

Fotometri Bintang

❖ Sistem Magnitudo

- Terang suatu bintang dalam astronomi dinyatakan dalam satuan *magnitudo*
- Hipparchus (abad ke-2 SM) membagi terang bintang dalam 6 kelompok,
 - ⇒ Bintang paling terang tergolong magnitudo ke-1
 - ⇒ Bintang yang lebih lemah tergolong magnitudo ke-2
 - ⇒ demikian seterusnya hingga yang paling lemah yang masih bisa dilihat dengan mata termasuk magnitudo ke-6

- **John Herschel mendapatkan bahwa kepekaan mata dalam menilai terang bintang bersifat logaritmik**
 - ⇒ **Bintang yang magnitudonya satu ternyata 100 kali lebih terang daripada bintang yang magnitudonya enam**
- **Berdasarkan kenyataan ini, Pogson pd th 1856 mendefinisikan skala satuan magnitudo**

Hubungan magnitudo dengan fluks

$$m = -2,5 \log E + \text{tetapan} \dots\dots\dots (i)$$

\swarrow *magnitudo semu* \searrow *fluks*
Rumus Pogson

Apabila bintang berada pada jarak 10 pc, maka magnitudo bintang disebut magnitudo mutlak (M), dan persamaan (i) menjadi,

$$M = -2,5 \log E' + \text{tetapan} \dots\dots\dots (ii)$$

\swarrow *magnitudo mutlak*

$$E = \frac{L}{4 \pi d^2} \quad \text{dan} \quad E' = \frac{L}{4 \pi 10^2} \dots\dots\dots (iii)$$

Kurangi pers (i) dengan pers (ii), maka diperoleh,

$$m - M = -2,5 \log E/E' \dots\dots\dots (iv)$$

Masukan harga E dan E' dalam pers (iii) ke pers (iv),
maka diperoleh,

$$m - M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4 \pi d^2} \frac{4 \pi 10^2}{L} \right)$$

$$m - M = -5 + 5 \log d \dots\dots\dots (v)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$
modulus jarak

\swarrow
 d dalam *pc*

Besaran-besaran fisik dan geometri bintang seperti luminositas, radius dan juga massa, biasanya dinyatakan dalam besaran matahari.

Contoh :

Bintang μ Gem : $R_* = 73,2 R_{\odot}$

$$L_* = 840,4 L_{\odot}$$

Besaran Matahari :

Massa : $M_{\odot} = 1,98 \times 10^{33}$ gr

Radius : $R_{\odot} = 6,96 \times 10^{10}$ cm

Luminositas : $L_{\odot} = 3,96 \times 10^{33}$ erg s⁻¹

Temperatur Efektif : $T_{ef \odot} = 5\,800$ °K

Magnitudo visual absolut $M_{v\odot} = 4,82$

Magnitudo bolometrik absolut $M_{bol\odot} = 4,75$

Contoh :

Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa permukaan seluas 1 cm^2 di luar atmosfer bumi menerima energi yang berasal dari matahari setiap detiknya sebesar $1,37 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$. Apabila diketahui jarak Bumi-Matahari adalah 150 juta kilometer, tentukanlah luminositas matahari.

Jawab :

$$E_{\odot} = 1,37 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2/\text{s} \longrightarrow \text{Konstanta Matahari}$$

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

$$\begin{aligned} E &= \frac{L}{4 \pi d^2} \implies L_{\odot} = 4 \pi d^2 E_{\odot} \\ &= 4 \pi (1,50 \times 10^{13})^2 (1,37 \times 10^6) \\ &= 3,87 \times 10^{33} \text{ erg/s} \end{aligned}$$

Contoh :

Luminositas sebuah bintang 100 kali lebih terang daripada matahari, tetapi temperaturnya hanya setengahnya dari temperatur matahari. Berapakah radius bintang tersebut dinyatakan dalam radius matahari ?

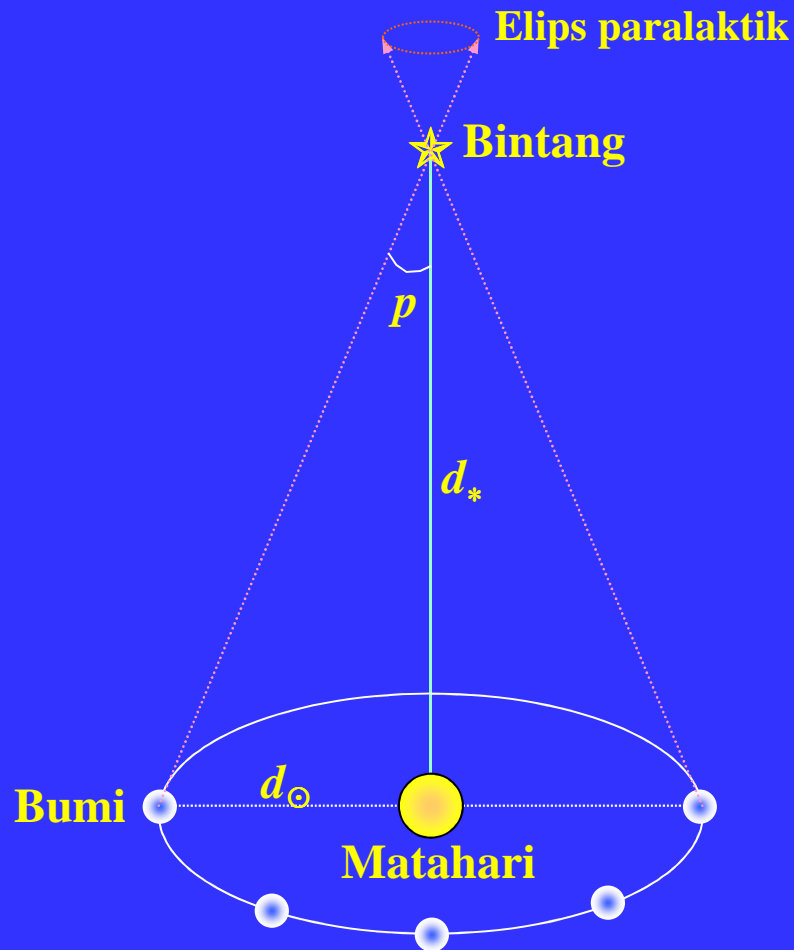
Jawab : Untuk bintang : $L_* = 4 \pi R_*^2 \sigma T_{ef*}^4$

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

$$L_* = 100 L_{\odot}, \quad T_{ef*} = 0,5 T_{ef\odot}$$

$$\begin{aligned} \frac{R_*}{R_{\odot}} &= \left[\frac{L_*}{L_{\odot}} \right]^{1/2} \left[\frac{T_{ef\odot}}{T_{ef*}} \right]^2 = \left[\frac{100 L_{\odot}}{L_{\odot}} \right]^{1/2} \left[\frac{T_{ef\odot}}{0,5 T_{ef\odot}} \right]^2 \\ &= (100)^{1/2} \left[\frac{1}{0,5} \right]^2 = (10)(4) = 40 \end{aligned}$$

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

$$\tan p = d_{\odot} / d_* \dots \dots \dots (i)$$

Karena p sangat kecil, maka pers (i) dapat dituliskan,

$$p = d_{\odot} / d_{*} \dots\dots\dots (ii)$$

p dalam radian

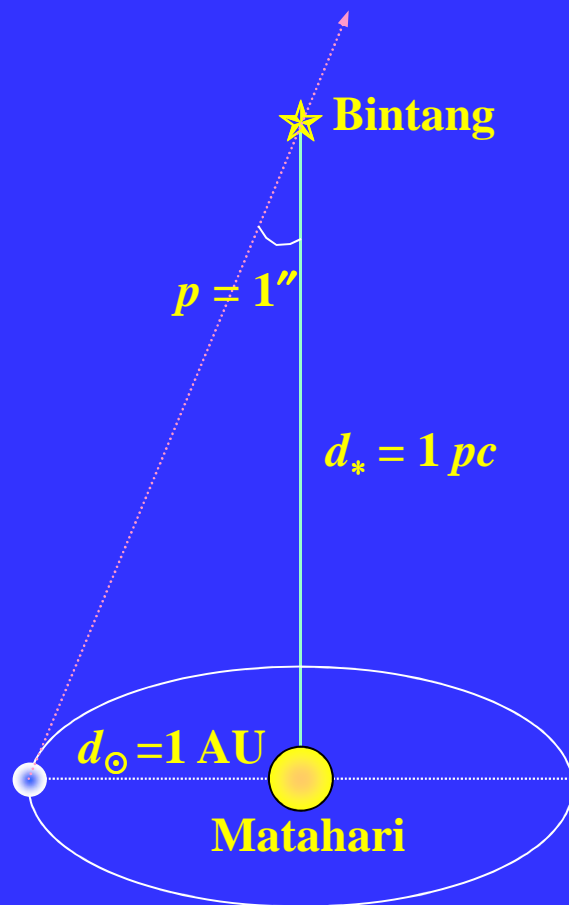
Apabila p dinyatakan dalam detik busur dan karena 1 radian = 206 265'' , maka

$$p = 206\,265\, d_{\odot} / d_{*} \dots\dots\dots (iii)$$

Jika jarak dinyatakan dalam AU, maka $d_{*} = 1$ AU sehingga pers. (iii) menjadi,

$$p = 206\,265 / d_{*} \dots\dots\dots (iv)$$

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



- Satu parsec (*parallax second*) didefinisikan sebagai jarak sebuah bintang yang paralaksnya satu detik busur.
- Dengan demikian, jika $p = 1''$ dan $d_* = 1 \text{ pc}$, maka dari persamaan (iv) diperoleh,

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

$$= 3,086 \times 10^{18} \text{ cm} \dots\dots\dots (v)$$

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 = $365,25 \times 24$ jam $\times 60$ menit $\times 60$ detik = $3,16 \times 10^7$ detik

$$\begin{aligned} \text{Jadi } 1\ ly &= (3,16 \times 10^7)(2,997925 \times 10^{10}) \\ &= 9,46 \times 10^{17}\ \text{cm} \dots\dots\dots (v) \end{aligned}$$

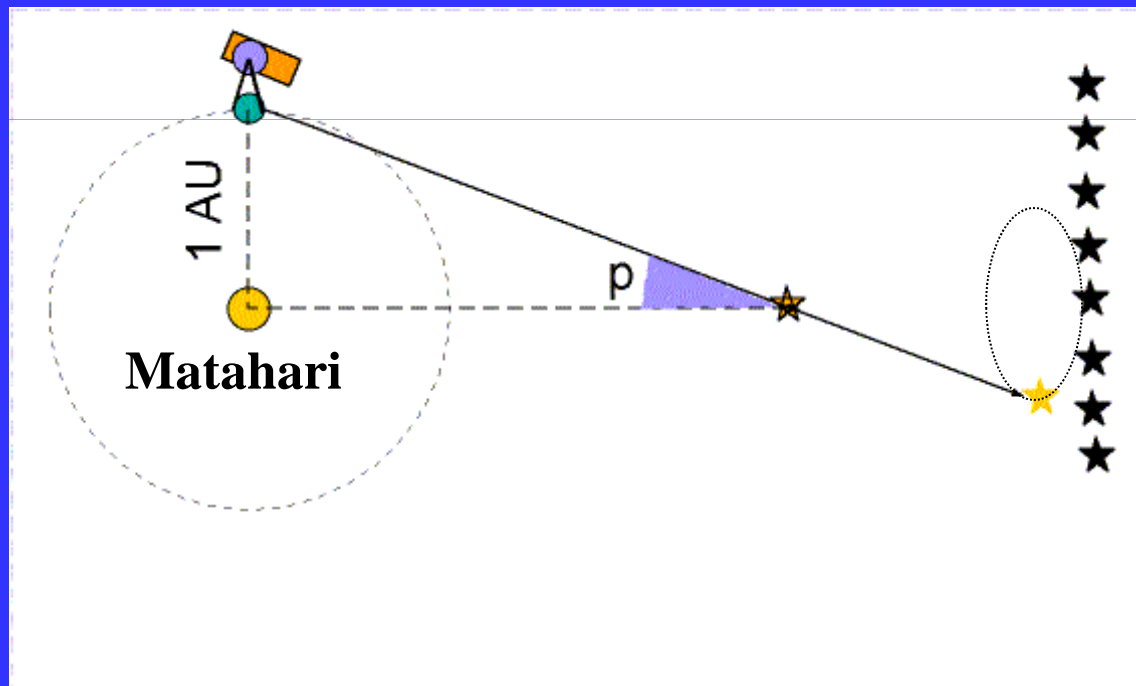
Dari persamaan (iv) dan (v) diperoleh,

$$1\ pc = 3,26\ ly \dots\dots\dots (vi)$$

Apabila paralak dinyatakan dalam detik busur dan jarak dinyatakan dalam pc, maka pers (iv) menjadi,

$$p = 1/d_* \dots \dots \dots (vii)$$

Animasi paralaks



Bintang-bintang yang terdekat dengan matahari yang sudah ditentukan paralaksnya

Bintang	Paralaks s (")	Jarak (pc)	Jarak (ly)
Proxima Centauri	0,76	1,31	4,27
Alpha Centauri	0,74	1,35	4,40
Barnard	0,55	1,81	5,90
Wolf 359	0,43	2,35	7,66
Lalande 21185	0,40	2,52	8,22
Sirius	0,38	2,65	8,64

Hubungan paralaks dengan magnitudo

Dari persamaan modulus jarak yaitu,

$$m - M = -5 + 5 \log d$$

dan persamaan paralaks yaitu, $p = 1/d_*$ dapat diperoleh,

$$m - M = -5 - 5 \log p$$

↳ dapat ditentukan dari kelas luminositasnya

Dari pers. terakhir, jika M diketahui dan m dapat diamati, maka p dapat ditentukan (atau jarak bintang dapat ditentukan). Demikian juga sebaliknya, jika m dan p dapat ditentukan, maka M dapat dicari.

Contoh :

Magnitudo mutlak sebuah bintang adalah $M = 5$ dan magnitudo semunya adalah $m = 10$. Jika absorpsi oleh materi antar bintang diabaikan, berapakah jarak bintang tersebut ?

Jawab :

$m = 10$ dan $M = 5$, dari rumus Pogson

$$m - M = -5 + 5 \log d$$

diperoleh, $10 - 5 = -5 + 5 \log d$

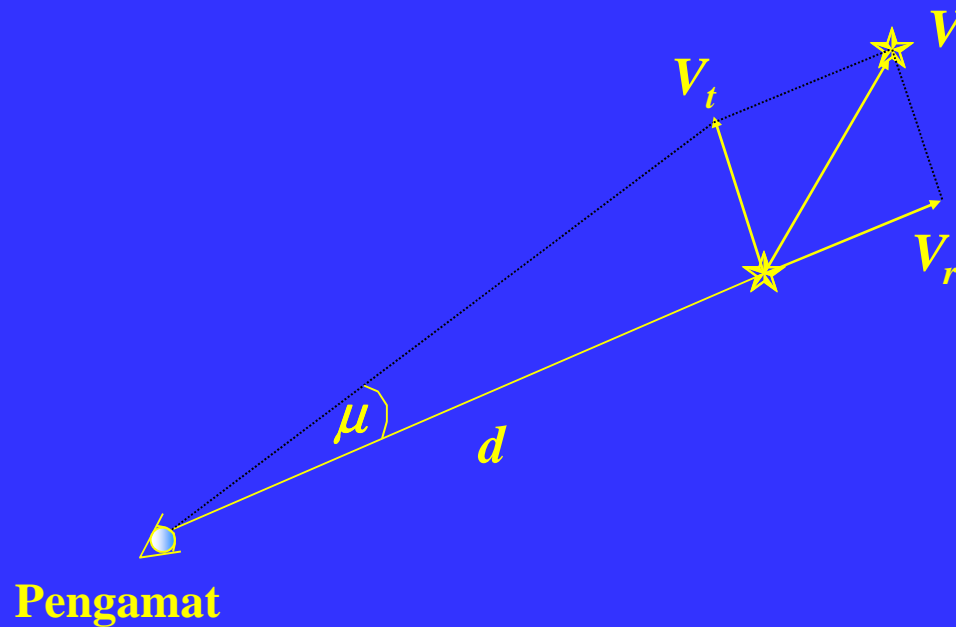
$$5 \log d = 10$$

$$\log d = 2 \longrightarrow d = 100 \text{ pc}$$

Gerak Bintang

Bintang tidak diam, tapi bergerak di ruang angkasa. Pergerakan bintang ini sangat sukar diikuti karena jaraknya yang sangat jauh, sehingga kita melihat bintang seolah-olah tetap diam pada tempatnya sejak dulu hingga sekarang

Laju perubahan sudut letak suatu bintang disebut **gerak sejati** (*proper motion*). Gerak sejati biasanya diberi simbol dengan μ dan dinyatakan dalam detik busur pertahun. Bintang yang gerak sejatinya terbesar adalah bintang Barnard dengan $\mu = 10'',25$ per tahun (dalam waktu 180 tahun bintang ini hanya bergeser selebar bulan purnama)



Hubungan antara kecepatan tangensial (V_t) dan gerak sejati :

$$V_t = \mu d \dots\dots\dots (i)$$

d = jarak bintang. Apabila μ dinyatakan dalam detik busur per tahun, d dalam parsec dan V_t dalam km/s, maka

$$V_t = 4,74 \mu d \dots\dots\dots (ii)$$

$$V_t = 4,74 \mu/p \dots\dots\dots (iii)$$

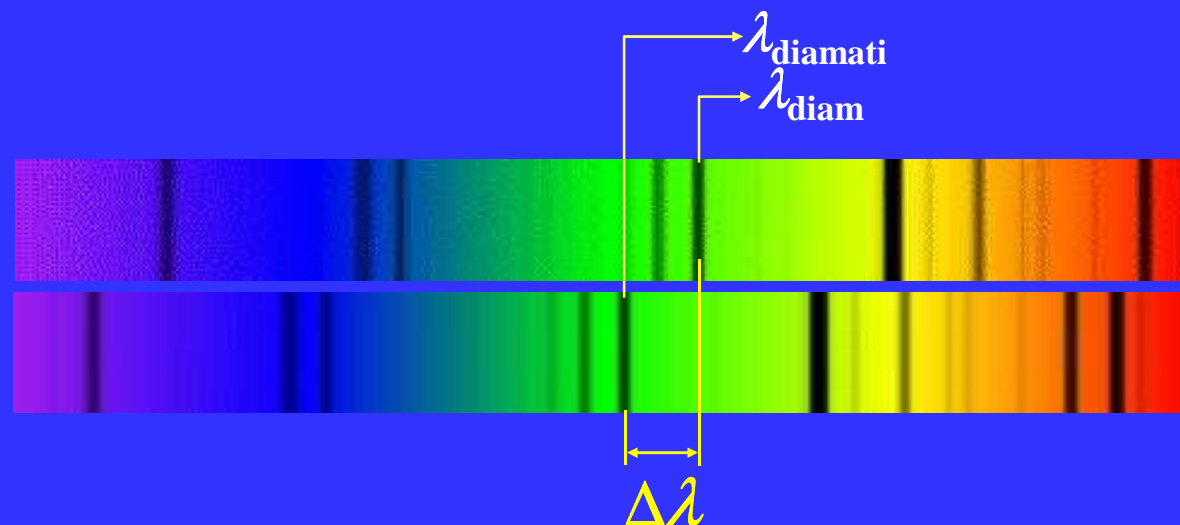
***p* paralaks bintang dalam detik busur.**

Selain gerak sejati, informasi tentang gerak bintang diperoleh dari pengukuran kecepatan radial, yaitu komponen kecepatan bintang yang searah dengan garis pandang

Kecepatan radial bintang dapat diukur dari efek Dopplernya pada garis spektrum dengan menggunakan rumus :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c} \dots\dots\dots (iv)$$

$\lambda = \lambda_{\text{diam}}$, $V_r =$ kecepatan radial, $c =$ kecepatan cahaya



$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{diamati}} - \lambda_{\text{diam}}$$

V_r berharga negatif. garis spektrum bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek } *pergeseran biru*



pergeseran merah

V_r berharga positif. garis spektrum bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih panjang

Karena V_t dapat ditentukan dari per (iii) dan V_r dapat ditentukan dari pers (iv), maka kecepatan linier bintang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$V^2 = V_t^2 + V_r^2 \dots\dots\dots (v)$$

Contoh :

Garis spektrum suatu elemen yang panjang gelombang normalnya adalah 5000 Å diamati pada spektrum bintang berada pada panjang gelombang 5001 Å. Seberapa besarkah kecepatan pergerakan bintang tersebut ? Apakah bintang tersebut mendekati atau menjauhi Bumi ?

Jawab : $\lambda_{\text{diam}} = 5000 \text{ \AA}$ dan $\lambda_{\text{diamati}} = 5001 \text{ \AA}$

$$\Delta \lambda = \lambda_{\text{diamati}} - \lambda_{\text{diam}} = 5001 - 5000 = 1 \text{ \AA}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c}$$

$$V_r = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = (3 \times 10^5) \left(\frac{1}{5000} \right) = 60 \text{ km/s}$$

Karena kecepatannya positif maka bintang menjauhi pengamat

Animasi kecepatan radial untuk sistem bintang ganda

