BESARAN & HUKUM MENDASAR DALAM ASTRONOMI

- Hukum Kepler
- Hukum Gravitasi
- Hubungan Hukum Kepler & Gravitasi
- Besaran-besaran Astronomi

Kompetensi Dasar:

Memahami konsep besaran dan hukum mendasar dalam astronomi berdasarkan teori fisika

Matahari adalah bintang terdekat dengan kita, karena itu besaran fisis matahari seperti jarak, radius dan massanya dapat ditentukan jauh lebih teliti daripada bintang lain

- **Dalam astrofisika sering besaran matahari digunakan sebagai satuan, contohnya massa bintang sering dinyatakan dalam massa matahari, luminositas bintang dinyatakan dalam luminositas matahari, radius bintang dinyatakan dalam radius matahari dan lainnya. Untuk matahari digunakan lambang ⊙**

$L_{\odot}$ **= Luminositas Matahari**

$R_{\odot}$ **= Radius Matahari**

$M_{\odot}$ **= Massa Matahari**

BESARAN MATAHARI

❖ Penentuan Jarak Matahari

Ada banyak cara untuk menentukan jarak Bumi-Matahari. Salah satu teknik yang paling modern yang cukup teliti adalah dengan menggunakan radar

Pengamatan dengan radar ini pertama kali dilakukan oleh *Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology* pada tahun 1958 dengan mengirim gelombang radar berfrekuensi 440 Megahertz ke planet Venus

Untuk penentuan ini diandaikan orbit Bumi dan Venus berbentuk lingkaran

Dari pengamatan diketahui bahwa periode orbit Bumi adalah,

$$P_B = 365{,}25 \text{ hari}$$

Periode orbit Venus adalah,

$$P_V = 224{,}7 \text{ hari}$$

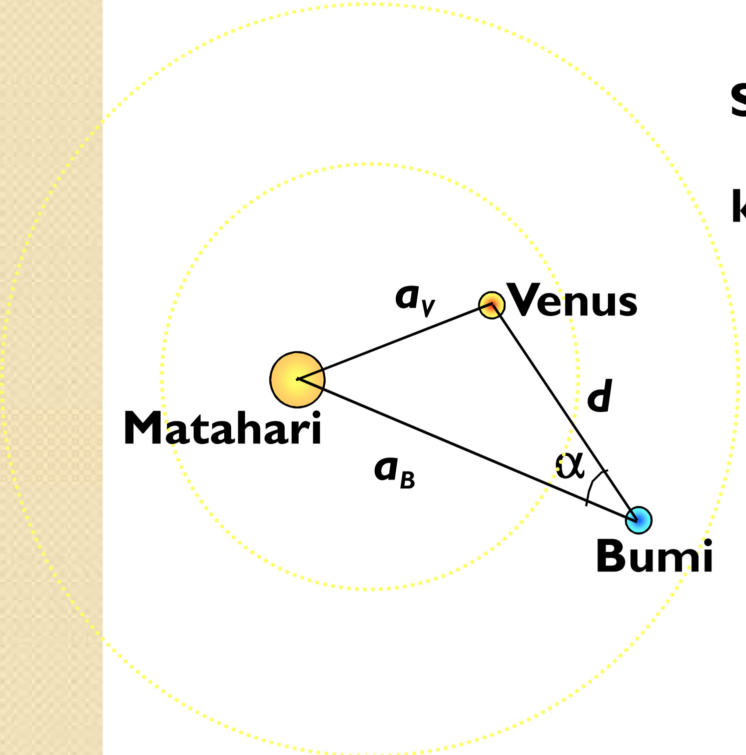
Dari hukum Kepler ke-3 ($a^3 \propto P^2$)

$$a_V/a_B = (P_V/P_B)^{2/3}$$

Dari data di atas :

$$a_V/a_B = (224{,}7/365{,}25)^{2/3} = 0{,}72$$

atau, $a_V = 0{,}72\, a_B$ .... **(3-1)**



$$a_V^2 = a_B^2 + d^2 - 2a_B\, d \cos\alpha \qquad ..(3\text{-}2)$$

Subtitusikan pers. (3-1) : $a_V = 0{,}72\, a_B$

ke pers. (3-2), diperoleh,

$$0{,}4816\, a_b^2 + d^2 - 2a_B\, d \cos\alpha = 0 \qquad ..(3\text{-}3)$$

ditentukan dengan radar

dapat diamati, harga α bergantung pada posisi Bumi-Venus

$t = 2d\ c$ → **kec. Cahaya**

waktu yang ditempuh oleh gelombang radar Bumi-Venus-Bumi

diambil pada saat jarak terdekat Bumi-Venus

Dengan memasukan harga *d* dan α hasil pengamatan diperoleh,

$$a_B = 1{,}496 \times 10^{13}\ \mathrm{cm} = 1\ \mathrm{AU} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (3\text{-}4)$$

AU = Astronomical Unit (Satuan Astronomi)

- Orbit Bumi dan orbit Venus mengedari Matahari tidak berupa lingkaran sempurna, tapi berupa elips dengan eksentrisitasnya sangat kecil, Jadi orbit Bumi dan orbit Venus praktis dapat dianggap berupa lingkaran.

- Selain itu juga bidang orbit Venus tidak sebidang dengan bidang orbit Bumi, tetapi membentuk sudut 3° 23'. Kemiringan bidang orbit ini cukup kecil.

$$1\ \mathrm{AU} = 1{,}496 \times 10^{13}\ \mathrm{cm}$$

Penentuan Massa Matahari

Gunakan hukum Kepler ke-3 untuk sistem Bumi – Matahari. Utk $M_\oplus \ll M_\odot$, maka pers. (1-34) menjadi

Pers . (1-33) : $\dfrac{a^3}{P^2} = \dfrac{G\,(M_\oplus + M_\odot)}{4\pi^2}$

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G\,M_\odot}{4\pi^2} \Longrightarrow M_\odot = \frac{4\pi^2}{G}\,\frac{a^3}{P^2}$$

a = 1 AU = 1,496 x 10^{13} cm (Jarak Matahari-Bumi)

P = 365,25 hari = 3,156 x 10^7 detik (Periode Bumi mengelilingi Matahari)

G = 6,668 x 10^{-8} dyne cm^2/g^2

Jadi :

$$M_\odot = \frac{4\pi^2}{6{,}668 \times 10^{-8}}\;\frac{(1{,}495 \times 10^{13})^3}{(3{,}156 \times 10^7)^2} = 1{,}989 \times 10^{33}\ \text{gr}$$

Penentuan Luminositas Matahari

Energi Matahari yang diterima bumi setiap detik pada permukaan seluas 1 cm^2 yaitu fluks Matahari yang diterima di Bumi besarnya adalah,

$$E_\odot = 1{,}37 \times 10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (\textit{Konstanta Matahari})$$

- Diukur di luar atmosfer bumi. Jika diukur dipermukaan Bumi, harus dikoreksi terhadap penyerapan oleh atmosfer Bumi.

Luminosita Matahari : $L_\odot = 4 \pi d^2 E_\odot$

d → Jarak Bumi-Matahari

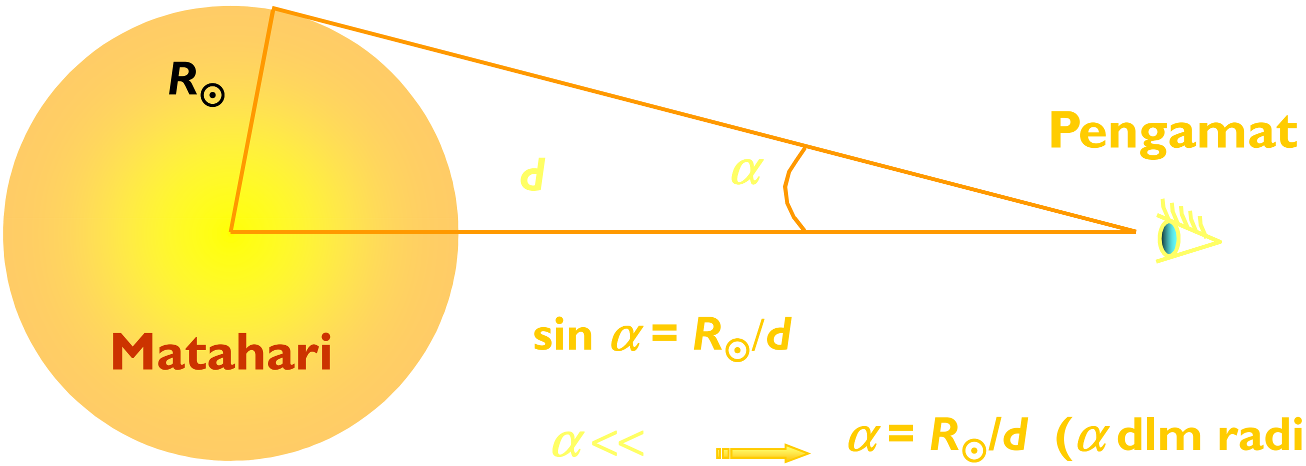
$$L_\odot = 4 \pi (1{,}496 \times 10^{13})^2 (1{,}37 \times 10^6)$$

$$= 3{,}86 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}5)$$

Karena 1 watt = 10^7 erg s^{-1} ⟹ $L_\odot = 3{,}9 \times 10^{23}$ kilowatt

❖ Penentuan Radius Matahari

Radius Matahari dapat ditentukan dengan mengukur besar sudut bundaran Matahari yang dilihat di Bumi.



$\sin \alpha = R_\odot / d$

$\alpha \ll \quad \Longrightarrow \quad \alpha = R_\odot / d$ (α dlm radian)

Dari pengukuran didapatkan $\alpha = 960'' = 4{,}654 \times 10^{-3}$ radian

Jadi : $R_\odot = (4{,}654 \times 10^{-3})(1{,}496 \times 10^{13})$

$= 6{,}96 \times 10^{10}$ cm .... (3-6)

Penentuan Temperatur Efektif Matahari

Luminosita Matahari : $L_\odot = 4\pi\sigma R_\odot^2 T_{ef\odot}^4$

atau : $$T_{ef\odot} = \left[\frac{L_\odot}{4\pi\sigma R_\odot^2}\right]^{1/4}$$

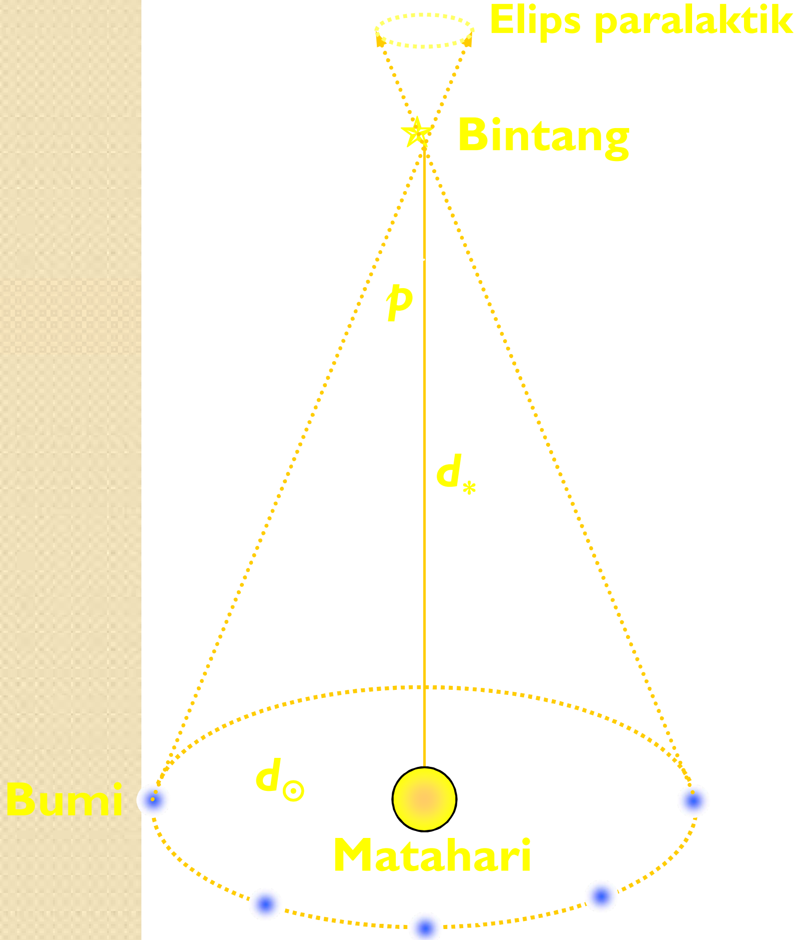
Karena

$L_\odot = 3{,}86 \times 10^{33}$ erg s^{-1} dan $R_\odot = 6{,}96 \times 10^{10}$ cm

maka $$T_{ef\odot} = \left[\frac{3{,}86 \times 10^{33}}{4\pi(5{,}67 \times 10^{-5})(6{,}96 \times 10^{10})^2}\right]^{1/4}$$

$$\approx 5785 \text{ K} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}7)$$

❖ Jarak Bintang



Jarak bintang-bintang yang dekat dapat ditentukan dengan cara paralaks trigonometri

$d_\odot$ = Jarak Matahari-Bumi

= $1{,}50 \times 10^{13}$ cm = 1 AU

(AU = Astronomical unit)

d_* = Jarak Matahari - Bintang

p = Paralaks Bintang

$$\tan p = d_\odot / d_* \quad \text{........ (3-8)}$$

Karena p sangat kecil, maka persamaan (3-8) dapat dituliskan,

$$p = d_{\odot} / d_{*} \quad \text{.........................} \quad (3\text{-}9)$$

p dalam radian

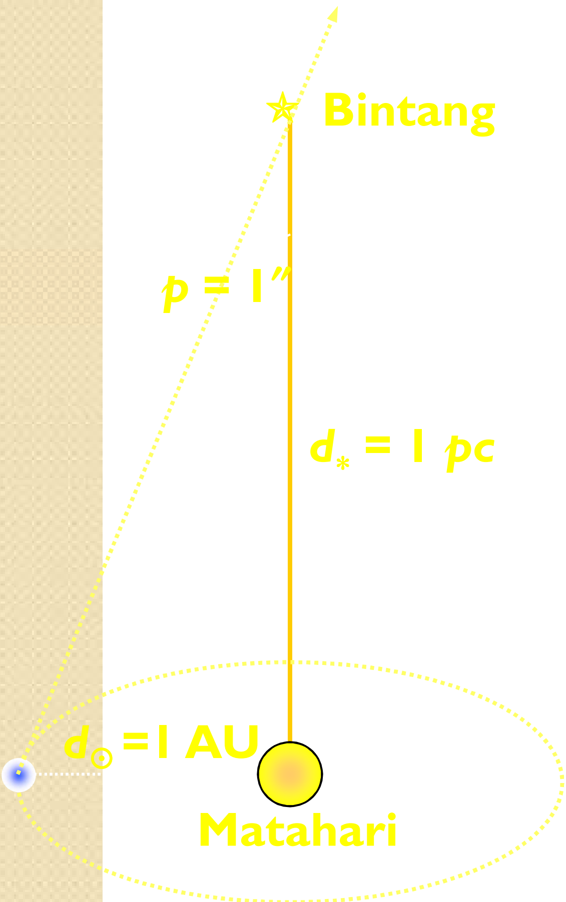
Apabila p dinyatakan dalam detik busur dan karena 1 radian = 206 265″ , maka

$$p = 206\ 265\ d_{\odot}/d_{*} \quad \text{..................} \quad (3\text{-}10)$$

Jika jarak dinyatakan dalan AU, maka $d_{\odot}$ = 1 AU sehingga pers. (3-10) menjadi,

$$p = 206\ 265/d_{*} \quad \text{.......................} \quad (3\text{-}11)$$

Selain AU, dalam astronomi digunakan juga satuan jarak lainnya yaitu satuan *parsec* disingkat *pc*.



- Satu parsec (*parallax second*) didefi-nisikan sebagai jarak sebuah bin-tang yang paralaksnya satu detik busur.

- Dengan demikian, jika p = 1″ dan d_* = 1 *pc*, maka dari persamaan (3-11) yaitu p = 206 265/d_* diperoleh,

$$1\ pc = 206\ 265\ \text{AU}$$

$$= 3{,}086 \times 10^{18}\ \text{cm} \qquad \ldots\ldots (3\text{-}12)$$

Satuan lain yang sering digunakan dalam astronomi untuk menyatakan jarak adalah tahun cahaya (ly = *light year*)

- Kecepatan cahaya per detik adalah $2,997925 \times 10^{10}$ cm/s
- 1 tahun = 365,25 hari = 365,25 x 24 jam x 60 menit x 60 detik = $3,16 \times 10^{7}$ detik

Jadi 1 ly = $(3,16 \times 10^{7})(2,997925 \times 10^{10})$

$$= 9,46 \times 10^{17} \text{ cm} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}13)$$

Dari persamaan (3-12) dan (3-13) diperoleh,

Pers. (3-12) : 1 *pc* = $3,086 \times 10^{18}$ cm

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ ly} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}14)$$

Apabila paralak dinyatakan dalam detik busur dan jarak dinyatakan dalam pc, dengan menggunakan pers. (3-12) maka pers (3-11) menjadi,

Pers. (3-12) : $1\ pc = 206\ 265\ AU$

Pers . (3-11) : $p = 206\ 265/d_*$

$$p = 1/d_* \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}15)$$

- http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/astro101/java/parallax/parallax.html

Matahari

- http://www.astronomynotes.com/starprop/trig-anim.gif

❖ Radius Bintang

Garis tengah sudut bintang tidak bisa ditentukan secara langsung dengan mengukur sudut bentangnya seperti halnya Matahari. Karena sudut bentang bintang terlalu kecil

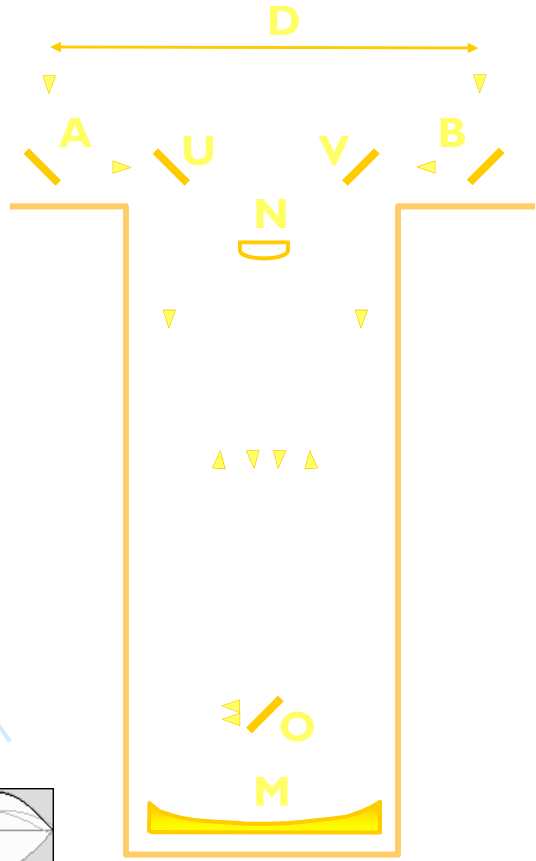
Untuk menentukan garis tengah bintang dapat digunakan beberapa cara diantaranya adalah dengan

1. Interferometry (single stars)
2. Lunar Occultation (single stars)
3. Eclipsing binaries (need distance)

Cara langsung

Prinsip interferometer Michelson

- Interferometer bintang pertama kali digunakan oleh Michelson pada tahun 1920. Prinsip kerjanya adalah sebagai beriku:

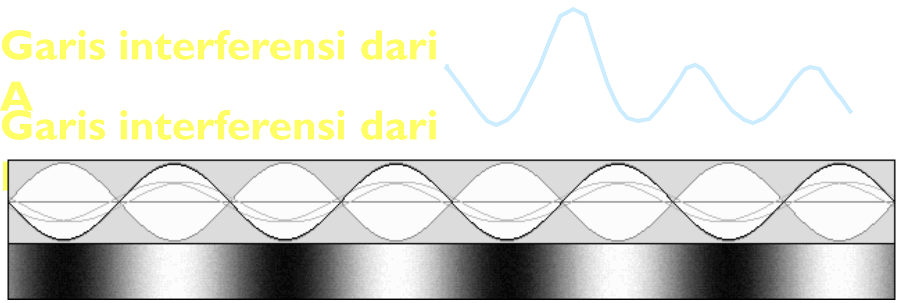


$$D = \frac{\lambda}{2\delta}, \frac{\lambda}{2\delta}, \frac{\lambda}{2\delta}, \ldots$$

δ = garis tengah sudut bintang

Garis interferensi dari A

Garis interferensi dari B



Dengan mengatur jarak cermin A dan B dan menentukan kapan pola gelap terang dari garis interferensi lenyap utk pertama kali, maka garis tengah sudut dapat ditentukan

$$\delta = \frac{\lambda}{2D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3-16)}$$

Jika δ' = garis tengah bintang, maka

$$\delta = 0{,}41\ \delta' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3-17)}$$

Sehingga

$$0{,}41\delta' = \frac{\lambda}{2D}$$

atau

$$\delta' = 1{,}22\ \frac{\lambda}{2D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3-18)}$$

- Interferometer Michelson seperti ini digunakan di Observatorium Mount Wilson yang bergaris tengah 2,54 m. Jarak maksimum antara cermin A dan B adalah 10 m. Dengan cara ini dapat diukur garis tengah sudut bintang sampai 0,”01.

- Selain interferometer Michelson, juga dikenal interferometer lainnya.

- Selain dengan interferometer, garis tengah bintang dapat juga ditentukan secara tidak langsung dari fluks pancaran dan temperatur efektifnya (akan dibicarakan dalam bab selanjutnya)

Soal-soal Latihan

1. The Earth receives about 1380 Watts/meter^2 of energy from the Sun. How much energy does Saturn receive from the Sun (Saturn-Sun distance = 9.5 A.U.)? (A Watt is a unit for the amount of energy generated or received every second.)

2. You receive 8×10^{-9} Watts/meter^2 of energy from a star 2 parsecs away with an apparent magnitude = 1.3. What is the energy you receive from a star with an apparent magnitude = 5.3?

3. If you measure the parallax of a star to be 0.1 arc second on Earth, how big would the parallax of the same star be for an observer on Mars (Mars-Sun distance = 1.5 A.U.)?

4. If you measure the parallax of a star to be 0.5 arc second on Earth and an observer in a space station in orbit around the Sun measures a parallax for the same star of 1 arc second, how far is the space station from the Sun?