terakhir). \* Planet-planet ini telah ditemukan oleh kecepatan radial; itu sebabnya tidak ada kepastian ukurannya. Untuk planet raksasa, dengan massa 0,5-20 Mj, diketahui bahwa hampir semuanya memiliki jari-jari 0,7-1,4 kali dari Jupiter (50-100 ribu kilometer), dengan sedikit korelasi dengan massa mereka. Untuk planet terrestrial GJ861, jari-jarinya telah dihitung dengan asumsi bahwa kepadatan planet ini sama dengan kepadatan Bumi ( $5520 \text{ kg / m}^3$ ).

Pada bagian ini, kami mempertimbangkan beberapa contoh sistem planet luar surya yang memiliki tiga atau lebih planet yang dikenal. Tabel 8 menunjukkan planet-planet di sekitar bintang-bintang Upsilon Andromeda, Gliese 581, Kepler-62 dan Trappist-1. Sistem planet Upsilon Andromeda dan Gliese 581 ditemukan dengan menggunakan metode kecepatan radial dan dari planet-planet ini kita hanya tahu massa minimumnya, tetapi bukan ukurannya. Jari-jarinya dianggap antara 50000-100000 km (meskipun Tabel 8 menunjukkan salah satu nilai yang mungkin). Untuk Gliese 581, beberapa planet lain (d, f, g) telah diumumkan, tetapi dikontradiksikan dalam publikasi lain; jadi penemuan mereka telah ditarik. Itu mungkin disebabkan oleh sinyal marginal atau noise dari sumber lain dalam data.

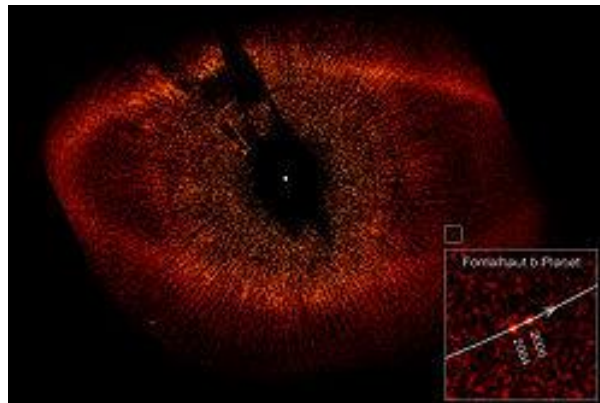
Planet-planet dari sistem Kepler-62 ditemukan dari transit. Karena itu, ukurannya diketahui. Dari massa mereka, kita hanya tahu batas atas (massa maksimum) dan mereka terlalu kecil (dan ringan) untuk dapat dideteksi dengan metode kecepatan radial. Namun, ada juga banyak planet yang telah dideteksi dengan transit dan metode kecepatan radial dan kita tahu massa dan ukurannya.

Ada beberapa exoplanet yang sangat dekat dengan bintang pusat (mis. Semua planet Gliese 876 memiliki orbit lebih dekat ke bintang daripada Merkurius ke Matahari). Yang lain memiliki planet yang lebih jauh, seperti sistem 2M1207b (lihat Gambar 20), dengan sebuah planet dalam formasi pada 41 AU jauhnya, atau 1,4 kali jarak Neptunus. Salah satu kemungkinan untuk memvisualisasikan data ini adalah membangun model skala dari sistem planet yang dipilih. Ini akan memungkinkan kita untuk dengan mudah membandingkan satu sama lain dan dengan Tata Surya kita.

Planet Name	Average distance AU	Orbital Period years	Mass, Jupiter Mass	Radius km
Mercury	0.3871	0.2409	0.0002	2439
Venus	0.7233	0.6152	0.0026	6052
Earth	1.0000	1.0000	0.0032	6378
Mars	1.5237	1.8809	0.0003	3397
Jupiter	5.2026	11.8631	1	71492
Saturn	9.5549	29.4714	0.2994	60268
Uranus	19.2185	84.04	0.0456	25559
Neptune	30.1104	164.80	0.0541	25269

Tabel 9: Planet Tata Surya.

Saat ini kita tahu bahwa ada juga exoplanet di sekitar bintang yang sangat berbeda dari Matahari. Pada tahun 1992, para astronom radio mengumumkan penemuan planet ekstrasurya pertama, sekitar PSR 1257 + 12 pulsar. Butuh tiga tahun lagi untuk menemukan planet ekstrasurya pertama di sekitar bintang tipe surya "normal", 51 Pegasi. Setelah itu, exoplanet telah terdeteksi: kurcaci merah (misalnya Gliese 876 pada 1998), bintang raksasa (Iota Draconis pada 2001), kurcaci coklat (2M1207 pada 2004), bintang tipe A (Fomalhaut pada 2008, lihat gambar 33), kurcaci putih (WD1145-1017 pada 2015, dengan planet yang hancur), di sekitar sistem biner (Kepler-16b pada 2011), antara lain.



Gbr. 33: Planet Fomalhaut b dalam awan debu antarplanet Fomalhaut dalam gambar Hubble Space Telescope, dengan posisi pada 2004 dan 2006 (lihat gambar kecil). (Foto: NASA).

### Aktivitas 16: Model sistem exoplanetary

Pertama kita memilih skala model. Tidak nyaman menggunakan skala yang sama untuk diameter dan jarak karena masalah ukuran. Untuk jarak, skala yang dipertimbangkan adalah: 1 AU = 1 m. Dalam hal ini semua exoplanet dapat masuk ke dalam ruang kelas yang khas, serta lima planet pertama dari tata surya kita. Untuk skala ukuran planet ini, jari-jari planet 10.000 km sesuai dengan diameter model 0,5 cm. Dalam hal ini, planet terbesar, Jupiter, dengan jari-jari 71.000 km adalah diameter 7 cm dan yang terkecil, Merkurius, akan 0,2 cm. Jika aktivitas dilakukan di luar (misalnya, di halaman sekolah), kita dapat membangun model lengkap dengan skala serupa untuk diameter dan jarak. Untuk bintang induk skala yang sama adalah, jari-jari bintang induk dari 10.000 km sesuai dengan diameter model 0,5 cm.

Solar System	Distance	Radius km	Model Distance	Model Diameter
Mercury	0.39 AU	2439	40 cm	0.1 cm
Venus	0.72 AU	6052	70 cm	0.3 cm
Earth	1 AU	6378	1.0 m	0.3 cm
Mars	1.5 AU	3397	1.5 m	0.1 cm
Jupiter	5.2 AU	71492	5.0 m	3.0 cm
Saturn	9.55 AU	60268	10 m	2.5 cm
Uranus	19.22 AU	25559	19 m	1.0 cm
Neptune	30.11 AU	25269	30 m	1.0 cm

Tabel 10: Tata Surya. Bintang induknya, Matahari adalah G2V, dengan diameter dalam model 35 cm. Zona kelayakan hidup ditunjukkan dengan warna hijau.

Di bawah kondisi skala yang dinyatakan, Tata Surya dibangun (Tabel 10), atau salah satu sistem pada Tabel 8 menggunakan jari-jari dan nilai jarak rata-rata yang termasuk dalam tabel. Untuk menyederhanakan proses, tabel dengan skala yang disebutkan di atas termasuk di bawah ini.

Itu dimulai dengan sistem planet pertama yang ditemukan pada tahun 1999 dengan mendeteksi planet-planetnya dengan Efek Doppler yang diterapkan pada kecepatan radial bintang. Metode ini, karena tingkat teknologi, memungkinkan untuk mendeteksi exoplanet yang sangat besar yang dekat dengan bintang induknya. Tidak diragukan lagi metode deteksi juga menentukan karakteristik planet-planet yang terletak. Dengan metode deteksi ini, planet-planet gas seperti Jupiter atau bahkan lebih besar telah ditemukan. Untuk menemukan planet yang dapat mendukung kehidupan, perlu untuk mencoba mendeteksi planet terestrial yang lebih kecil seperti Bumi.

Upsilon Andromedae Titawin	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
Ups And b / Saffar	0.059 AU	108000	6 cm	5.5 cm
Ups And c / Samh	0.830 AU	200000	83 cm	10.0 cm
Ups And d / Majriti	2.510 AU	188000	2.5 m	9.5 cm
Ups And e / Titawin e	5.24 AU	140000	5.2 m	7.0 cm

Tabel 11: Bintang induk Upsilon Andromedae adalah bintang F8V pada 44 tahun cahaya di konstelasi Andromeda. Ini adalah bintang biner yang terdiri dari Ups And A, bintang yang sangat mirip dengan Matahari tetapi agak lebih panas dan lebih terang, dengan jari-jari 1,28 R<sub>sun</sub> dan Ups And B yang merupakan katai merah kecil. Dalam model Ups And A ia memiliki diameter 45 cm.

Planet-planet gas dianggap tidak dapat mendukung kehidupan dalam arti yang kita kenal sehingga ada kecenderungan untuk mempelajari planet berbatu dari tipe Bumi daripada planet Jupiter yang merupakan yang pertama kali ditemukan.

Gliese 581 adalah salah satu sistem pertama di mana dimungkinkan untuk mendeteksi exoplanet dari tipe terestrial. Meskipun sejak 2014 beberapa exoplanet telah dibahas. Metode deteksi yang dipertimbangkan dalam kasus ini adalah kecepatan radial tetapi karena massa rendah GL 581 dari 0,31 M<sub>sun</sub>, adalah mungkin untuk menemukan exoplanet terestrial.

Gliese 581	Distance AU	Diameter / km	Model Distance	Model Diameter
Gliese 581 e	0.030 AU	15200	3 cm	0.8 cm
Gliese 581 b	0.041 AU	32000	4 cm	1.6 cm
Gliese 581 c	0.073 AU	22000	7 cm	1.1 cm

Tabel 12: Bintang induk Gliese 581 adalah M2.5V kerdil merah yang terletak di 20,5 ly di konstelasi Libra. Ia memiliki sepertiga dari massa Matahari dan kurang bercahaya dan lebih dingin dari itu. Jari-jarinya adalah 0,29 R<sub>sun</sub> dan dalam model sesuai dengan diameter 10 cm

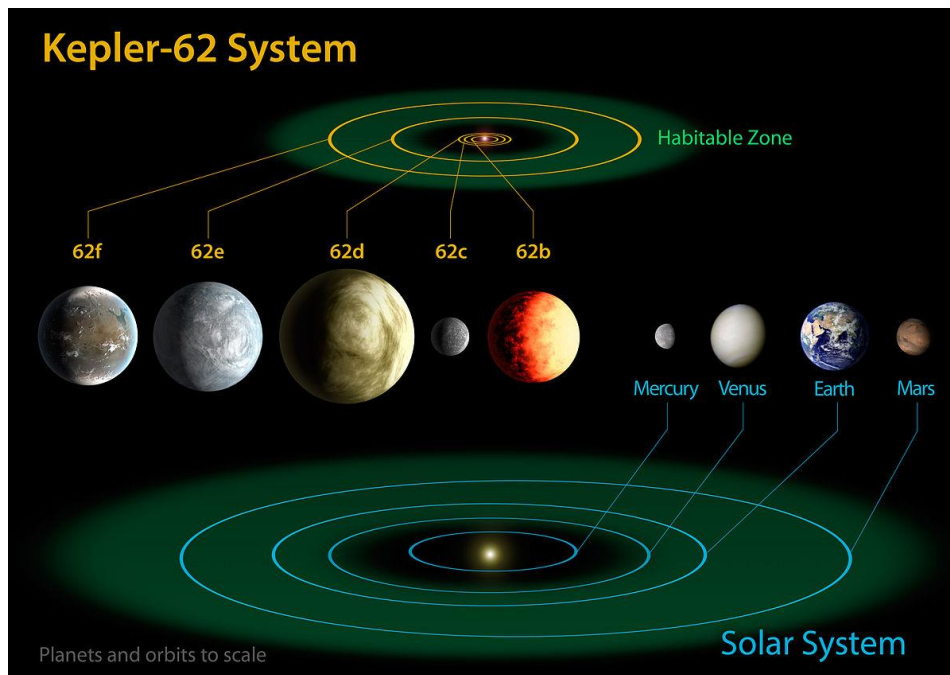
Pada 2009, misi Kepler diluncurkan. Observatorium luar angkasa ini mengorbit Matahari dan mencari planet-planet luar surya, terutama yang ukurannya hampir sama dengan Bumi yang berada di zona layak huni bintang induknya. Dalam 9 tahun misi itu berlangsung, sekitar 3000 exoplanet terdeteksi dan masih ada ribuan kandidat yang menunggu untuk dikonfirmasi. Kepler menyapu 0,25 persen dari langit dan temuannya menunjukkan bahwa planet sangat umum di Bima Sakti. Pada tahun 2018, satelit TESS diluncurkan. Ini dirancang untuk mengidentifikasi planet-planet terdekat dengan ukuran tidak lebih besar dari dua kali Bumi

dan di area yang jauh lebih luas dari langit yang akan mencakup 85 persen dari kubah langit. Baik Kepler dan TESS telah dirancang untuk menjelajahi langit untuk mencari transit planet.

Kepler 62	Distance AU	Diameter / km	Model Distance	Model Diameter
Kepler 62 b	0.056 AU	33600	5.5 cm	1.7 cm
Kepler 62 c	0.093 AU	13600	9 cm	0.7 cm
Kepler 62 d	0.120 AU	48000	12 cm	2.4 cm
Kepler 62 e	0.427 AU	40000	43 cm	2.0 cm
Kepler 62 f	0.718 AU	36000	72 cm	1.8 cm

Tabel 13: Bintang induk Kepler 62 adalah bintang F2V, di konstelasi Lyra pada 1200 ly. Itu adalah bintang yang sedikit lebih dingin dan lebih kecil dari Matahari. Jari-jarinya adalah 0,64 Rsun dan dalam model sesuai dengan diameter 22 cm

Kepler-62 adalah salah satu contoh paling menarik dari sistem planet yang berpotensi dihuni. Yang menarik adalah planet e dan f, karena mereka adalah kandidat terbaik untuk planet padat yang jatuh ke zona layak huni bintang mereka. Jari-jari mereka, masing-masing jari-jari terestrial 1,61 dan 1,41, menempatkan mereka dalam jangkauan jari-jari planet-planet terestrial yang solid dan berada dalam zona layak huni Kepler-62: dan pada jarak jarak di mana kedua planet ini dapat memiliki air cair di permukaan mereka, mungkin menutupi mereka sepenuhnya. Untuk Kepler-62e, yang terletak di dekat tepi bagian dalam zona layak huni, ini akan membutuhkan tutupan awan reflektif yang mengurangi radiasi yang memanaskan permukaan. Kepler-62f, di sisi lain, terletak di zona luar zona layak huni, sama seperti Mars di tata surya kita. Di sana, sejumlah besar karbon dioksida diperlukan untuk menjaga agar permukaan planet tetap hangat dengan air yang cukup untuk permukaan cairan.



Gbr. 34: Sistem Kepler-62 dibandingkan dengan tata surya dalam ruangan. Wilayah hijau menunjukkan zona layak huni - daerah di mana kehidupan seperti yang kita tahu bisa ada. Sumber NASA Ames / JPL-Caltech.

Katai merah terdekat, terdaftar sebagai 2MASS J23062928-0502285 dilacak dalam transit pada tahun 2015 dengan teleskop Trappist, awalnya menemukan sekitar tiga planet ukuran terestrial, membaptis Trappist-1b, c dan d. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh tim internasional menggunakan teleskop Hubble, Kepler, Spitzer, dan Teleskop di Chili, memungkinkan kami untuk lebih memahami total tujuh planet. Lima dari planet-planet ini (b, c, e, f dan g) memiliki ukuran yang mirip dengan Bumi, dan dua (d dan h) berukuran sedang antara Mars dan Bumi. Tiga planet (e, f dan g) mengorbit di dalam zona layak huni.

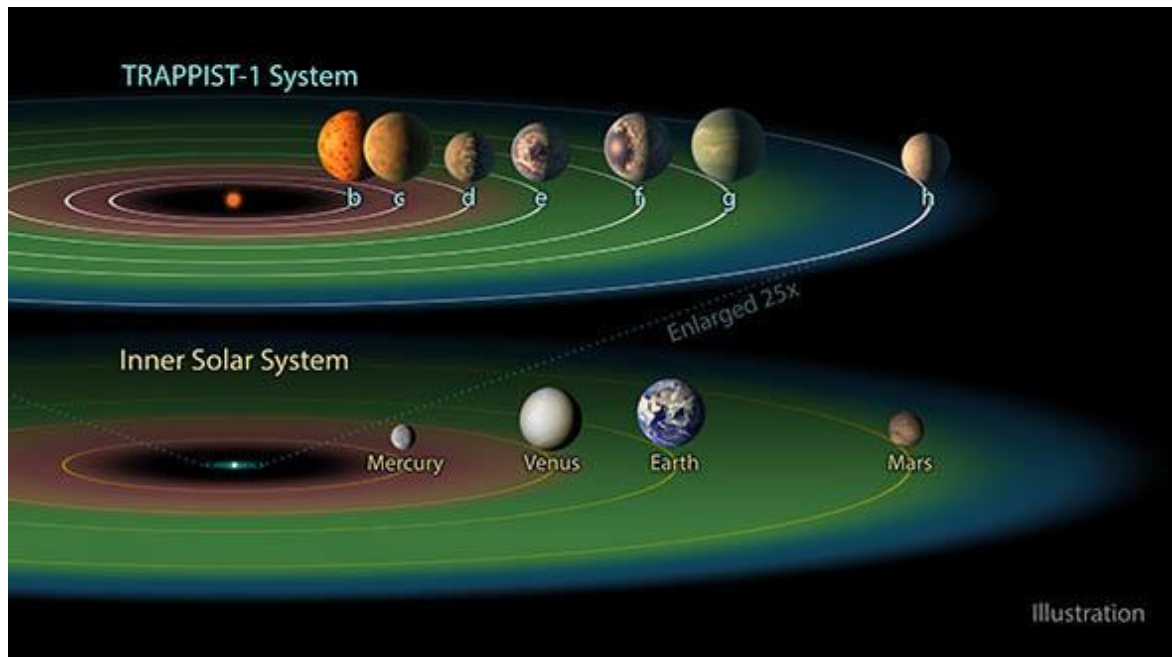
Planet-planet TRAPPIST-1 semuanya mengorbit sangat dekat dengan bintang mereka dan saling melintas begitu dekat sehingga interaksi gravitasi sangat penting dan periode orbitnya hampir resonansi. Planet-planet akan tampak menonjol di langit tetangga mereka, dan dalam beberapa kasus, beberapa kali lebih besar dari Bulan yang muncul dari Bumi. Faktanya, massa mereka belum ditentukan dengan kecepatan radial tetapi dengan penyimpangan dalam periodisitas orbitnya, menggunakan metode yang disebut 'variasi waktu transit' (deviasi waktu transit).

Massa mereka semua dapat diperoleh dengan margin kesalahan yang sangat kecil, yang memungkinkan untuk menentukan dengan presisi kepadatan, gravitasi dangkal dan komposisi mereka. Planet ekstrasurya memiliki rentang massa sekitar 0,3 Mt hingga 1,16 Mt, dengan kepadatan 0,62 hingga 1,02 terestrial (3,4-5,6 g / cm<sup>3</sup>). Planet c dan e hampir sepenuhnya berbatu, sementara b, d, f, g dan h memiliki lapisan yang mudah menguap dalam bentuk cangkang air, cangkang es atau atmosfer yang tebal. Trappist-1d tampaknya memiliki lautan air cair yang terdiri sekitar 5% dari massanya, untuk perbandingan, kadar air Bumi adalah <0,1%, sedangkan lapisan air Trappist-1f dan g mungkin beku. Trappist-1e memiliki kerapatan yang sedikit lebih tinggi daripada Bumi, menunjukkan komposisi batuan dan besi terestrial. Selain itu, ditemukan bahwa atmosfer Trappist-1b berada di atas batas rumah kaca yang melarikan diri dari 101 hingga 104 bar uap air. Planet-planet c, d, e, dan f tidak memiliki atmosfer hidrogen-helium. Planet g juga diamati, tetapi tidak ada data yang cukup untuk mengesampingkan atmosfer hidrogen.

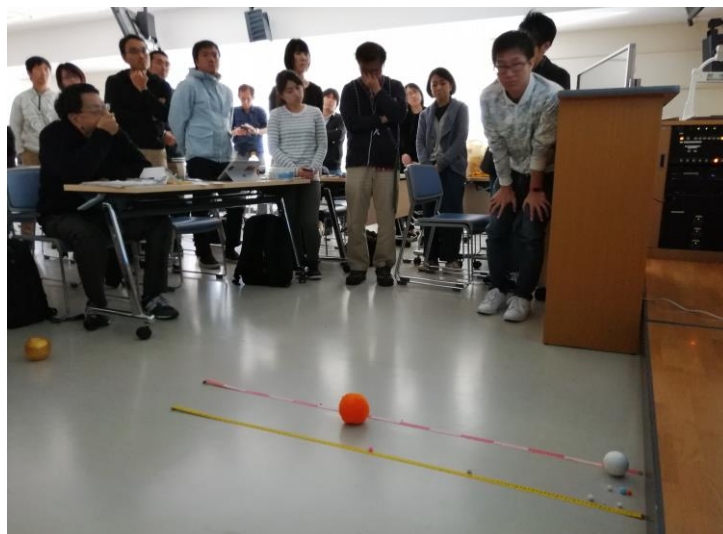
Trappist - 1	Distance AU	Diameter / km	Model Distance	Model Diameter
Trappist-1 b	0.012	14284	1.2 cm	1.4 cm
Trappist-1 c	0.016	13952	1.6 cm	1.4 cm
Trappist-1 d	0.022	9990	2.2 cm	1.0 cm
Trappist-1 e	0.030	11595	3.0 cm	1.2 cm
Trappist-1 f	0.039	13328	3.9 cm	1.3 cm
Trappist-1 g	0.047	14628	4.7 cm	1.5 cm
Trappist-1 h	0.062	9850	6.2 cm	1.0 cm

Tabel 14: Bintang induk Trappist-1 adalah katai jenis M8V merah yang terletak di rasi bintang Aquarius pada usia 40 tahun. Ini adalah bintang yang sedikit lebih besar dari Jupiter, dengan diameter 168.000 km dan diameter model 7 cm. Diamati bahwa jarak ke planet-planet dalam model lebih kecil dari diameter bintang, yang memberikan gambaran tentang kekompakan sistem ini.





Gbr. 35: Sistem Trappist-1 dibandingkan dengan tata surya dalam ruangan. Wilayah hijau menunjukkan zona layak huni - daerah di mana kehidupan seperti yang kita tahu bisa ada.



Gbr. 36: Setelah semua model telah dibangun, titik-titik yang disorot dalam presentasi zona habitasi harus dikomentari. Tergantung pada massa dan jenis bintang induknya, zona kelayakhuniannya kurang lebih dekat.

Masih ada banyak pertanyaan yang belum terjawab tentang sifat dan kelayakhunanan planet ekstrasurya. Mengetahui lebih banyak tentang mereka dan mempelajari lebih lanjut tentang sifat dan karakteristik mereka telah memotivasi beberapa misi luar angkasa saat ini dan di masa depan, seperti misi TESS dan JWST NASA dan CHEOPS dan PLATO ESA, yang terakhir dengan peluncuran pada tahun 2026 dan menunggu ekspansi dalam jumlah planet terestrial yang dikenal.

## Bibliography

- Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., *Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17<sup>th</sup> century*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.
- Gaitsch, R., *Searching for Extrasolar Planets*, Proceedings of 10<sup>th</sup> EAAE International Summer School, Barcelona 2006.
- Ros, R.M., *A simple rocket model*, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.
- Ros, R.M., *Measuring the Moon's Mountains*, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.
- Vilks I., *Models of extra-solar planetary systems*, *Proceedings of 10<sup>th</sup> EAAE International Summer School*, Barcelona 2006.