

Evolusi Bintang: Kelahiran, Masa hidup, dan Kematian Bintang

John R. Percy

International Astronomical Union

University of Toronto, Canada



Evolusi Bintang



Nebula Cincin, suatu bintang dalam proses kematian.

Sumber: NASA

- Saat kita membicarakan tentang evolusi bintang, kita membahas tentang perubahan yang terjadi pada bintang saat mereka mengkonsumsi “bahan bakar”, sejak lahir sepanjang masa hidupnya, hingga bintang itu mati.
- Pengertian tentang evolusi bintang akan membantu para astronom agar mengerti tentang:
 - Sifat alami dan takdir masa depan dari matahari.
 - Asal-usul tata surya.
 - Bagaimana perbandingan sistem tata surya kita dengan sistem planet yang lain.
 - Kemungkinan adanya kehidupan di suatu tempat dalam alam semesta.



Properti Matahari: suatu bintang terdekat dan bagaimana pengukuran oleh astronom – penting!



Matahari
Sumber: Satelit NASA, SOHO

- **Jarak:** 1.5×10^{11} m, dengan memantulkan gelombang radar dari Merkurius ke Venus
- **Massa:** 2×10^{30} kg, pengukuran gerakan planet-planet saat mengitari matahari
- **Diameter:** 1.4×10^9 m, dari kenampakan diameter (sudut) dari matahari dan jaraknya
- **Daya:** 4×10^{26} W, dari jarak dan pengukuran daya yang diterima oleh bumi
- **Komposisi Kimiawi:** 98% hidrogen and helium, dipelajari berdasarkan spektrumnya.

Properti bintang – matahari yang jauh letaknya dan pengukuran oleh astronom – penting!



Konstelasi Orion.

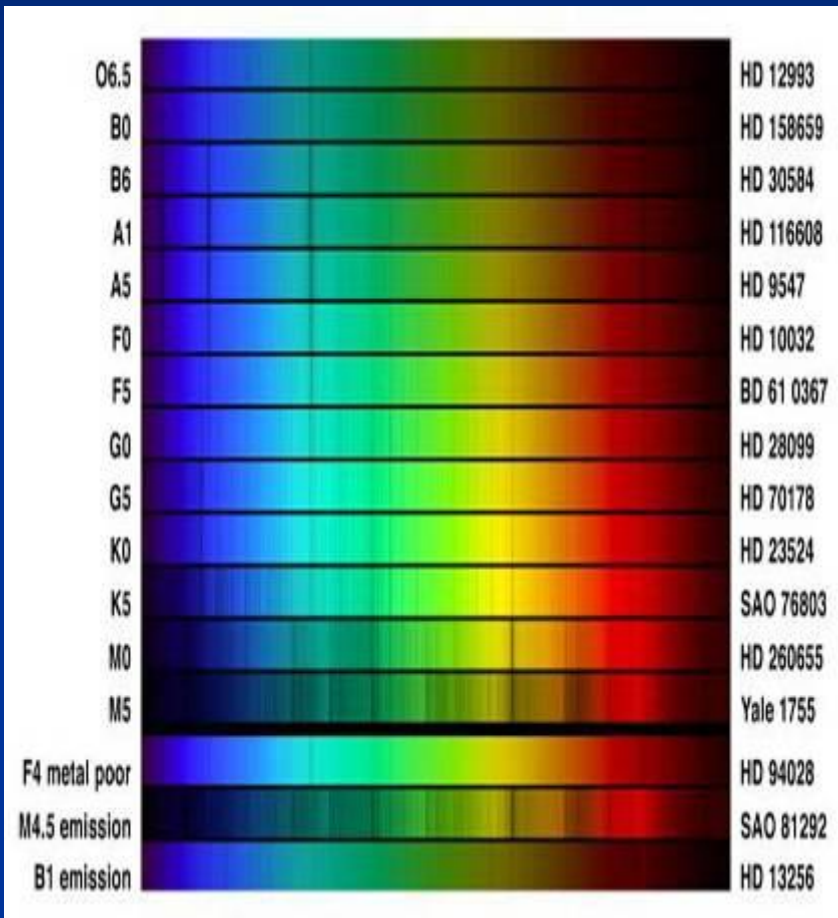
Sumber: Hubble, ESA, Akira Fujii

- **Jarak:** dari paralaks bintang, atau dari kenampakan terangnya jika dayanya diketahui.
- **Daya:** dari jarak dan kenampakan terangnya
- **Temperatur permukaan:** dari warna spektrumnya
- **Gelombang Radio:** dari daya dan temperatur permukaannya
- **Massa:** Menggunakan pengamatan dari bintang-bintang biner
- **Komposisi kimiawi:** dari spektrum bintang



Spektrum Bintang:

cahaya bintang, diuraikan menjadi warna penyusunnya



- Para astronom mempelajari sumber-sumber astronomis dengan pengamatan terhadap cahaya yang dipancarkannya
- Berdasarkan spektrum dapat diperoleh informasi tentang komposisi, temperatur dan properti bintang lainnya.

Kiri: 13 spektrum pertama dihasilkan oleh bintang-bintang yang berbeda suhu permukaannya (bagian atas: suhu tertinggi); tiga spektrum terakhir diambil dari bintang dengan properti yang aneh/khas

Spektrum Bintang

Sumber: Observatorium US National Optical Astronomy



Diagram Hertzsprung-Russell

Diagram yang memuat properti bintang-bintang!

- Diagram Hertzsprung-Russell (HR), menunjukkan daya (tingkat terang) sebagai fungsi dari temperatur (kelas spektrum); bagian ordinat “magnitudo absolut” adalah ukuran daya secara logaritmik.
- Sebagian terbesar bintang terletak pada “rantai utama” : bintang masif bersuhu tinggi dan mempunyai daya yang besar (kiri atas), sementara bintang-bintang yang bermassa lebih kecil, suhunya lebih rendah dan dayanya kecil (kanan bawah)
- Bintang raksasa terletak pada bagian kanan-atas, sedang katai putih pada bagian kiri-bawah.

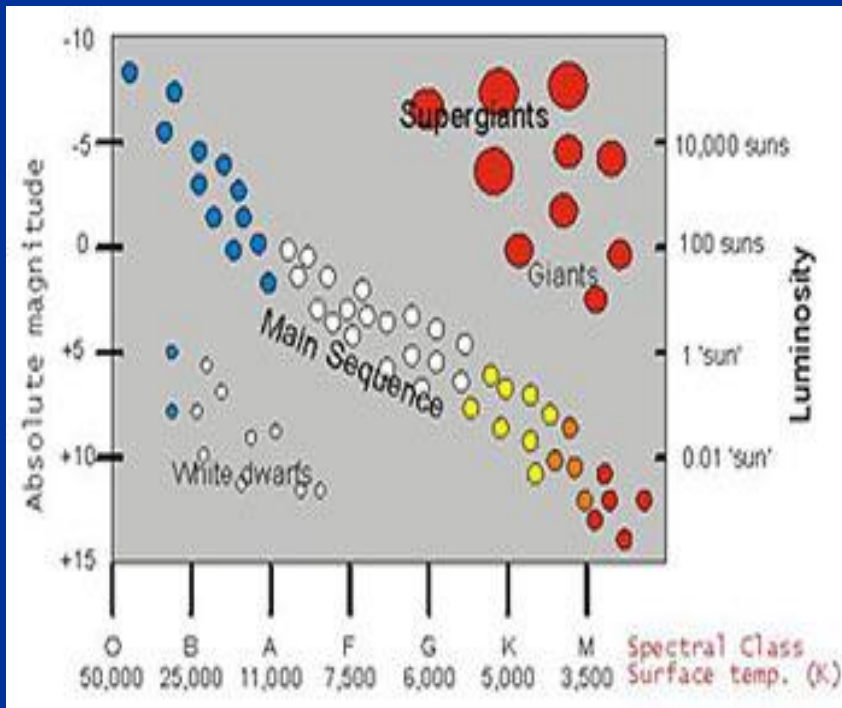
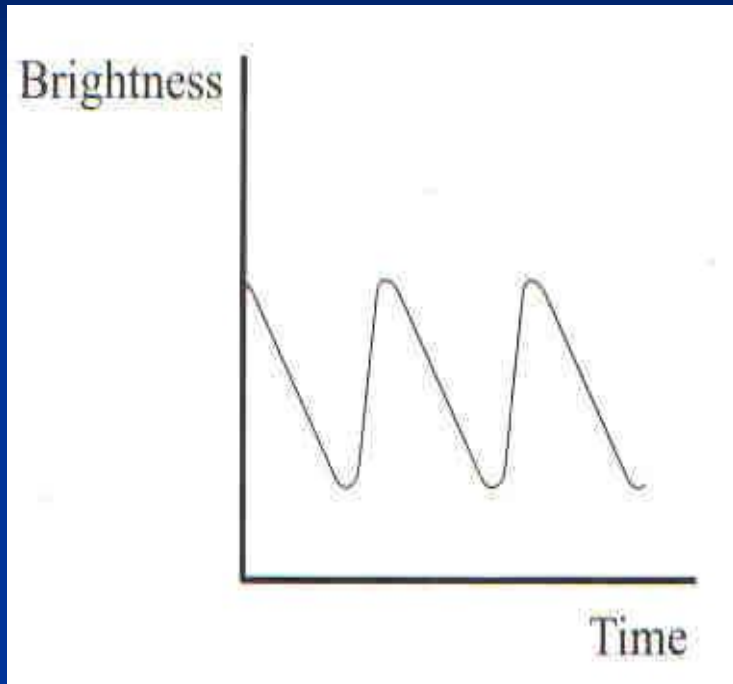


Diagram HR Sumber: NASA



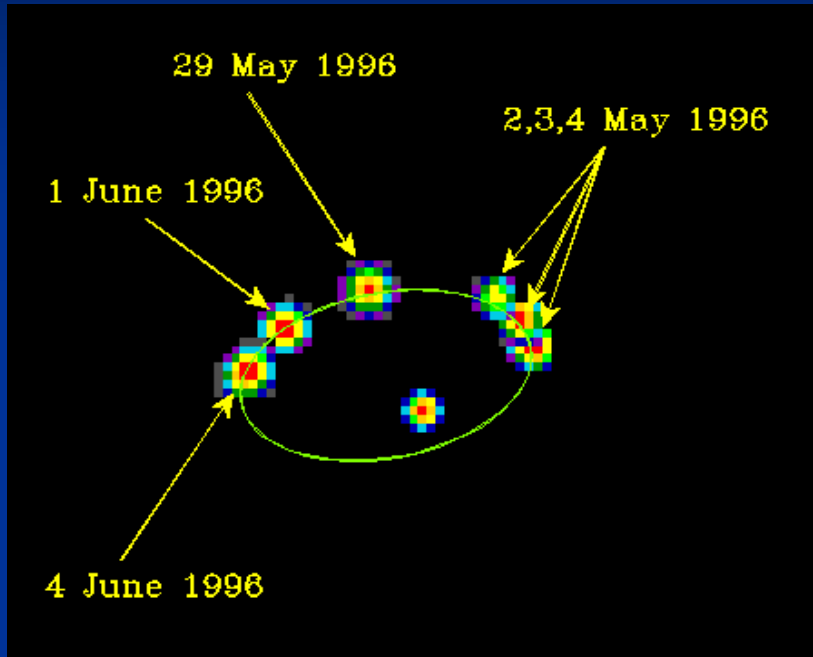
Bintang Variabel



Kurva cahaya: grafik tingkat terang vs waktu.

- Bintang variabel adalah bintang yang tingkat terangnya berubah terhadap waktu.
- Sebagian besar bintang bersifat variabel; artinya terjadi variasi karena mereka bergetar, bersinar terang, meletus atau meledak, atau terhalang oleh bintang atau planet disekitarnya.
- Bintang variabel memberikan informasi penting tentang sifat bintang dan evolusinya.

Bintang biner (ganda) and multipel



Gerakan orbital Mizar, di Orsa Mayor.
Sumber: NPOI Group, USNO, NRL

- Bintang biner adalah pasangan bintang yang letaknya berdekatan karena efek gravitasi, saling mengorbit antar bintang tersebut. Mereka dapat terlihat secara langsung (seperti terlihat pada gambar di samping), atau dideteksi dari spektrum bintang tersebut, atau dari gerhana yang terjadi antar bintang tersebut.
- Keberadaan bintang biner sangat penting sebagai alat ukur untuk mengukur massa bintang-bintang.
- Bintang multipel terdiri dari tiga atau lebih bintang yang saling terikat karena efek gravitasi

Kluster bintang

“Eksperimen tentang sifat bintang”



Kluster terbuka Pleiades.

Sumber: Observatorium Mount Wilson

- Kluster bintang adalah kelompok bintang yang letaknya berdekatan satu sama lain karena efek gravitasi, dan bergerak bersamaan melintasi ruang angkasa.
- Mereka terbentuk waktu waktu dan tempat yang sama, mempunyai kesamaan material, dan berada pada jarak yang sama, hanya berbeda massanya saja.
- Kluster adalah contoh dari sekelompok bintang berbeda massa tetapi umurnya sama.



Apa materi penyusun Matahari dan bintang?



Kelimpahan unsur kimia dalam Kosmos: biji pakan burung H (90%), beras He (8%), kacang-kacangan C, N, O dan sebagian kecil unsur-unsur lain (2%).

- Dengan spektroskopi atau teknik lainnya, para astronom dapat mengidentifikasi “material utama” pembentuk bintang
- Hidrogen (H) and helium (He) adalah unsur dengan kelimpahan terbesar, dan terbentuk bersamaan dengan terbentuknya alam semesta
- Unsur-unsur yang lebih berat hanya mempunyai kelimpahan 1/1 000 000 atau 1/1 000 000 000 bagian. Unsur-unsur tersebut terbentuk di dalam bintang karena reaksi termonuklir

1 H																	2 He				
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba			72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn			
87 Fr	88 Ra			104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 UUp	116 Lv	117 Uus	118 Uuo			
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

- Unsur-unsur yang terbentuk saat terjadi Big Bang
- Unsur-unsur yang terbentuk dengan sintesis nukleon di dalam inti bintang
- Unsur-unsur yang terbentuk oleh supernova



Hukum tentang Struktur Bintang

- Di dalam bintang, semakin dalam letaknya, tekanannya meningkat karena berat dari lapisan di atasnya.
- Berdasarkan hukum tentang gas, temperatur dan massa jenis meningkat sejalan dengan peningkatan tekanan.
- Aliran energi terjadi dari bagian dalam yang lebih panas menuju bagian luar yang lebih dingin melalui peristiwa radiasi, konveksi atau konduksi.
- Ketika energinya mengalir keluar dari bintang, maka bintang akan mendingin – kecuali jika sejumlah energi tercipta di dalam bintang.
- *Keberadaan bintang-bintang diatur oleh hukum-hukum fisika sederhana dan universal*



Contoh: Mengapa Matahari tidak mengalami kehancuran atau penyusutan?



- Tiuplah sebuah balon seperti ditunjukkan pada gambar di samping
- Tekanan atmosfer akan “mendorong” balon ke arah dalam. Tetapi balon tidak mengempis karena adanya tekanan gas yang “mendorong” balon ke arah luar.
- Di dalam Matahari, gaya gravitasi yang mendorong material ke dalam akan diimbangi oleh tekanan karena radiasi.

Sumber energi dari Matahari dan bintang

- Apakah merupakan pembakaran kimiawi dari gas, minyak, atau karbon?

Proses ini sangat tidak efisien sehingga hanya akan menyediakan energi untuk beberapa ribu tahun bagi Matahari

- Kontraksi gravitasi yang lambat?

Proses ini hanya akan menyediakan energi untuk beberapa juta tahun, padahal umur matahari milyaran tahun

- Gejala radioaktivitas (fisi nuklir)?

Sebagian besar isotop radioaktif tidak tersedia di dalam Matahari dan bintang

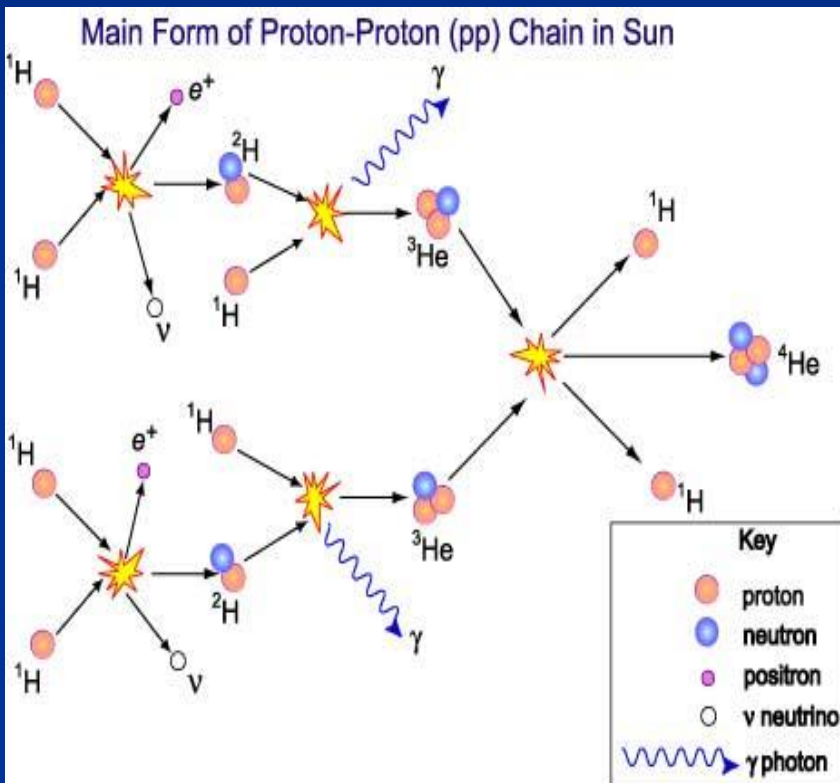
- Fusi Nuklir dari unsur-unsur ringan menjadi unsur yang lebih berat?

Ya! Proses ini sangat efisien dan unsur-unsur ringan seperti hidrogen dan helium merupakan 98% penyusun Matahari dan bintang



Rantai Proton-Proton

adalah proses fusi utama di dalam Matahari



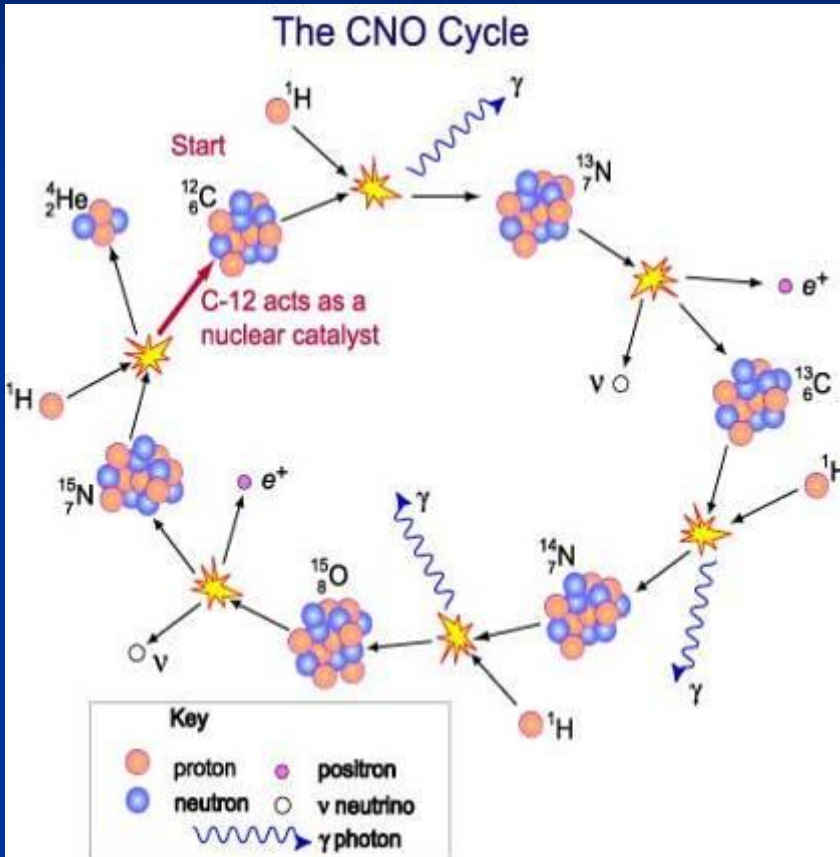
- Pada temperatur dan densitas tinggi, di dalam bintang seperti Matahari kita, protons (warna merah) mengatasi tolakan elektrostatis antar proton tersebut, dan membentuk ^2H (deuterium) dan neutrino (ν)
- Kemudian, proton lainnya berikatan dengan deuterium untuk membentuk ^3He
- Kemudian, inti ^3He menambahkan proton lainnya untuk membentuk helium
- Hasil: 4 proton secara bersamaan membentuk helium dan sejumlah energi (sinar gamma dan energi kinetik)

Siklus Proton-proton

Sumber: Australia National Telescope Facility



Siklus karbon – nitrogen - oksigen



- Dalam bintang masif, yang mempunyai inti sangat panas, proton-proton (merah) dapat bertumbukan dengan sebuah inti atom karbon ^{12}C (kiri atas)
- Kejadian ini mengawali suatu siklus reaksi yang pada akhirnya empat buah proton akan bergabung untuk membentuk inti atom helium (kiri atas)
- Inti atom ^{12}C akan terbentuk kembali pada akhir siklus, sehingga unsur ini tidak tercipta dan tidak musnah; unsur ini berfungsi sebagai katalis reaksi nuklir

Siklus C-N-O

Sumber: Australia National Telescope Facility



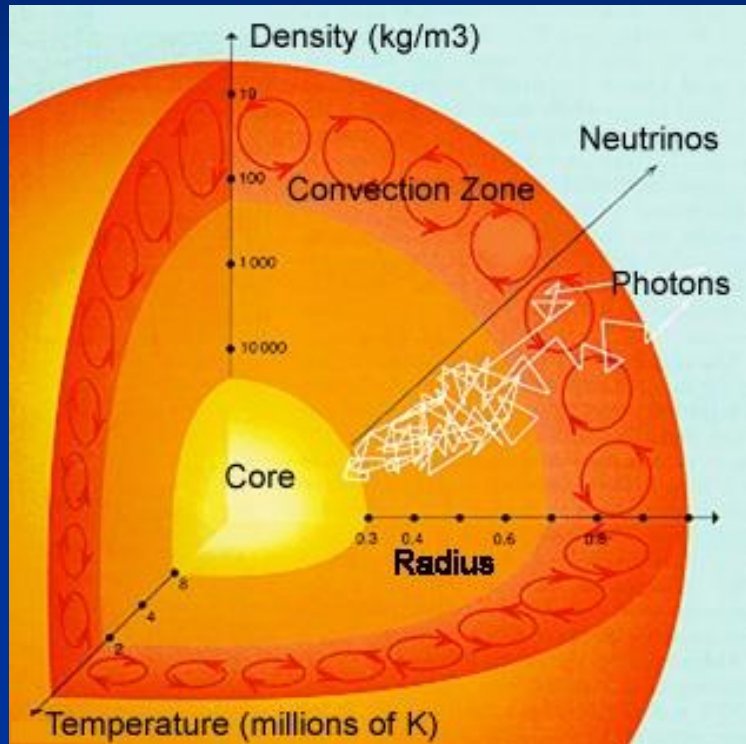
Membuat “model” bintang



- Hukum yang menggambarkan struktur bintang yang dinyatakan dalam sistem persamaan, dan dapat diselesaikan dengan komputer
- Komputer melakukan penghitungan suhu, densitas, tekanan, dan daya dari tiap titik dalam Matahari atau bintang. Hal ini disebut pemodelan
- Di dalam pusat Matahari, densitasnya 150 kali lebih besar daripada air, dan temperaturnya sebesar $\sim 15.000.000$ K!

Bagian dalam Matahari

Didasarkan pada "model" Matahari yang dibuat dengan komputer

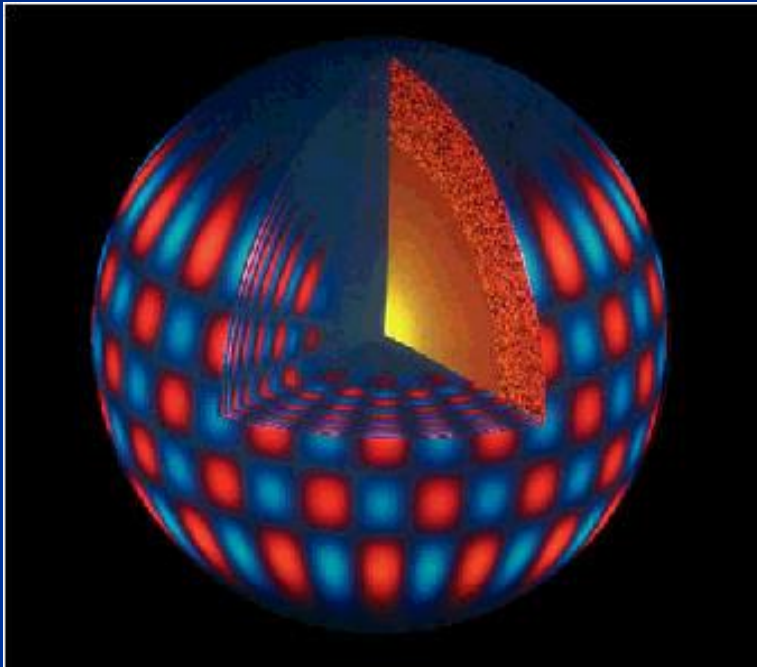


Model Matahari

Sumber: Institute of Theoretical Physics,
University of Oslo

- Di dalam inti yang panas, reaksi inti menghasilkan energi dari adanya fusi hidrogen menjadi helium
- Dalam zona radiasi, di atas inti, terjadi aliran energi ke arah luar melalui mekanisme radiasi
- Dalam zona konveksi, antara daerah radiasi dan daerah permukaan, terjadi aliran energi ke arah luar karena konveksi
- Bagian fotosfer, pada permukaan, adalah lapisan dimana bintang menjadi transparan

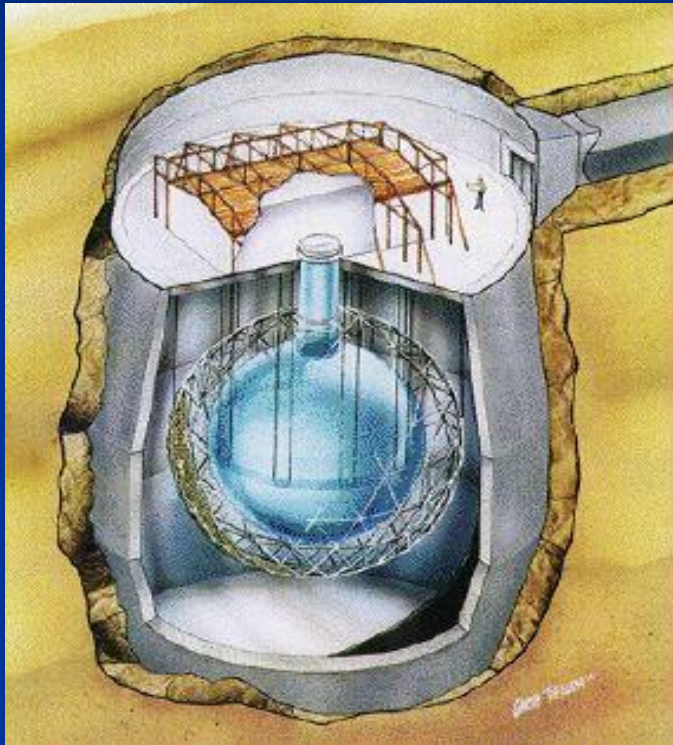
Pengujian model seismologi matahari (*helioseismological* model)



Gambaran artistik dari getaran matahari.
Sumber: Observatorium US National Optical
Astronomy

- Matahari bergetar dengan lembut dalam ribuan in thousands of cara (pola). Salah satunya seperti ditunjukkan pada gambar di sebelah kiri
- Getaran-getaran ini dapat diamati dan dapat kita gunakan untuk menyimpulkan struktur bagian dalam Matahari, karena itu dapat menguji struktur bagian dalam Matahari saat ini. Proses ini dikenal sebagai helio-seismologi
- Vibrasi serupa dapat juga diamati pada bintang: astro-seismologi

Pengujian model solar neutrino



Observatorium neutrino, Sudbury
Sumber: Sudbury Neutrino Observatory

- Reaksi fusi nuklir menghasilkan partikel elementer yang disebut neutrino.
- Partikel tersebut mempunyai massa sangat kecil, dan sangat jarang berinteraksi dengan materi.
- Massa partikel tersebut dapat diamati dan diukur atas jasa observatorium khusus, seperti Sudbury Neutrino Observatory (kiri). Hasil yang didapat konsisten dengan prediksi yang didapatkan pada model.

Durasi kehidupan bintang



- Durasi kehidupan dari suatu bintang bergantung pada seberapa banyak bahan bakar nuklir (hidrogen) dimiliki oleh bintang, dan seberapa cepat bintang tersebut mengkonsumsinya (bergantung pada daya)
- Pada umumnya bintang-bintang mempunyai massa lebih kecil dari Matahari. Bahan bakar mereka lebih sedikit, tapi dengan dayanya yang jauh lebih lemah dari Matahari menyebabkan mereka mempunyai waktu hidup yang lebih lama.
- Bintang-bintang yang lebih masif daripada Matahari jumlahnya lebih sedikit. Mereka mempunyai lebih banyak bahan bakar, tetapi dengan dayanya yang lebih besar, menyebabkan waktu hidupnya lebih pendek.

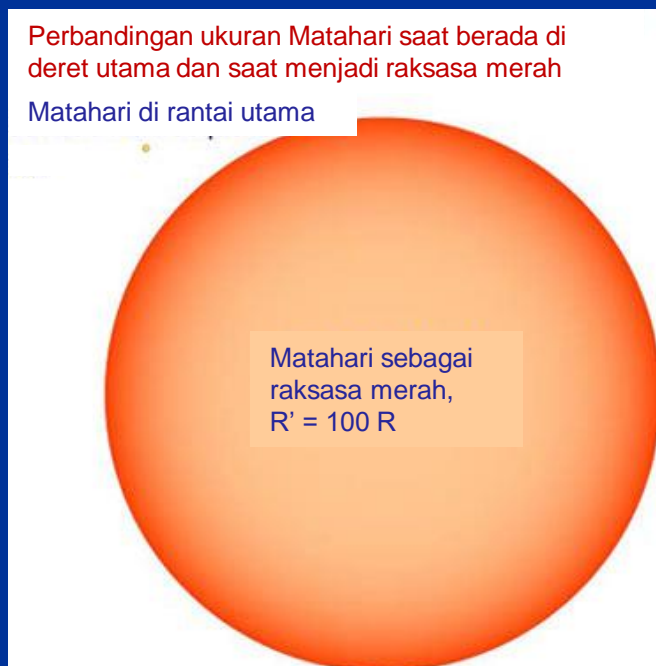
Bagaimana para astronom mempelajari evolusi bintang?

- Mengamati bintang pada bermacam-macam tahapan kehidupannya, dan meletakkannya dalam suatu urutan evolusi yang logis.
- Membuat model dengan bantuan komputer, menggunakan hukum-hukum fisika, dan menghitung perubahan komposisi suatu bintang yang terjadi karena reaksi fusi.
- Meneliti kluster-kluster bintang dan/atau kelompok bintang berbeda massa, tetapi mempunyai umur yang sama.
- Meneliti suatu fase yang berubah cepat dan aneh pada kehidupan bintang (contoh: supernova dan nova).
- Melalui suatu penelitian tentang bintang-bintang yang mempunyai denyutan variabel, mengukur perubahan yang lambat pada suatu periode denyutan yang disebabkan oleh evolusi bintang tersebut.



Evolusi bintang yang serupa Matahari

- Bintang serupa Matahari tidak mengalami banyak perubahan pada ~90% dari awal masa hidupnya, selama bahan bakarnya yaitu hidrogen masih tersedia untuk berlangsungnya reaksi termonuklir. Kita menyebutnya sebagai bintang di deret utama.



- Ketika bahan bakar hidrogennya habis, Matahari ini akan berubah menjadi bintang raksasa merah.
- Dalam intinya, temperaturnya mengalami kenaikan yang cukup untuk menghasilkan energi melalui reaksi fusi helium membentuk karbon.
- Ketika bahan bakar heliumnya habis, bintang mengembang lagi menjadi raksasa merah yang lebih besar, ratusan kali lebih besar dari Matahari

Perbandingan ukuran: Matahari-raksasa merah

Sumber: Australia National Telescope Facility



Kematian bintang serupa Matahari

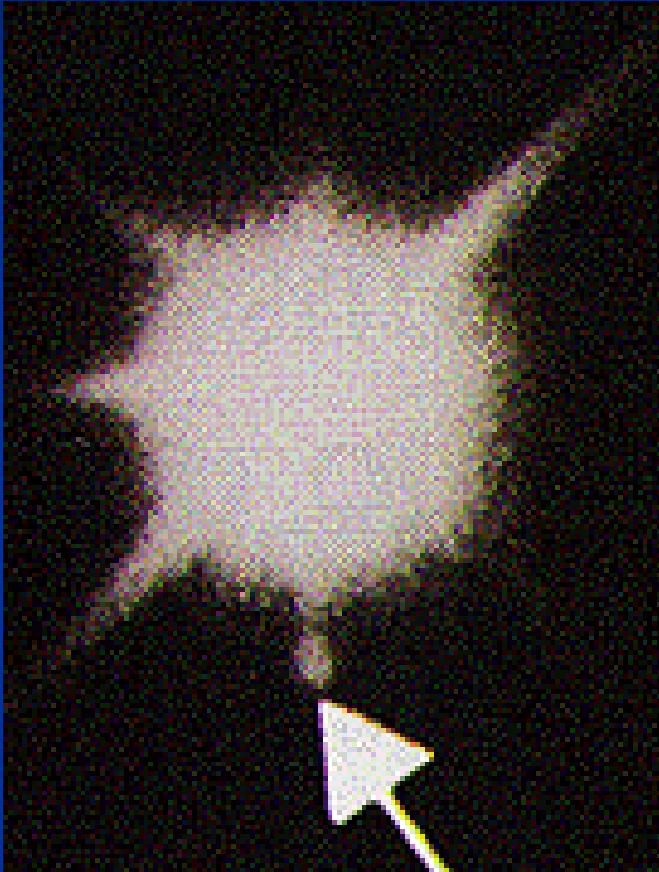


Nebula planetari Helix.
Sumber: NASA

- Ketika suatu bintang berubah menjadi raksasa merah, mulailah terjadi denyutan (vibrasi). Kita menyebutnya bintang Mira.
- Denyutan yang terjadi mengakibatkan pemisahan lapisan luar bintang, menghasilkan nebula planetari yang indah (gambar kiri)
- Inti bintang tersebut adalah suatu katai, padat, putih, kecil dan tanpa bahan bakar

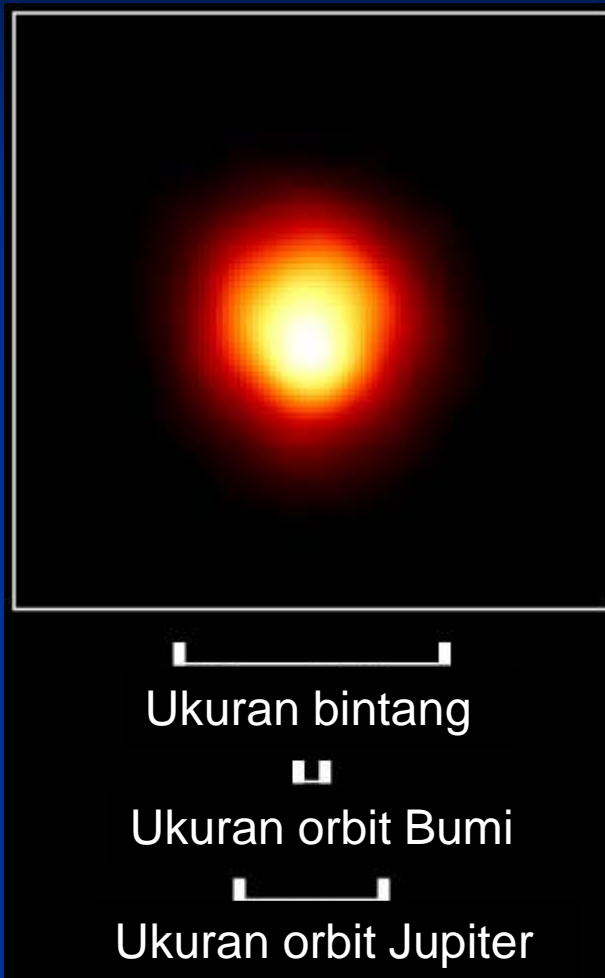
Katai putih

- Suatu katai putih adalah suatu inti dari bintang mati serupa Matahari
- Suatu katai putih mempunyai massa sebesar Matahari, volume sebesar Bumi, dan densitas ribuan kali lebih besar daripada densitas air.
- Dalam katai putih, gaya gravitasi sentripetal diseimbangkan oleh tekanan kuantum eksternal dari elektron-elektron di dalam bintang tersebut.
- Banyak bintang terdekat, termasuk Sirius (kiri) dan Procyon, mempunyai penyerta suatu katai putih.



Suatu katai putih (bawah)
yang menyertai bintang Sirius(atas).
Sumber: NASA

Evolusi suatu bintang masif



- Keberadaan bintang masif sangat langka. Bintang ini berdaya besar dan mengkonsumsi bahan bakarnya sangat cepat – dalam beberapa juta tahun.
- Ketika mereka kehabisan bahan bakarnya, mereka berubah menjadi bintang super raksasa merah.
- Intinya akan menjadi sangat panas, sehingga mampu menghasilkan unsur-unsur berat seperti besi.
- Betelgeuse (kiri), dalam rasi Orion, adalah super raksasa merah yang sangat terang. Ukurannya jauh lebih besar daripada orbit Bumi

Betelgeuse.

Sumber: NASA/ESA/HST



Kematian dari bintang masif

- Ketika sebagian besar inti dari bintang masif sudah menjadi besi, tidak ada lagi bahan bakar nuklir yang memungkinkan terjadinya fusi dan tingkat panasnya tidak akan bertahan.
- Kekuatan gravitasi akan menghancurkan inti dalam suatu bintang neutron, melepaskan sejumlah besar energi gravitasi, dan akan memicu terjadinya ledakan supernova (kiri)
- Supernova menghasilkan unsur yang lebih berat daripada besi, dan melontarkan unsur hasil dan unsur-unsur lainnya ke ruang angkasa, yang akan menjadi bagian dari bintang baru, planet-planet dan kehidupan.



Nebula Crab, fosil dari ledakan supernova yang teramati pada 1054 AD. Sumber: NASA

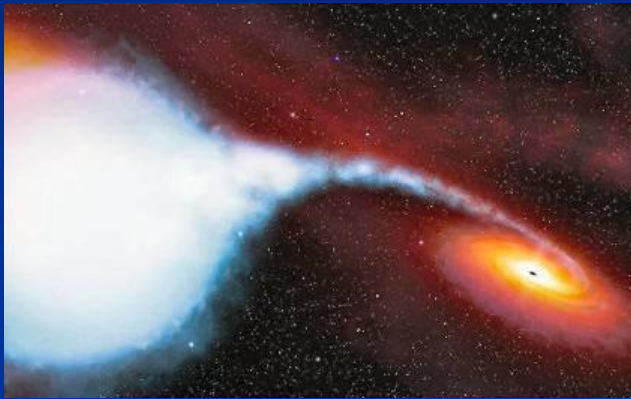
Bintang Neutron

- Suatu inti bintang dengan massa antara 1,5 hingga 3 kali massa Matahari akan mengakhiri kehidupannya sebagai bintang neutron.
- Bintang ini mempunyai diameter sekitar 10 km dan densitasnya trilyunan kali lebih besar daripada air.
- Bintang ini terbentuk dari neutron-neutron dan partikel eksotik.
- Bintang neutron muda berputar sangat cepat dan memancarkan pulsa reguler berupa gelombang radio, dan dikenal sebagai pulsar.



Pulsar, bintang neutron pada pusat Nebula Crab Nebula.
Suatu energi rotasional yang memancarkan Nebula yang bertenaga.
Sumber: NASA/ESA/HST

Lubang hitam



Gambaran artistik dari Cygnus X-1, Suatu bintang tampak (kiri) dengan sebuah lubang hitam (kanan) pada bagian pusat suatu lempeng yang
Sumber: NASA.

- Lubang hitam adalah suatu objek astronomis yang medan gravitasinya sangat kuat, sehingga tidak ada materi yang dapat lolos dari tarikannya, bahkan cahaya pun tak dapat lolos.
- Inti dari suatu bintang masif yang sangat besar (lebih dari 30 kali massa Matahari akan berubah menjadi lubang hitam ketika bahan bakarnya habis.
- Salah satu cara mendeteksi lubang hitam: tampak ketika suatu bintang tampak sedang mengorbit di sekitarnya (kiri).

Bintang variabel cataclysmic

- Banyak sisa-sisa bintang – katai putih, lubang hitam atau bintang neutron – mempunyai suatu bintang tampak normal yang mengorbit di sekitarnya.
- Jika gas yang berasal dari bintang normal tertarik ke sisa bintang, suatu lempengan yang mengembang (*accretion disk*) dapat terbentuk di sekitarnya (kiri).
- Ketika gas tertarik pada sisa bintang, gas tersebut bisa terbakar, meletus, atau meledak, yang kita sebut sebagai bintang variabel *cataclysmic*.



Sebuah bintang dengan variabel *cataclysmic* normal (kiri) dan sebuah bintang katai putih pada suatu lempengan yang mengembang (*accretion disk*) (kanan).

Sumber: NASA

Kelahiran bintang

- Bintang-bintang terbentuk di dalam awan molekular (nebula), yang terbuat dari gas dingin dan debu.
- Kelimpahan debu antar bintang dan gas sebanyak 10% dari materi pada galaksi kita.
- Suatu bintang muda pada umumnya dapat ditemukan di dalam atau dekat nebula dimana bintang tersebut berasal.
- Contoh terdekat dan paling jelas dari daerah terbentuknya bintang adalah nebula Orion (kiri), yang terletak sekitar 1500 tahun cahaya dari kita.



Nebula Orion
Sumber: NASA



Gas antar bintang

Suatu gas diantara bintang-bintang



- Gas antar bintang (atom-atom atau molekul-molekul) dapat diaktifkan oleh sinar ultraviolet yang berasal dari bintang di dekatnya, dan membentuk (*emission nebula*) atau nebula pancaran (kiri).
- Gas dingin antar bintang-bintang, menghasilkan gelombang radio sehingga dapat terdeteksi oleh teleskop radio.
- 98% materi dalam gas antar bintang adalah hidrogen and helium.

Nebula Orion. Gas di dalamnya mendapat energi dari sinar ultraviolet yang berasal dari bintang-bintang alam nebula tersebut.

Sumber: NASA



Debu antar bintang

Debu diantara bintang-bintang



M16

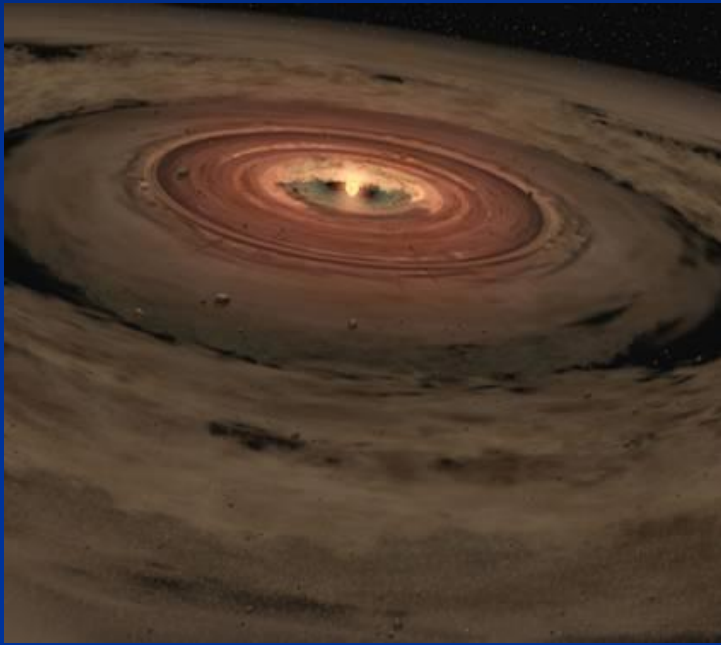
Sumber: NASA/ESA/HST

- Debu antar bintang yang letaknya dengan dengan bintang-bintang yang terang dapat diamati pada bagian visibel dari suatu spektrum
- Debu dapat menghalangi cahaya yang berasal dari bintang-bintang dan gas di belakangnya (kiri). Bintang-bintang terbentuk dari awan debu ini.
- Hanya 1% dari material antar bintang yang merupakan debu. Ukuran partikel debu adalah beberapa ratus nanometer, komponen utamanya adalah silikat atau grafit.



Pembentukan bintang

- Bintang-bintang terbentuk di bagian dalam suatu nebula yang disebut *nuclei* (inti), yang padat atau terkompresi.
- Adanya efek gravitasi yang menyebabkan tarikan pada *nuclei*.
- Prinsip kekekalan momentum sudut meningkatkan kecepatan rotasi *nuclei*, yang membuatnya menjadi pipih dan akhirnya berubah menjadi lempengan.
- Bintang-bintang akan terbentuk pada pusat lempengan. Planet-planet akan terbentuk pada bagian luar dari lempeng yang suhunya lebih rendah.



Gambaran artistik dari proses pembentukan sistem planet.
Sumber: NASA

Lempengan protoplanet: *Proplyds*

Suatu proses pembentukan sistem planet

- Lempeng protoplanet telah teramati di nebula Orion (kiri)
- Bintang hampir tidak dapat terlihat di pusat lempengan.
- Lempengan debu menghalangi cahaya yang ada di belakangnya
- Hasil pengamatan ini dan juga pengamatan lainnya menjadi bukti langsung dari pembentukan sistem planet.



Proplyds

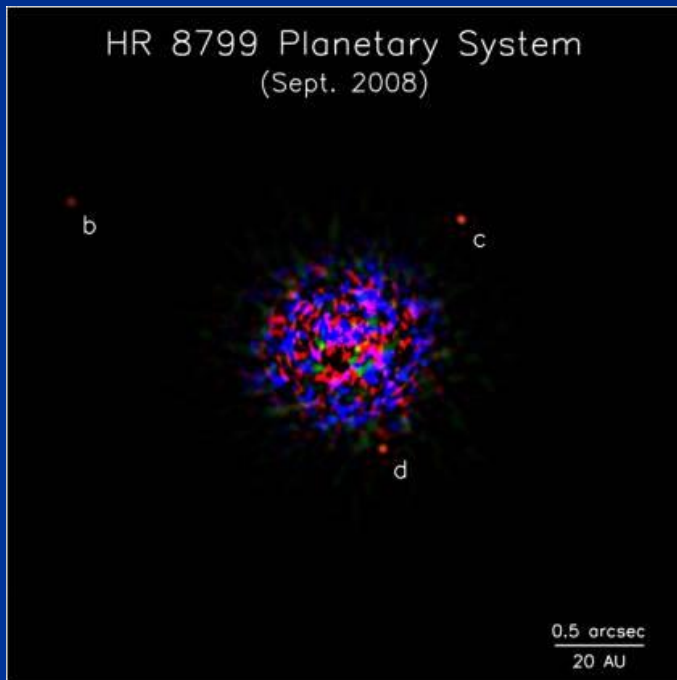
Sumber: NASA/ESA/HST



Eksoplanet = sistem planet di luar Tatasurya

Sistem planet disekitar bintang lain

- Eksoplanet biasanya ditemukan dan diteliti melalui efek gravitasi yang ditimbulkannya pada bintang, atau melalui peredupan cahaya bintang ketika terjadi transit.
- Sangat sedikit planet yang dapat diamati langsung (kiri).
- Tidak seperti planet-planet dalam sistem Tatasurya, banyak eksoplanet sangat besar dan sangat dekat terhadap bintangnya. Hal ini memungkinkan para astronom untuk mengubah/mengoreksi teori mereka tentang terbentuknya sistem planet.



Sistem eksoplanet HR 8799

Sumber: C. Marois, dkk, NRC Canada



Pemikiran Akhir

- “Adanya gravitasi mengatur pembentukan, masa hidup dan kematian bintang” [Professor R.L. Bishop]
- Kelahiran suatu bintang dapat menjelaskan asal usul sistem Tatasurya kita dan sistem planet yang lain.
- Kehidupan suatu bintang menjelaskan tentang sumber energi yang memungkinkan terjadinya kehidupan di Bumi.
- Kehidupan dan kematian bintang menghasilkan unsur kimia yang lebih berat daripada hidrogen, dimana bintang, planet dan kehidupan berasal.
- Selama proses kematian bintang, pengaruh efek gravitasi akan menghasilkan objek-objek asing di alam semesta: katai putih, bintang neutron, dan lubang hitam.



**Terima kasih
atas perhatian Anda!**

