

Planet-planet dan planet-planet luar

Rosa M. Ros, Hans Deeg

International Astronomical Union
Universidad Politécnica de Cataluña, España
Instituto de Astrofísica de Canarias, España



Tujuan

- Memahami arti nilai-nilai numerik yang terdapat pada tabel data tentang planet-planet di Tata Surya
- Memahami karakteristik utama sistem planet di luar tata surya



Sistem Tata Surya

Kita mencari model-model yang memberikan informasi, dan bukan hanya tentang seni dan kerajinan tangan



Tentang Isi

Kita ingin model-model dengan muatan ilmiah dan menampilkan beberapa hal kongkrit



Aktivitas 1: Model jarak planet-planet ke matahari

Merkurius	57 900 000 km		6 cm	0,4 AU
Venus	108 300 000 km		11 cm	0,7 AU
Bumi	149 700 000 km		15 cm	1,0 AU
Mars	228 100 000 km		23 cm	1,5 AU
Jupiter	778 700 000 km		78 cm	5,2 AU
Saturnus	1 430 100 000 km		143 cm	9,6 AU
Uranus	2 876 500 000 km		288 cm	19,2 AU
Neptunus	4 506 600 000 km		450 cm	30,1 AU



Aktivitas 2: Model diameter

Matahari	1 392 000 km		139,0 cm
Merkurius	4 878 km		0,5 cm
Venus	12 180 km		1,2 cm
Bumi	12 756 km		1,3 cm
Mars	6 760 km		0,7 cm
Jupiter	142 800 km		14,3 cm
Saturnus	120 000 km		12,0 cm
Uranus	50 000 km		5,0 cm
Neptunus	45 000 km		4,5 cm

Model diameter



T-shirt dengan diameter
planet-planet dalam skala



Aktivitas 3: Diameter dan jarak ke matahari

Matahari	1 392 000 km			25,0cm	
Merkurius	4 878 km	57 900 000 km		0,1cm	10 m
Venus	12 180 km	108 300 000 km		0,2 cm	19 m
Bumi	12 756 km	149 700 000 km		0,2 cm	27 m
Mars	6 760 km	228 100 000 km		0,1 cm	41 m
Jupiter	142 800 km	778 700 000 km		2,5 cm	140 m
Saturnus	120 000 km	1 430 100 000 km		2,0 cm	250 m
Uranus	50 000 km	2 876 500 000 km		1,0 cm	500 m
Neptunus	45 000 km	4 506 600 000 km		1,0 cm	800 m

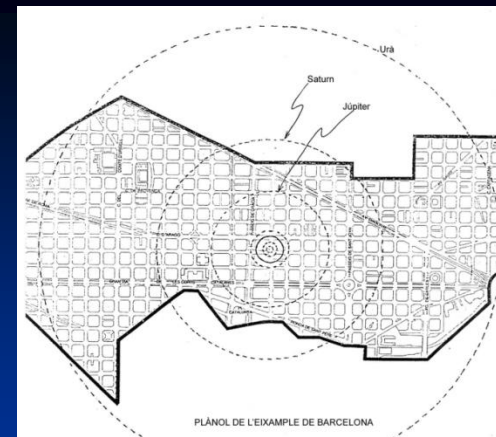
Biasanya di halaman sekolah hanya dapat mencapai Mars



Model diameter dan jarak di halaman sekolah ...



Aktivitas 4: Model di kota (Barcelona)



Matahari	Mesin cuci	<i>Puerta Instituto</i>
Mercurius	Telur ikan	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venus	Kacang polong	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Bumi	Kacang polong	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Mars	Butiran lada	<i>Paseo de Gracia</i>
Jupiter	jeruk	<i>Calle Balmes</i>
Saturnus	Jeruk keprok	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Uranus	Kacang berangan	<i>Calle Entenza</i>
Neptunus	Kacang berangan	<i>Estación de San</i>

Model di kota Metz (Perancis)



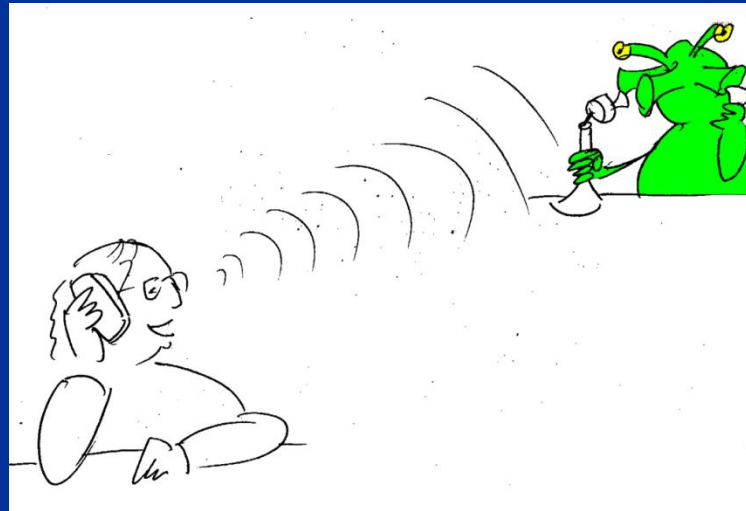
Aktivitas 5: Model waktu

■ $c = 300\,000 \text{ km/dt}$

Waktu yang diperlukan cahaya dari bulan ke bumi adalah :

$$t = \text{jarak EM} / c = 384\,000 \text{ km} / 300\,000 \text{ km/dt} = 1,3 \text{ dt}$$

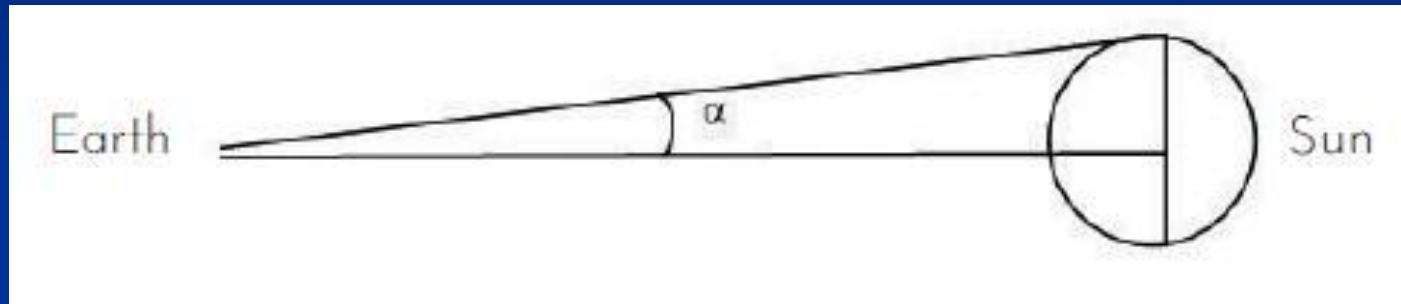
Bagaimanakah
suatu percakapan
antara planet-
planet dengan
"video" ?



Sinar matahari memerlukan waktu...ke

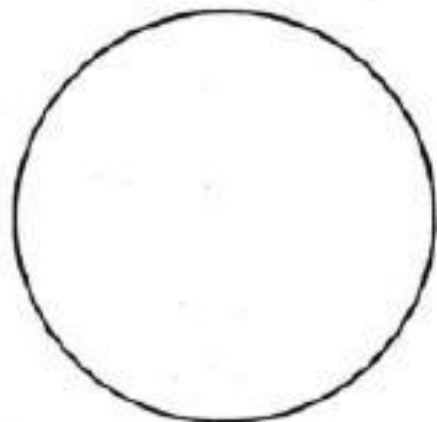
Merkurius	57 900 000 km		3,3 menit
Venus	108 300 000 km		6,0 menit
Bumi	149 700 000 km		8,3 menit
Mars	228 100 000 km		12,7 menit
Jupiter	778 700 000 km		43,2 menit
Saturnus	1 430 100 000 km		1,32 jam
Uranus	2 876 500 000 km		2,66 jam
Neptunus	4 506 600 000 km		4,16 jam

Aktivitas 6: Matahari dilihat dari planet-planet

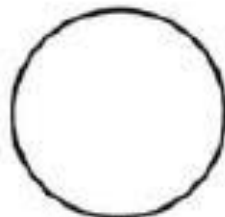


- $\alpha = \tan \alpha = \text{jari-jari matahari} / \text{jarak ke matahari} = 700\,000 / 150\,000\,000 = 0,0045 \text{ radian} = 0,255^\circ$
- Dari bumi, ukuran matahari $2\alpha = 0,51^\circ$

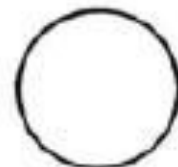
Matahari dilihat dari planet-planet



From Mercury



From Venus



From Earth



From Mars



From Jupiter



From Saturn



From Uranus



From Neptune

Aktivitas 7: Massa Jenis

Matahari	1,41 g/cm ³	⇒	Belarang (1,1-2,2)
Merkurius	5,41 g/cm ³	⇒	Pirit (5,2)
Venus	5,25 g/cm ³	⇒	Pirit (5,2)
Bumi	5,52 g/cm ³	⇒	Pirit (5,2)
Mars	3,90 g/cm ³	⇒	Sulfida (4,0)
Jupiter	1,33 g/cm ³	⇒	Belarang (1,1-2,2)
Saturnus	0,71 g/cm ³	⇒	Kayu pinus (0,55)
Uranus	1,30 g/cm ³	⇒	Belarang (1,1-2,2)
Neptunus	1,70 g/cm ³	⇒	Tanah liat (1,8-2,5)



Aktivitas 8: Model Perataan

- Potonglah strip karton berukuran 35 x 1 cm.
- Lekatkan strip tersebut pada tongkat silindris yang panjangnya 50 cm dan diameternya 1 cm, biarkan ujung bawah strip tidak dilekatkan ke batang sehingga strip dapat bergerak sepanjang tongkat.
- Putar tongkat di antara tangan Anda dengan cepat dalam satu arah dan arah lainnya. Gaya sentrifugal akan mengubah bentuk pita karton sama seperti mengubah bentuk planet.



Perataan

Planet	$(\text{jari-jari equator} - \text{jari-jari polar}) / \text{jari-jari equator}$
Merkurius	0,0
Venus	0,0
Bumi	0,0034
Mars	0,005
Jupiter	0,064
Saturnus	0,108
Uranus	0,03
Neptunus	0,03



Aktivitas 9: Model Periode Orbital

- Lekatkan suatu benda pada salah satu ujung tali dan pegang tali pada ujung yang lain. Putarlah tali di atas kepala Anda.
- Jika Anda memanjangkan tali, dibutuhkan waktu lebih lama untuk menyelesaikan suatu periode orbit
- Jika Anda you memendekkan tali, dibutuhkan waktu lebih sedikit untuk menyelesaikan suatu periode orbit



Data orbital bumi

Laju sudut $\omega = 2\pi/T$

$$= 2\pi / (365 \times 24 \times 60 \times 60) = 0,000000199 \text{ radian/dt}$$

$$= 2\pi / (365 \times 24) = 0,000717 \text{ radian/jam}$$

Laju orbit rata-rata $v = \omega R$

$$= 0,000000199 \times 150 \times 10^6 = 29,78 \text{ km/dt}$$

$$= 0,000717 \times 150 \times 10^6 = 107589 \text{ km/jam}$$

(Laju orbit rata-rata dari matahari mengelilingi pusat galaxy adalah 220 km/dt atau 800000 km/jam).



Data orbital

Planet	Periode orbital (hari)	Jarak dari matahari (km)	Laju rata-rata orbital (km/dt)	Laju rata-rata orbital (km/jam)
Mercurius	87,97	$57,9 \cdot 10^6$	47,.90	172440
Venus	224,70	$108,3 \cdot 10^6$	35,.02	126072
Bumi	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
Saturnus	10759,22	$1\,430,1 \cdot 10^6$	9,69	34884
Uranus	30799,10	$2\,876,5 \cdot 10^6$	6,81	24876
Neptunus	60190,00	$4\,506,6 \cdot 10^6$	5,43	19558



Aktivitas 10: Model gravitasi permukaan

- Gravitasi permukaan, $F = GM m/d^2$, dengan $m = 1$, $d = R$. Jadi $g = GM/R^2$, dengan $M = 4/3 \pi R^3 \rho$
- Dengan substitusi diperoleh : $g = 4/3 \pi G R \rho$



Gravitasi permukaan

Planet-planet	Jari-jari Equator	Massa Jenis		Perhitungan gravitasi	Gravitasi Riel	
Merkurius	2439 km	5,4 g/cm ³		0,378	3,70 m/dt ²	0,37
Venus	6052 km	5,3 g/cm ³		0,894	8,87 m/dt ²	0,86
Bumi	6378 km	5,5 g/cm ³		1,000	9,80 m/dt ²	1,00
Mars	3397 km	3,9 g/cm ³		0,379	3,71 m/dt ²	0,38
Jupiter	71492 km	1,3 g/cm ³		2,540	23,12 m/dt ²	2,36
Saturnus	60268 km	0,7 g/cm ³		1,070	8,96 m/dt ²	0,91
Uranus	25559 km	1,2 g/cm ³		0,800	8,69 m/dt ²	0,88
Neptunus	25269 km	1,7 g/cm ³		1,200	11,00 m/dt ²	1,12
Bulan					1,62 m/dt ²	0,16

Aktivitas 11: Model “dampak kawah”

- Tutupi lantai dengan kertas koran untuk mencegah lantai menjadi kotor.
- Dalam suatu kotak, buatlah lapisan tepung setinggi 1 atau 2 cm dengan saringan untuk membuat permukaan yang sangat halus
- Buatlah lapisan beberapa milimeter dari bubuk cocoa di atas tepung dengan saringan
- Dari ketinggian sekitar 2 m, jatuhkan sesendok makan bubuk kakao untuk membuat tanda seperti kawah
- Tepung yang digunakan dapat didaur ulang untuk percobaan baru



Aktivitas 12: Kecepatan melepaskan diri

- $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$
- $E_{\text{pot}} = -GM_{\text{Planet}}m/R_{\text{Planet}}$
- $E_{\text{mec}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0$
- $g_{\text{planet}} = GM_{\text{planet}}/R_{\text{planet}}^2$

Kemudian: $-GM_{\text{planet}}m/R_{\text{Planet}} + \frac{1}{2} mv^2 = 0$

$$\frac{1}{2} mv^2 = g_{\text{planet}}mR_{\text{planet}}$$

kecepatan lepas:

$$v = (2gR)^{1/2}$$

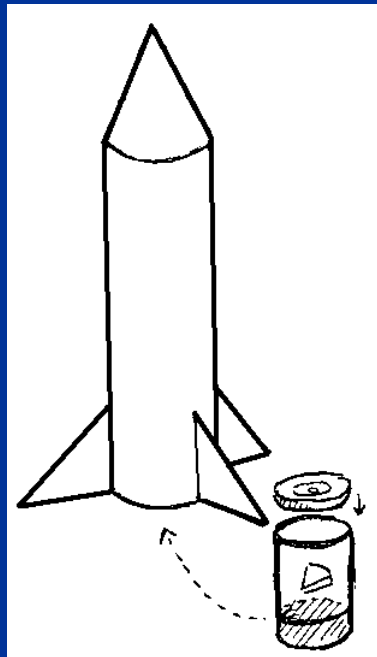


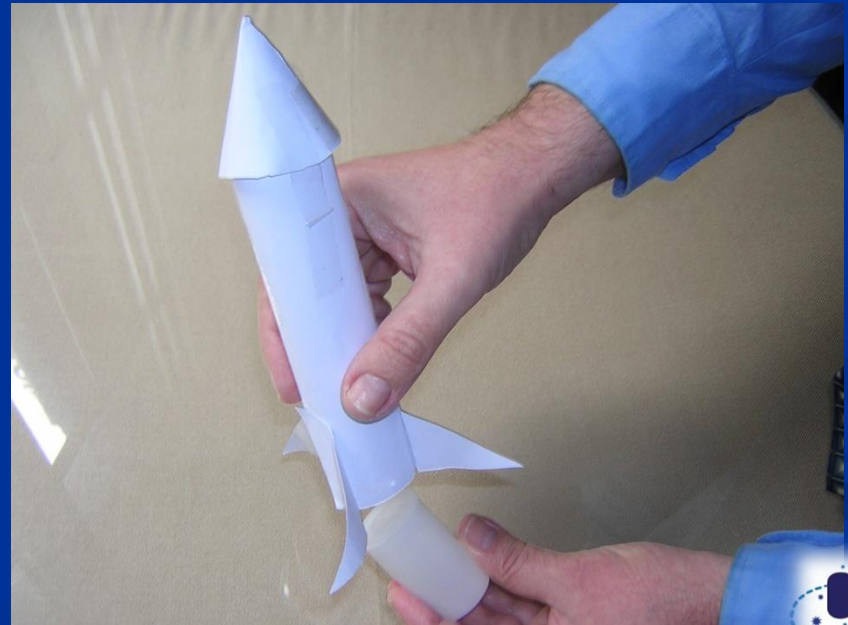
Kecepatan melepaskan diri

Planet	Jari-jari equator	Gravitasi permukaan		Kecepatan melepaskan diri
Merkurius	2 439 km	0,378		4,3 km/dt
Venus	6 052 km	0,894		10,3 km/dt
Bumi	6 378 km	1,000		11,2 km/dt
Mars	3 397 km	0,379		5,0 km/dt
Jupiter	71 492 km	2,540		59,5 km/dt
Saturnus	60 268 km	1,070		35,6 km/dt
Uranus	25 559 km	0,800		21,2 km/dt
Neptunus	25 269 km	1,200		23,6 km/dt

Peluncuran roket

- Kertas karton
- Tabung tempat film/obat
- $\frac{1}{4}$ obat effervescent





Sistem-sistem planet di luar tata surya



Tahun 1995 Michael Mayor dan Didier Queloz mengumumkan penemuan suatu eksoplanet Pegasi 51 yang mengorbit



Foto pertama
eksoplanet 16
Maret 2003

2M1207b directly imaged (ESO)



Kami bergantung pada teknologi



Pada tahun 1610, Galileo mengamati Saturnus untuk pertama kalinya, menggunakan teleskopnya.

Ia tidak melihat cincin Saturnus namun ia menginterpretasikannya sebagai bintang yang tergolong sistem 3 benda. Pada tahun 1659

Huygens dengan menggunakan teleskop yang lebih canggih dapat melihat cincin. Rubens (1636-1638) menggambarkan Saturnus sebagai sistem 3 benda seperti penemuan Galileo.

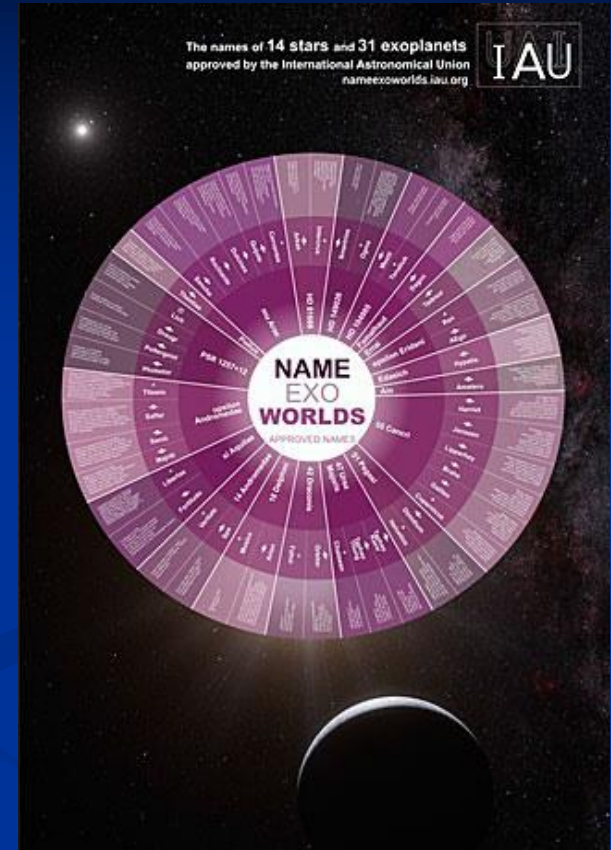


Nama eksoplanet

Huruf yang diletakkan setelah nama bintang utama dimulai dengan huruf “b” untuk planet pertama yang ditemukan di system (*contoh 51 Pegasi b*).

Planet berikutnya diberi nama menggunakan huruf alfabet selanjutnya yaitu c, d, e, f, etc.

(*51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e atau 51 Pegasi f*).



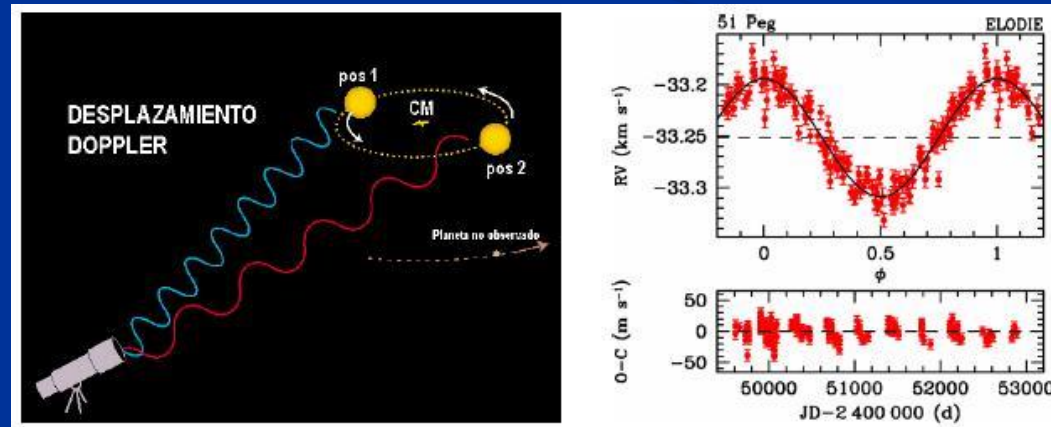
Metode Deteksi Eksoplanet

- ❑ Kecepatan Radial dan Efek Doppler
- ❑ Transit
- ❑ Microlensing
- ❑ lainnya

Metode Deteksi: Kecepatan Radial

Variasi kecepatan radial dari bintang saat mengelilingi pusat masa sistem planet dan bintang diukur menggunakan Efek doppler

Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk mendeteksi eksoplaetn 51 Pegasus b pertama kali

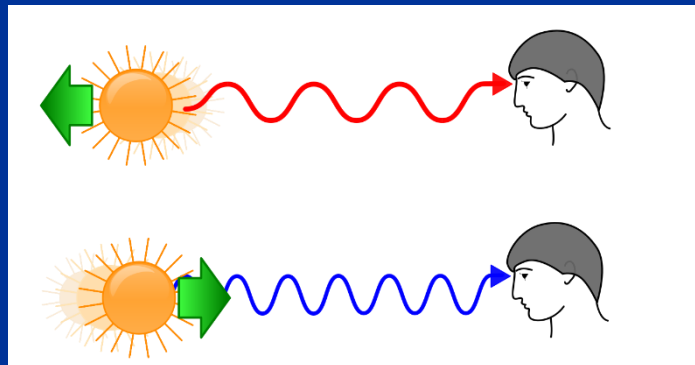


Aktivitas 13: Efek Doppler

Efek Doppler adalah perubahan panjang gelombang cahaya tatkala sumber radiasi bergerak.

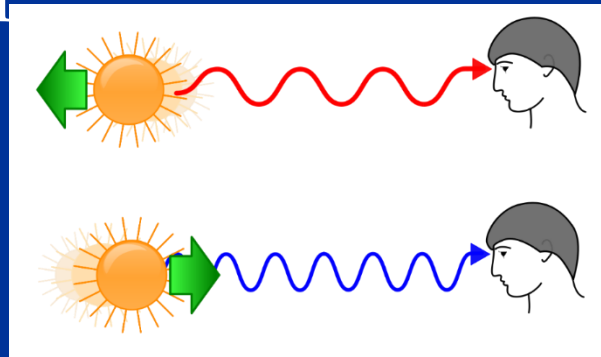
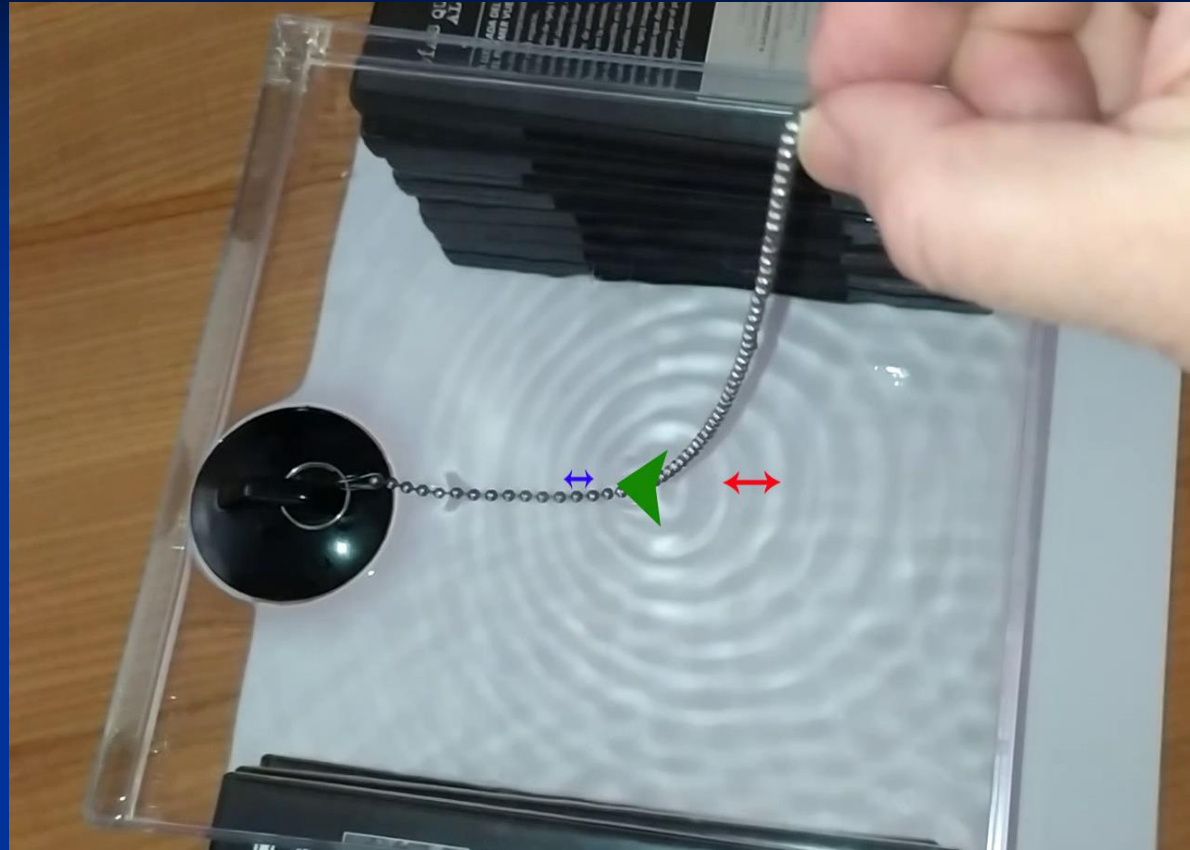
Apabila sumber mendekat, panjang gelombang memendek dan cahaya teramati akan bergeser ke bagian biru dari spektrum kasat mata.

Namun ketika sumber menjauh, panjang gelombang bertambah dan cahaya teramati akan bergeser ke bagian merah dari spektrum kasat mata.



Aktivitas 13: Efek Doppler

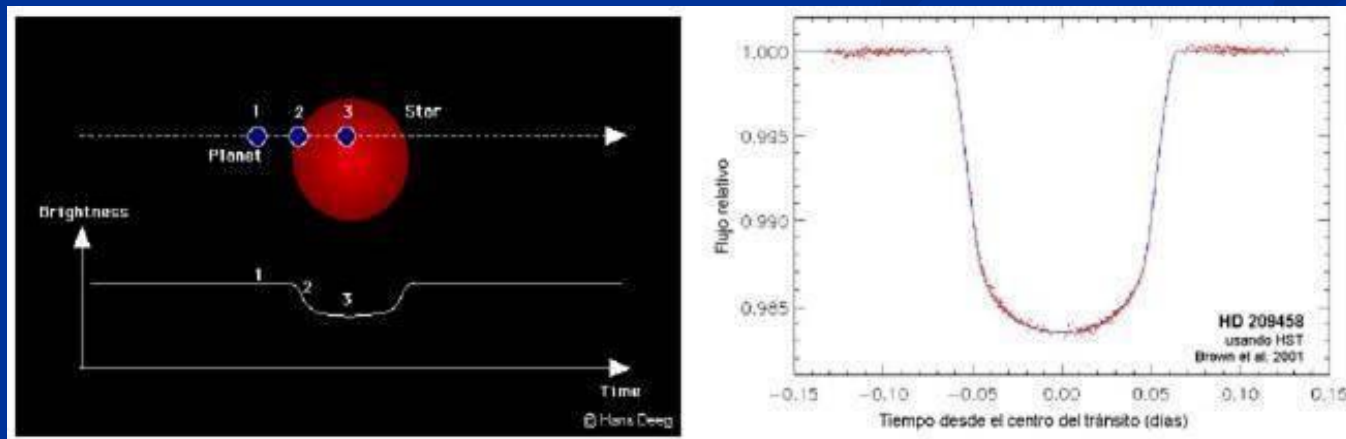
Efek Doppler ini dapat di reproduksi dengan sebuah ember berisi air, katup bak dengan rantainya, dan lampu ponsel



Metode deteksi: Transit

Selama transit eksoplanet, kecerlangan dari bintang akan mengalami penurunan.

Untuk bintang mirip matahari dan planet seukuran Jupiter, penurunan kecerlangannya sekitar 1%, sedangkan untuk planet seukuran Bumi penurunannya sekitar 0.03%.

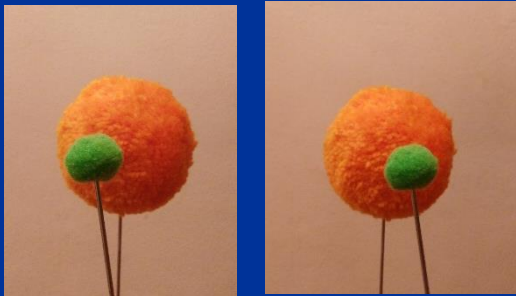


Aktivitas 14: Simulasi Transit

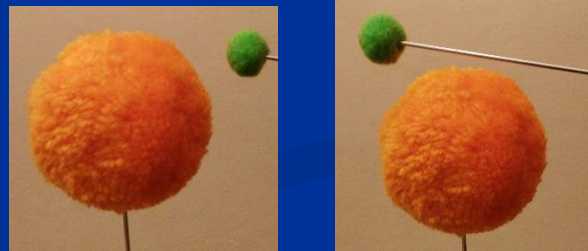
Menggunakan dua bola: satu besar untuk bintang dan satu kecil untuk planet

Dengan pengamat berada pada bidang yang sama dengan bidang orbit dan mengamati peristiwa tersebut, anda akan melihat planet melewati bagian depan bintang dan kecerlangannya berkurang

Namun jika pengamat tidak berada pada satu bidang dengan orbit planet, maka tidak akan teramati penurunan kecerlangan



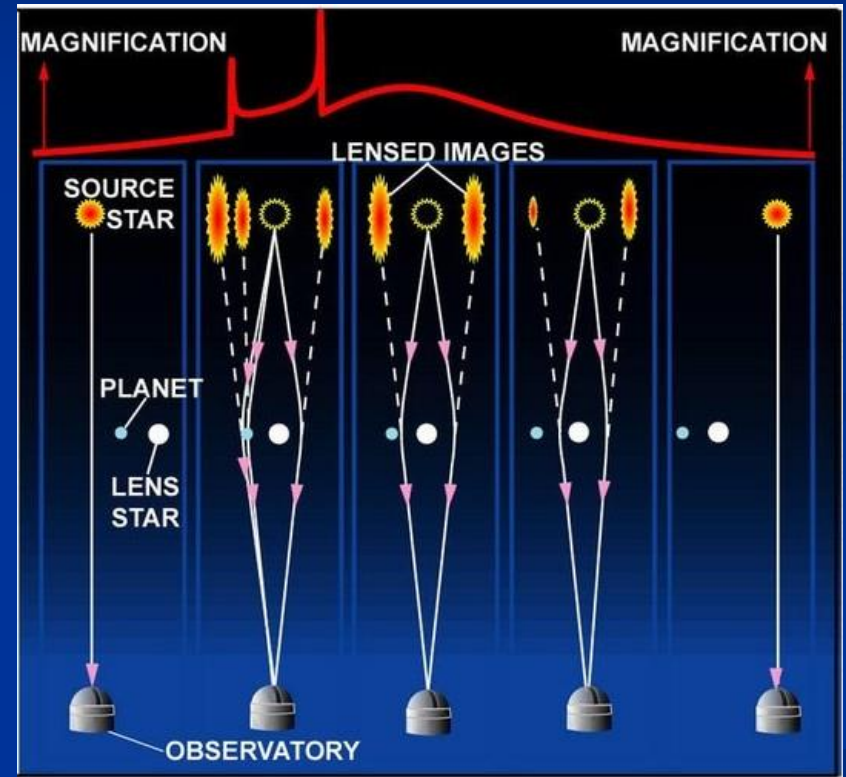
Pengamat satu bidang dengan orbit



Pengamat berada diluar orbit planet

Metode deteksi: Micro lensing

Terdapat pembesaran atau distorsi yang dapat menyoroti sistem bintang-eksoplanet, akibat dari keselarasannya dengan bintang atau objek yang dapat menyebabkan lensa gravitasi



Harus terdapat keselarasannya visual yang menyeluruh antara 3 benda (bumi, objek yang menyebabkan lensa gravitasi, bintang-eksoplanet)

Aktivitas 15: Simulasi Microlensing



Dengan menggunakan satu kaki gelas, tidak terlihat apa-apa

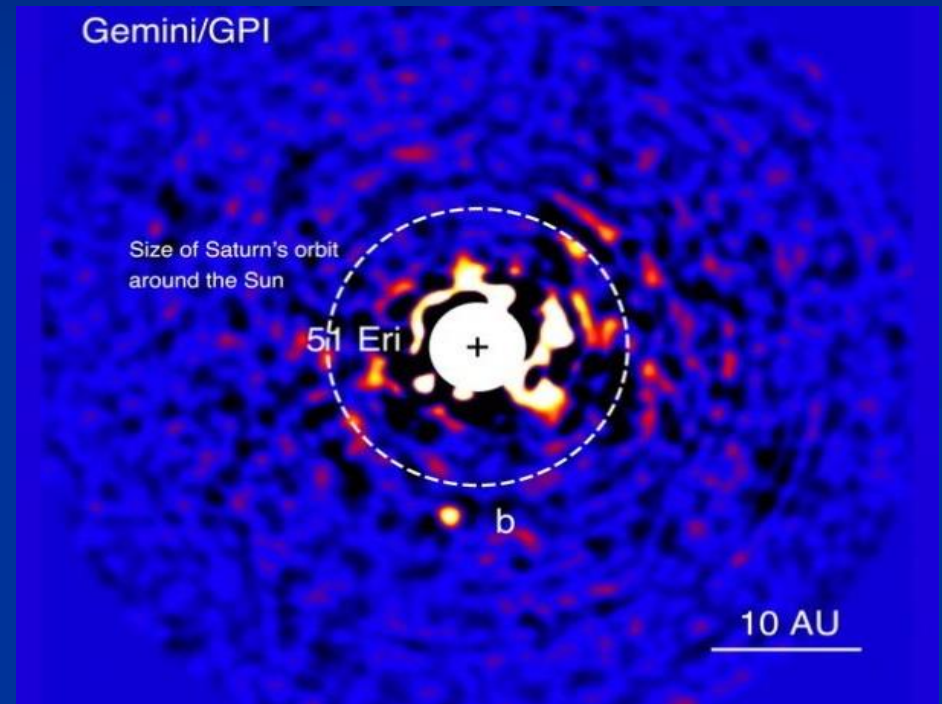


Dengan menggunakan dua pasang kaki gelas

Kemudian kita menggerakkan satu diatas yang lainnya, maka akan muncul satu titik bahkan 2

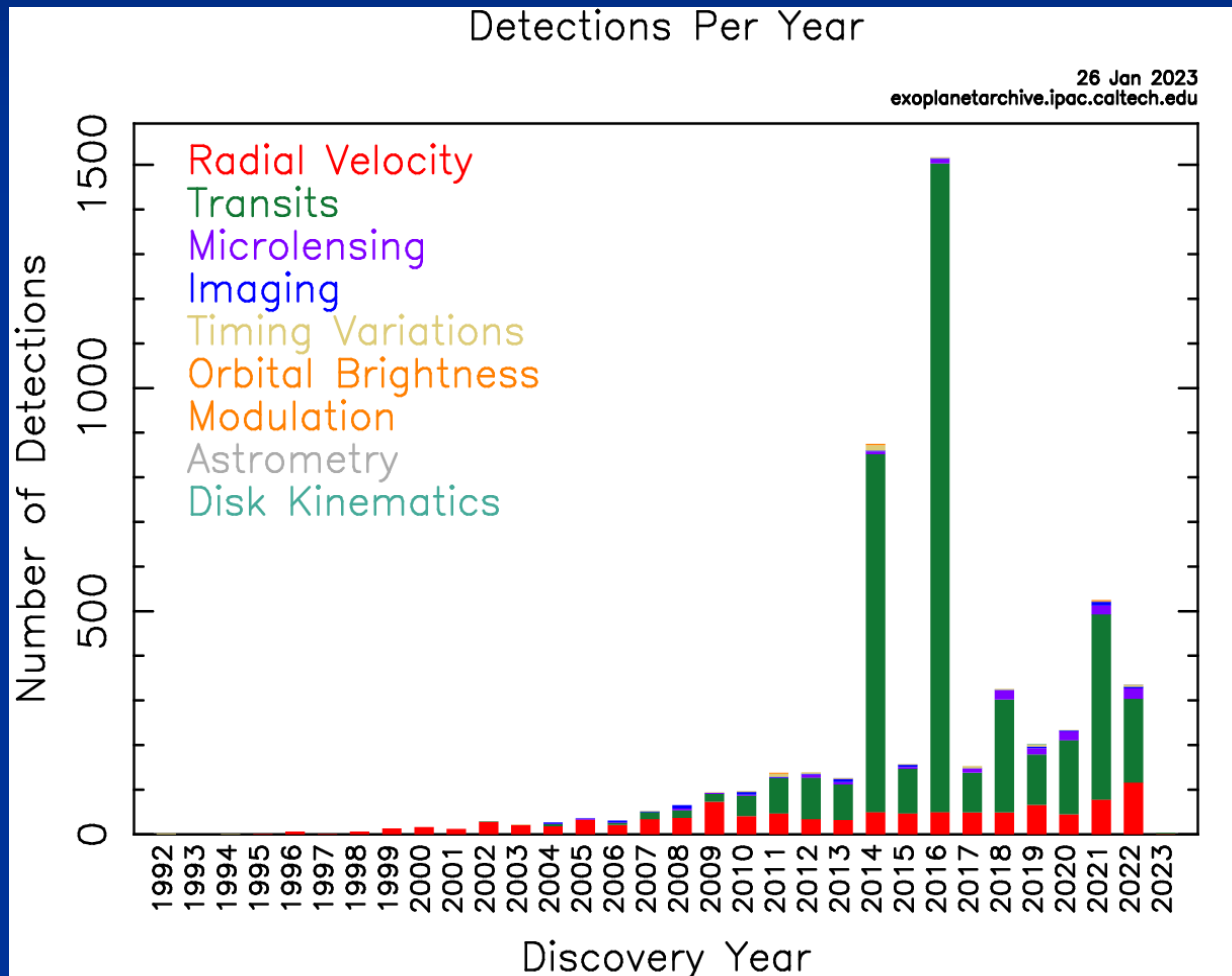
Metode deteksi: Langsung

Citra dari bintang
yang dipelajari untuk
menentukan
eksoplanet di
sekitarnya



Karena jumlah cahaya yang dipancarkan bintang sangat terang, maka ini bukanlah hal yang mudah untuk dilakukan

2023 eksoplanet yang diketahui berdasarkan metode deteksinya



Model Sistem eksoplanet

Saat ini, sekitar 4.000 sistem planet telah ditemukan, lebih dari 5.300 eksoplanet, dan pengamatan terhadap sekitar 10.000 kandidat eksoplanet telah dilakukan. Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

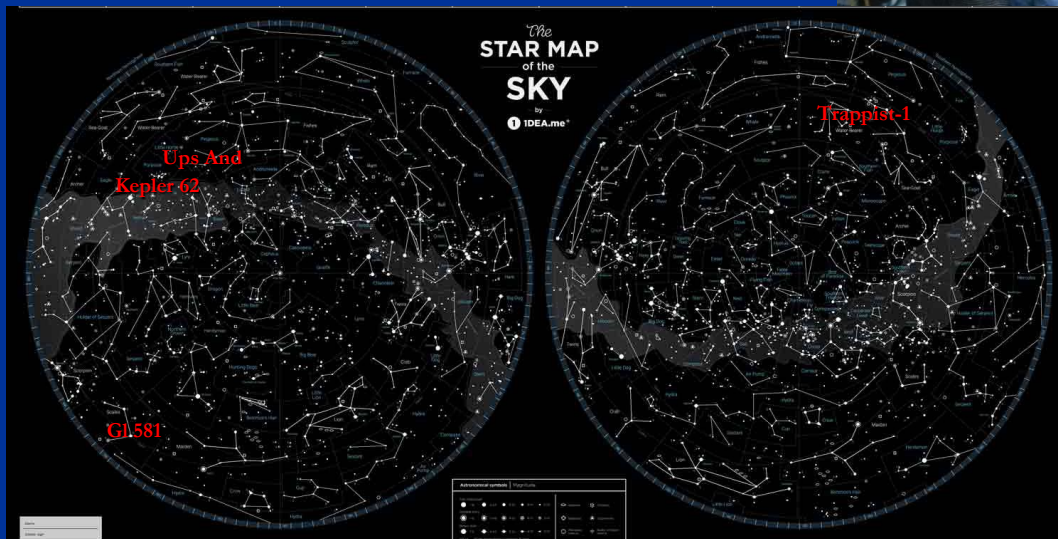
Massa eksoplanet dibandingkan dengan Jupiter (M_j) (1.9×10^{27} kg) dan Bumi (M_e) (5.97×10^{24} kg).



Penyebabnya adalah keterbatasan teknologi



Aktivitas 16: skala model sistem eksoplanet



Jarak 1 sa = 1m
Diameter 1000 km = 0.5 cm

Aktivitas 16: membangun tatasurya

Tatasurya	Jarak Sa	Diameter km	Jarak Model	Diameter model
Merkurius	0.39	4879	40 cm	0.2 cm
Venus	0.72	12104	70 cm	0.6 cm
Bumi	1	12756	1m	0.6 cm
Mars	1.52	6794	1.5 m	0.3 cm
Jupiter	5.2	142984	5 m	7 cm
Saturnus	9.55	120536	10 m	6 cm
Uranus	19.22	51118	19 m	2.5 cm
Neptunus	30.11	49528	30 m	2.5 cm

Bintang induk Matahari G2V, diameter Matahari di model 35 cm

jarak 1 sa = 1 m

Diameter 10000 km = 0.5 cm



Aktivitas 16: Membangun (sistem eksoplanet pertama)

Upsilon Andromedae Titawin	Tahun penemuan Year	Jarak Sa	Diameter km	Jarak Model	Diameter Model
Upsilon And b/Saffar	1996	0.059	108 000	6 cm	5.5 cm
Upsilon And c/Samh	1999	0.830	200 000	83 cm	10 cm
Upsilon And d/Majriti	1999	2.510	188 000	2.5 m	9 cm
Upsilon And e/Titawin e	2010	5.240	140 000	5.2 m	7 cm

Bintang induk Upsilon Andromedae F8V berjarak 44 tahun cahaya di And., Diameter 1.28 diameter matahari dalam model model is 45 cm

jarak 1 sa = 1 m

Diameter 10000 km = 0.5 cm



Aktivitas 16: membangun (planet Batuan)

Gliese 581	Tahun penemuan Year	Jarak Sa	Diameter km	Jarak Model	Diameter Model
Gl.581 e	2009	0.030	15 200	3 cm	0.8 cm
Gl.581 b	2005	0.041	32 000	4 cm	1.6 cm
Gl.581 c	2007	0.073	22 000	7 cm	1.1 cm

Bintang induk Gliese 581 M2,5V berjarak 20,5 tahun cahaya di Libra, Diameter 0.29 diameter matahari dalam model 10 cm

jarak 1 sa = 1 m

Diameter 10000 km = 0.5 cm



Membangun (planet batuan layak huni)

Kepler 62	Tahun penemuan Year	Jarak Sa	Diameter km	Jarak Model	Diameter Model
Kepler-62 b	2013	0.056	33 600	5.6 cm	1.7 cm
Kepler-62 c	2013	0.093	13 600	9 cm	0.7 cm
Kepler-62 d	2013	0.120	48 000	12 cm	2.4 cm
Kepler-62 e	2013	0.427	40 000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0.718	36 000	72 cm	1.8 cm

Bintang induk Kepler 62 K2V berada pada jarak 1200 tahun cahaya di Lyr,. Diameter 0.64 of the Sun in the model

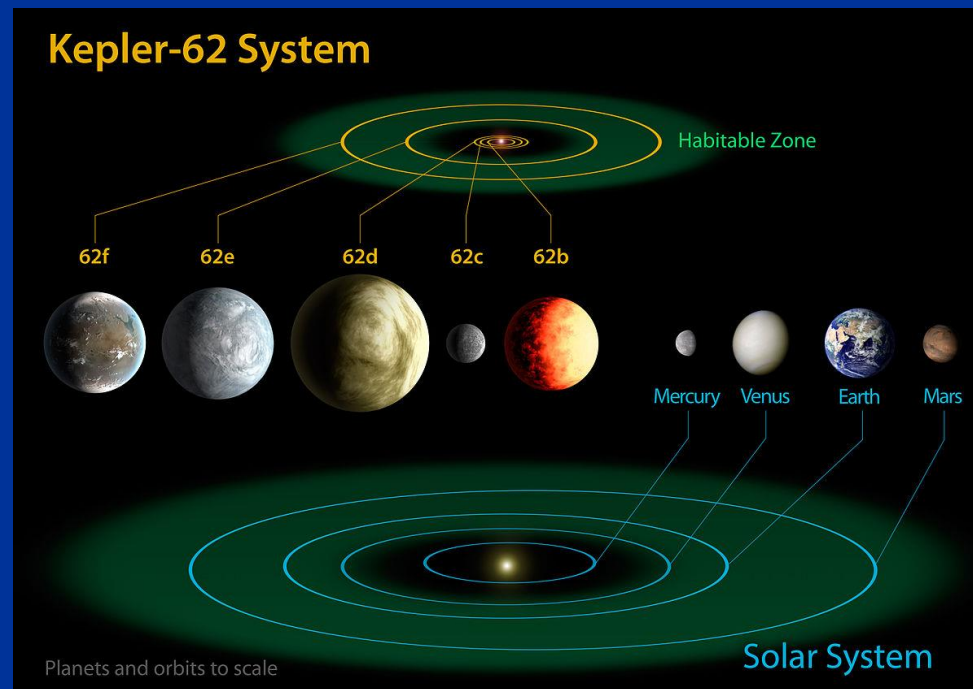
is 22 cm
jarak 1 sa = 1 m

Diameter 10000 km = 0.5 cm



Kemungkinan Kelayak hunian planet

- Pada zona habitasi Kepler-62: dua dari eksoplanet dapat memiliki air dalam bentuk cair di permukaannya. Untuk Kepler-62e, yang berada di bagian dalam zona habitasi, hal ini menyebabkan dibutuhkan awan yang reflektif untuk mengurangi radiasi yang memanaskan permukaan. Kepler-62f di sisi lain, berada pada daerah luar zona habitasi.



Membangun (planet batuan layak huni)

Trappist-1	Tahun penemuan Year	Jarak Sa	Diameter km	Jarak Model	Diameter Model
Trappist-1 b	2016	0.012	28 400	1.2 cm	1.4 cm
Trappist-1 c	2016	0.016	28 000	1.6 cm	1.4 cm
Trappist-1 d	2016	0.022	20 000	2.2 cm	1.0 cm
Trappist-1 e	2017	0.030	23 200	3.0 cm	1.2 cm
Trappist-1 f	2017	0.039	26 800	3.9 cm	1.3 cm
Trappist-1 g	2017	0.047	29 200	4.7 cm	1.5 cm
Trappist-1 h	2017	0.062	19 600	6.2 cm	1.0 cm

Bintang induk Trappist 1 M8V berjarak 40 tahun cahaya di Acuaris, Diameter 0.1 diameter matahari dalam

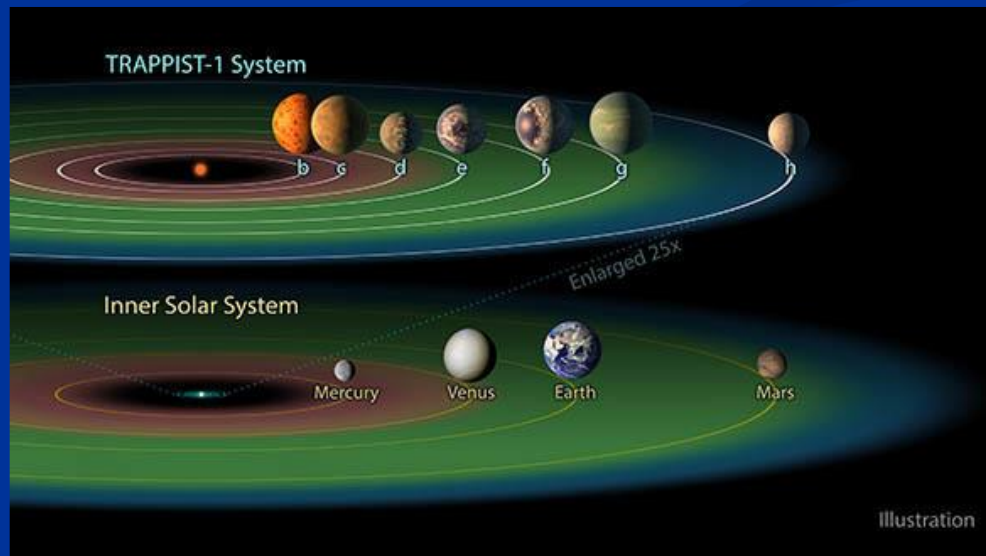
Distance 1 AU = 1 m model 4 cm

Diameter 10000 km = 0.5 cm



Kemungkinan Kelayak hunian planet

- Pada system Trappis-1 merupakan planet batuan dan dapat memiliki air dalam jumlah banyak, baik dalam bentuk cair, gas atau kerak es. Didalam zona habitasi terdapat planet Trappist-1e yang kemungkinan memiliki ini yang rapat, mirip Bumi yang mengindikasikan semua planet dalam system ini juga sama, ini merupakan planet yang paling mirip bumi dan kemungkinan juga memiliki magnetosfer pelindung



Kesimpulan

- Pengetahuan tentang lebih “kongkrit”
- Mendapatkan hubungan antar “parameter” yang membuat lebih mudah memahami dimensinya
- Tatasurya ternyata “kosong”
- Pengenalan eksoplanet, mengenali metode deteksinya



Thank you for your
attention!

