

# FOTOMETRI BINTANG

# Fotometri Bintang

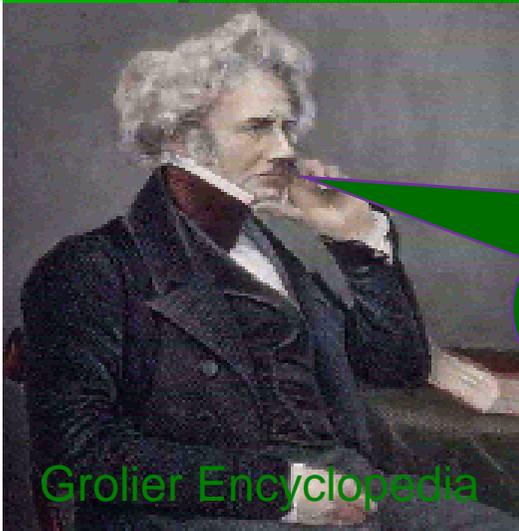
Keadaan fisis bintang dapat ditelaah baik dari spektrumnya maupun dari kuat cahayanya.

⇒ Pengukuran kuat cahaya bintang ini disebut juga fotometri bintang.

## ❖ Terang Bintang

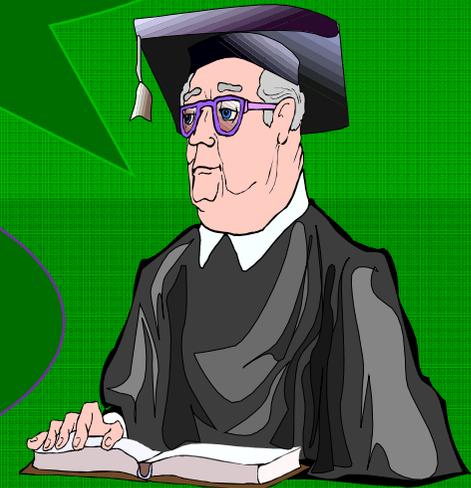
- Terang suatu bintang dalam astronomi dinyatakan dalam satuan *magnitudo*
- Hipparchus (abad ke-2 SM) membagi terang bintang dalam 6 kelompok berdasarkan penampakannya dengan mata telanjang,
  - ⇒ Bintang paling terang tergolong magnitudo ke-1
  - ⇒ Bintang yg lebih lemah tergolong magnitudo ke-2
 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

☞ “Makin terang sebuah bintang, makin kecil nilai numerik magnitudonya”



Grolier Encyclopedia

Sir John Herschel  
(1792 – 1871)



**Contoh :**

Dalam tabel bawah ini terdapat data magnitudo dari lima buah bintang. Tentukanlah bintang nomor berapa saja yang bisa diamati di langit malam dengan mata telanjang? Tentukan juga bintang mana yang paling terang dan bintang mana yang paling lemah, jelaskanlah.

No.	Magnitudo
1	6,5
2	5,2
3	7,3
4	-2,5
5	2,7

➤ **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 pada tahun 1856 mendefinisikan skala satuan magnitudo secara lebih tegas**

⇒ **Tinjau dua bintang :**

$m_1 =$  **magnitudo bintang ke-1**

$m_2 =$  **magnitudo bintang ke-2**

$E_1 =$  **fluks pancaran bintang ke-1**

$E_2 =$  **fluks pancaran bintang ke-2**

Skala Pogson didefinisikan sebagai :

$$m_1 - m_2 = - 2,5 \log (E_1/E_2) \dots\dots\dots(1-1)$$

atau  $E_1/E_2 = 2,512^{-(m_1 - m_2)} \dots\dots\dots(1-2)$

Dengan skala Pogson ini dapat ditunjukkan bahwa bintang bermagnitudo 1 adalah 100 kali lebih terang daripada bintang bermagnitudo 6.

Jika  $m_1 = 1$  dan  $m_2 = 6$ , maka

$$E_1/E_2 = 2,512^{-(1-6)} = 2,512^5 = 100 \implies E_1 = 100 E_2$$

Secara umum rumus Pogson dapat dituliskan :

$$m = -2,5 \log E + \text{tetapan} \dots\dots\dots (1-3)$$

merupakan besaran lain untuk menyatakan fluks pancaran bintang yang diterima di bumi per cm<sup>2</sup>, per detik

- Harga tetapan ditentukan dengan mendefinisikan suatu titik nol.
  - ⇒ Pada awalnya sebagai standar magnitudo digunakan bintang Polaris yang tampak di semua Observatorium yang berada di belahan langit utara. Bintang Polaris ini diberi magnitudo 2 dan magnitudo bintang lainnya dinyatakan relatif terhadap magnitudo bintang polaris

- Tahun 1911, Pickering mendapatkan bahwa bintang Polaris, cahayanya berubah-ubah (bintang variabel) dan Pickering mengusulkan sebagai standar magnitudo digunakan kelompok bintang yang ada di sekitar kutub utara (*North Polar Sequence*)
- Cara terbaik untuk mengukur magnitudo adalah dengan menggunakan bintang standar yang berada di sekitar bintang yang di amati karena perbedaan keadaan atmosfer Bumi tidak terlalu berpengaruh dalam pengukuran.
- Pada saat ini telah banyak bintang standar yang bisa digunakan untuk menentukan magnitudo sebuah bintang, baik yang berada di langit belahan utara, maupun di belahan selatan.

- Magnitudo yang kita bahas merupakan ukuran terang bintang yang kita lihat atau terang semu (ada faktor jarak dan penyerapan yang harus diperhitungkan)

⇒ *magnitudo semu* ⇒ *magnitudo*

Faktor jarak :

$$m = -2,5 \log E + \text{tetapan}$$

$$E = \frac{L}{4 \pi d^2} \dots \dots \dots (1-4)$$

Diagram showing the relationship between variables in the equation above:  
- An arrow points from the text *magnitudo semu* to the variable  $m$  in the equation above.  
- An arrow points from the variable  $E$  in the equation above to the text *magnitudo semu*.  
- An arrow points from the variable  $L$  in the equation above to the text *kuat cahaya sebenarnya*.

- Untuk menyatakan luminositas atau kuat sebenarnya sebuah bintang, kita definisikan besaran magnitudo mutlak, yaitu magnitudo bintang yang diandaikan diamati dari jarak 10 pc.

⇒ Skala Pogson untuk magnitudo mutlak ini adalah,

$$M = -2,5 \log E' + \text{tetapan} \dots\dots\dots (1-5)$$

$$E' = \frac{L}{4 \pi 10^2} \dots\dots\dots (1-6)$$

↳ magnitudo mutlak

Jadi

$$M = -2,5 \log \left[ \frac{L}{4 \pi 10^2} \right] + \text{tetapan} \dots\dots\dots (1-7)$$

Dari pers. (1-4) :  $m = -2,5 \log E + \text{tetapan}$

Dari pers. (1-7) :  $M = -2,5 \log E' + \text{tetapan}$

---

$$m - M = -2,5 \log E/E' \dots\dots\dots (1-5)$$

Subtitusikan pers. (1-4) :  $E = \frac{L}{4 \pi d^2}$

dan pers. (1-6) :  $E' = \frac{L}{4 \pi 10^2}$

ke pers (1-5) diperoleh,

$$\underbrace{m - M}_{\text{modulus jarak}} = -5 + 5 \log d \dots\dots\dots (1-9)$$

$\downarrow$   $d$  dalam pc

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

$$5 \log d = 10$$

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

Dari rumus Pogson dapat kita tentukan perbedaan magnitudo mutlak dua bintang yang luminositasnya masing-masing  $L_1$  dan  $L_2$ , yaitu,

Dari rumus pers (1-7) :  $M = -2,5 \log \left[ \frac{L}{4 \pi 10^2} \right] + \text{tetapan}$

Untuk bintang ke-1 :  $M_1 = -2,5 \log \left[ \frac{L_1}{4 \pi 10^2} \right] + \text{tetapan}$

Untuk bintang ke-2 :  $M_2 = -2,5 \log \left[ \frac{L_2}{4 \pi 10^2} \right] + \text{tetapan}$

Jadi :  $M_1 - M_2 = -2,5 \log \left[ \frac{L_1}{L_2} \right] \dots \dots \dots (1-10)$

1. Suppose there were a star like the Sun (same temperature, same luminosity) but located 100 million times further (i.e., 100 million AU from our solar system). How much brighter or fainter than the Sun would the star appear? What would be the apparent magnitude of the star? Would this star be visible to the naked eye (unaided by a telescope)?
2. Star A has apparent magnitude 3.26, and star B has apparent magnitude 13.26. Which star is brighter? How many times more energy do we receive from it?
3. If both stars in question 2 have the same absolute magnitude, which one is closer? How many times closer than the other?

4. Look at the table below, giving the range of absolute magnitude for typical stars.

Object	M
The Sun	+5
Most Luminous Star	-10
Least Luminous Star	+15

- a. How many times more luminous is the Most Luminous Star, compared to the Least Luminous Star (i.e., how many more times the "wattage" does it have? You need just to convert magnitude differences into luminosity ratios)?
- b. If the Sun's luminosity is  $4 \times 10^{26}$  watts, what is the luminosity of the Most Luminous Star? The Least Luminous Star?

5. Suppose the absolute magnitudes of the stars in questions 2 are  $M=8.26$ . Calculate the distances of each star in parsecs.

## ❖ Sistem Magnitudo

Sebelum perkembangan fotografi, magnitudo bintang ditentukan dengan mata.

- Kepekaan mata untuk daerah panjang gelombang yang berbeda tidak sama
- Mata terutama peka untuk cahaya kuning hijau di daerah  $\lambda = 5\ 500\ \text{\AA}$ , karena itu magnitudo yang diukur pada daerah ini disebut *magnitudo visual* atau  $m_{vis}$

Dengan berkembangnya fotografi, magnitudo bintang selanjutnya ditentukan secara fotografi.

- Pada awal fotografi, emulsi fotografi mempunyai kepekaan di daerah biru-ungu pada panjang gelombang sekitar 4 500 Å.
- Magnitudo yang diukur pada daerah ini disebut magnitudo fotografi atau  $m_{\text{fot}}$

Sebagai contoh kita ambil perbandingan hasil pengukuran magnitudo visual dengan magnitudo fotografi untuk bintang Rigel dan Betelgeuse yang berada di rasi Orion. Rigel berwarna biru sedangkan Betelgeuse berwarna merah.

❖ **Rigel (berwarna biru)**

- Menurut Hukum Planck dan Wien, temperatur permukaan bintang Rigel lebih tinggi daripada Betelgeuse.
- Akan memancarkan lebih banyak cahaya biru daripada cahaya kuning.
- Diamati secara fotografi akan tampak lebih terang daripada diamati secara visual ( $m_{vis}$  besar dan  $m_{fot}$  kecil).

❖ **Betelgeuse (berwarna merah)**

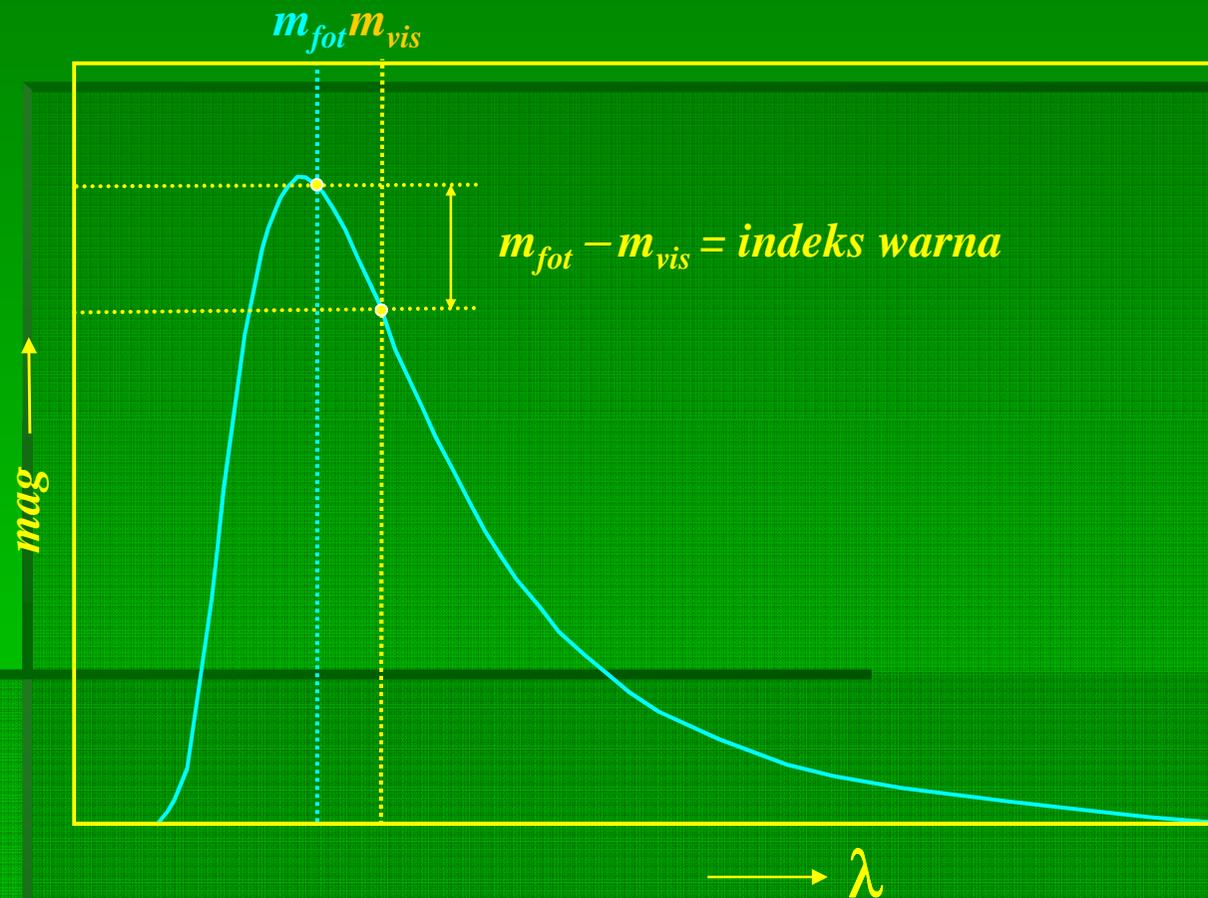
- **Temperatur permukaannya rendah daripada Rigel**
- **Akan memancarkan lebih banyak cahaya kuning daripada cahaya biru**
- **Diamati secara visual akan tampak lebih terang daripada diamati secara fotografi ( $m_{vis}$  kecil dan  $m_{fot}$  besar).**

**Jadi untuk suatu bintang,  $m_{vis}$  berbeda dari  $m_{fot}$ . Selisih kedua magnitudo tersebut, disebut *indeks warna (Color Index – CI)*.**

$$CI = m_{fot} - m_{vis} \dots\dots\dots (1-11)$$

- **Makin panas atau makin biru suatu bintang, semakin kecil indeks warnanya.**

## Distribusi energi bintang Rigel



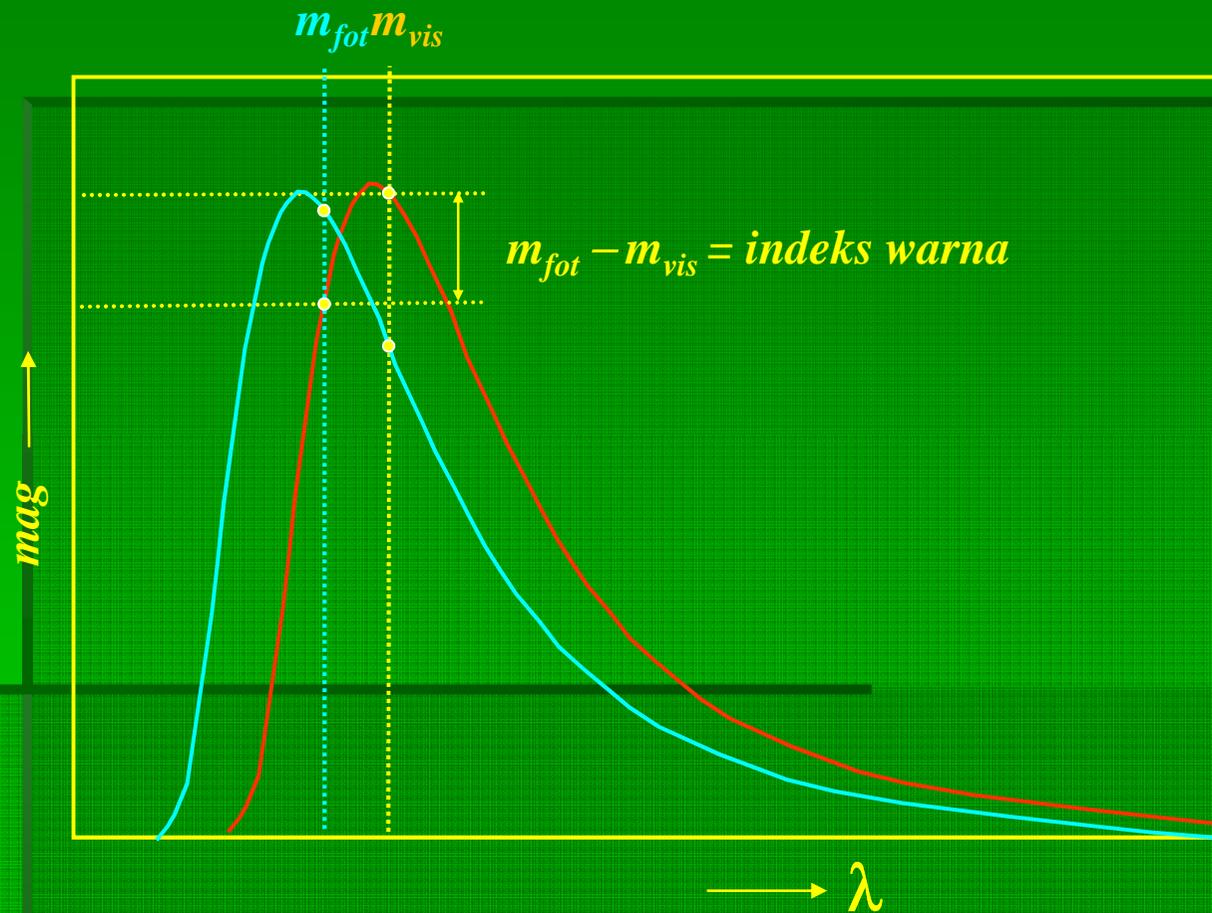
$$m_{fot} = -0,03$$

$$m_{vis} = 0,14$$

$$CI = -0,17$$

$m_{vis}$  besar,  $m_{fot}$  kecil     $\rightarrow$   $CI$  kecil

## Distribusi energi bintang Betelgeus



$$m_{fot} = 2,14$$

$$m_{vis} = 0,70$$

$$CI = 1,44$$

$m_{vis}$  kecil,  $m_{fot}$  besar     $\rightarrow$   $CI$  besar

Karena ada perbedaan antara  $m_{vis}$  dan  $m_{fot}$ , maka perlu diadakan pembakuan titik nol kedua magnitudo tersebut.

$$m_{vis} = - 2,5 \log E_{vis} + C_{vis} \dots\dots\dots (1-12)$$

$$m_{fot} = - 2,5 \log E_{fot} + C_{fot} \dots\dots\dots (1-13)$$

$E_{vis}$  = fluks pancaran dalam daerah visuil

$E_{fot}$  = fluks pancaran dalam daerah fotografi

$C_{vis}$  dan  $C_{fot}$  adalah tetapan

Tetapan  $C_{vis}$  dan  $C_{fot}$  dapat diambil sedemikian rupa sehingga untuk bintang deret utama yang spektrumnya termasuk kelas A0 (akan dibicarakan kemudian) harga

$$m_{vis} = m_{fot}$$

Contoh bintang deret utama dengan kelas spektrum A0 adalah bintang Vega.

- Berdasarkan definisi indeks warna bintang Vega adalah nol ( $CI = 0$ )
- Jadi bintang yang lebih biru atau lebih panas daripada Vega, misalnya bintang Rigel indeks warnanya akan negatif.
- Bintang yang lebih merah atau lebih dingin daripada Vega, misalnya bintang Betelgeuse indeks warnanya akan positif

$$\text{Rigel} \quad : m_{fot} = -0,03, m_{vis} = 0,14 \quad \Rightarrow \quad CI = -0,17$$

$$\text{Betelgeuse} : m_{fot} = 2,14, m_{vis} = 0,70 \quad \Rightarrow \quad CI = 1,44$$

Dengan berkembangnya fotografi, selanjutnya dapat dibuat pelat foto yang peka terhadap daerah panjang gelombang lainnya, seperti kuning, merah bahkan inframerah.

Pada tahun 1951, H.L. Johnson dan W.W. Morgan mengajukan sistem magnitudo yang disebut sistem *UBV*, yaitu

*U* = magnitudo semu dalam daerah ultraungu ( $\lambda_{ef} = 3500 \text{ \AA}$ )

*B* = magnitudo semu dalam daerah biru ( $\lambda_{ef} = 4350 \text{ \AA}$ )

*V* = magnitudo semu dalam daerah visual ( $\lambda_{ef} = 5550 \text{ \AA}$ )

## Dalam sistem Johnson – Morgan (sistem UBV)

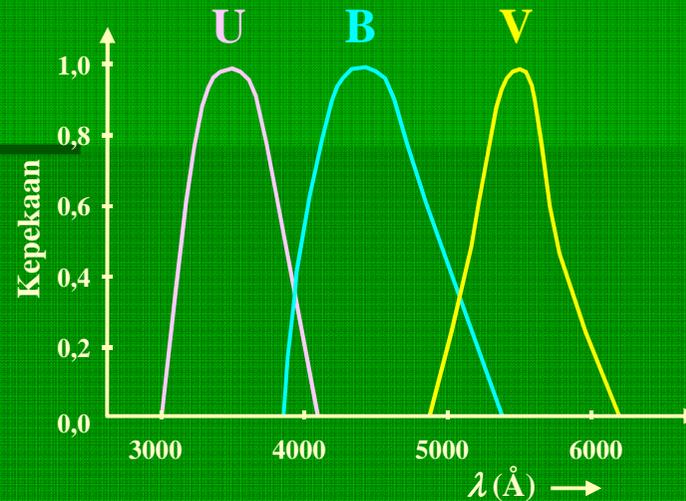
➤ Indeks warna adalah  $U-B$  dan  $B-V$

⇒ Untuk bintang panas  $B-V$  kecil.

➤ Harga tetapan dalam pers. (1-3) diambil sedemikian rupa sehingga untuk bintang deret utama kelas A0 (misalnya bintang Vega)

$$U = B = V \quad \Rightarrow \quad CI = 0$$

Daerah kepekaan pengukuran magnitudo U, B dan V



## Berbagai Sistem Magnitudo

	Magnitudo	Warna	$\lambda$ Efektif (Å)	Lebar Pita (Å)
Sistem UGR dari Becker	U	Ultraviolet	3 690	500 – 700
	G	Hijau	4 680	
	R	Merah	6380	
Sistem UBV dari Johnson dan Morgan	U	Ultraviolet	3 500	800 – 1000
	B	Biru	4 350	
	V	Kuning	5 550	
Sistem Stromgren (Sistem ubvy)	u	Ultraviolet	3 500	~ 200
	v	Violet	4 100	
	b	Biru	4 670	
	y	Hijau	5 470	

## Berbagai Sistem Magnitudo

	Magnitudo	Warna	$\lambda$ Efektif ( $\text{\AA}$ )	Lebar Pita ( $\text{\AA}$ )
<b>Sistem Stebbins dan Withford</b>	<b>U</b>	<b>Ultraviolet</b>	<b>3 550</b>	<b>600 - 1500</b>
	<b>V</b>	<b>Violet</b>	<b>4 200</b>	
	<b>B</b>	<b>Biru</b>	<b>4 900</b>	
	<b>G</b>	<b>Hijau</b>	<b>5 700</b>	
	<b>R</b>	<b>Merah</b>	<b>7 200</b>	
	<b>I</b>	<b>inframerah</b>	<b>10 300</b>	

➤ Sistem dengan lebar pita (*band width*) yang sempit seperti sistem Stromgren dapat memberikan informasi yang lebih cermat, tetapi sistem ini memerlukan waktu pengamatan yang lebih lama.

→ dalam suatu selang waktu jumlah cahaya yang ditangkap detektor lebih sempit

 Dewasa ini pengamatan fotometri tidak lagi menggunakan pelat film, tetapi dilakukan dengan menggunakan kamera CCD (digital), sehingga untuk menentukan bermacam-macam sistem magnitudo hanya ditentukan oleh filter yang digunakan.

**Contoh :**

Tiga bintang diamati magnitudonya dalam  $\lambda$  visual ( $V$ ) dan biru ( $B$ ) seperti yang diperlihatkan dalam tabel di bawah.

No.	B	V
1	8,52	8,82
2	7,45	7,25
3	7,45	6,35

- Tentukan bintang nomor berapakah yang paling terang ?  
Jelaskanlah alasannya
- Bintang yang anda pilih sebagai bintang yang paling terang itu dalam kenyataannya apakah benar-benar merupakan bintang yang paling terang ? Jelaskanlah jawaban anda.
- Tentukanlah bintang mana yang paling panas dan mana yang paling dingin. Jelaskanlah alasannya.

**Jawab :**

a. Bintang paling terang adalah bintang yang magnitudo visualnya paling kecil. Dari tabel tampak bahwa bintang yang magnitudo visualnya paling kecil adalah bintang no. 3, jadi bintang yang paling terang adalah bintang no. 3

b. Belum tentu karena terang suatu bintang bergantung pada jaraknya ke pengamat seperti tampak pada rumus

No	B	V
1	8,52	8,82
2	7,45	7,25
3	7,45	6,35

$$V = -2,5 \log E + \text{tetapan} + \frac{7,25}{4 \pi d^2} \frac{L}{E}$$

dimana  $E$  adalah terang bintang,  $L$  luminositas bintang dan  $d$  adalah jarak bintang ke pengamat. Oleh karena itu bintang yang sangat terang bisa tampak sangat lemah cahayanya karena jaraknya yang jauh.

- c. **Makin panas atau makin biru sebuah bintang, indeks warnanya akan semakin kecil**

<b>No. Btg</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>B-V</b>
<b>1</b>	<b>8,52</b>	<b>8,82</b>	<b>-0,30</b>
<b>2</b>	<b>7,45</b>	<b>7,25</b>	<b>0,20</b>
<b>3</b>	<b>7,45</b>	<b>6,35</b>	<b>1,10</b>

**Dari tabel di atas tampak bintang yang mempunyai indeks warna terkecil adalah bintang no. 1. Jadi bintang terpanas adalah bintang no. 1.**

# Magnitudo Bolometrik

- ❖ Berbagai magnitudo yang telah kita bicarakan belum bisa menggambarkan sebaran energi pada spektrum bintang, karena magnitudo ini hanya diukur pada  $\lambda$  tertentu saja.
- ❖ Untuk itu didefinisikan *magnitudo bolometrik* ( $m_{bol}$ ) yaitu magnitudo bintang yang diukur dalam seluruh  $\lambda$ .
- ❖ Rumus Pogson untuk magnitudo semu bolometrik dituliskan sebagai,

$$m_{bol} = -2,5 \log E_{bol} + C_{bol} \dots \dots \dots (1-14)$$

$$\text{Fluks bolometrik } E = \frac{L}{4 \pi d^2} \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \downarrow \\ \text{tetapan} \end{array}$$

Magnitudo mutlak bolometrik diberi simbol  $M_{bol}$

- Magnitudo mutlak bolometrik mempunyai arti penting karena kita dapat memperoleh informasi mengenai energi total yang dipancarkan suatu bintang per detik (luminositas) yaitu dari rumus,

$$M_{bol} - M_{bol\odot} = -2,5 \log L/L_{\odot} \dots\dots\dots (1-15)$$

$M_{bol}$  : magnitudo mutlak bolometrik bintang

$M_{bol\odot}$  : magnitudo mutlak bolometrik Matahari = 4,75

$L$  : Luminositas bintang

$L_{\odot}$  : Luminositas Matahari =  $3,83 \times 10^{33}$  erg/det

- **Magnitudo bolometrik sukar ditentukan karena beberapa panjang gelombang tidak dapat menembus atmosfer Bumi.**
- **Bintang yang panas sebagian besar energinya dipancarkan pada panjang gelombang ultraviolet, sedangkan bintang yang dingin, sebagian besar energinya dipancarkan pada panjang gelombang inframerah. Keduanya tidak dapat menembus atmosfer Bumi.**
- **Magnitudo bolometrik bintang-bintang panas dan dingin ini ditentukan secara teori, atau penentuannya dilakukan di luar atmosfer Bumi.**

- Cara lain adalah cara tidak langsung, yaitu dengan memberikan koreksi pada magnitudo visualnya. Caranya adalah sebagai berikut:

Magnitudo visual adalah,  $V = -2,5 \log E_V + C_V$

Magnitudo bolometrik adalah,  $m_{bol} = -2,5 \log E_{bol} + C_{bol}$

Dari dua persamaan ini diperoleh,

$$V - m_{bol} = -2,5 \log E_V / E_{bol} + C$$

Atau  $V - m_{bol} = BC \dots \dots \dots (1-16)$

**BC** disebut koreksi bolometrik (*bolometric correction*) yang harganya bergantung pada temperatur atau warna bintang

- Koreksi bolometrik dapat juga dituliskan sebagai,

$$m_v - m_{bol} = BC \dots\dots\dots (1-17)$$

$m_v$  adalah magnitudo visual

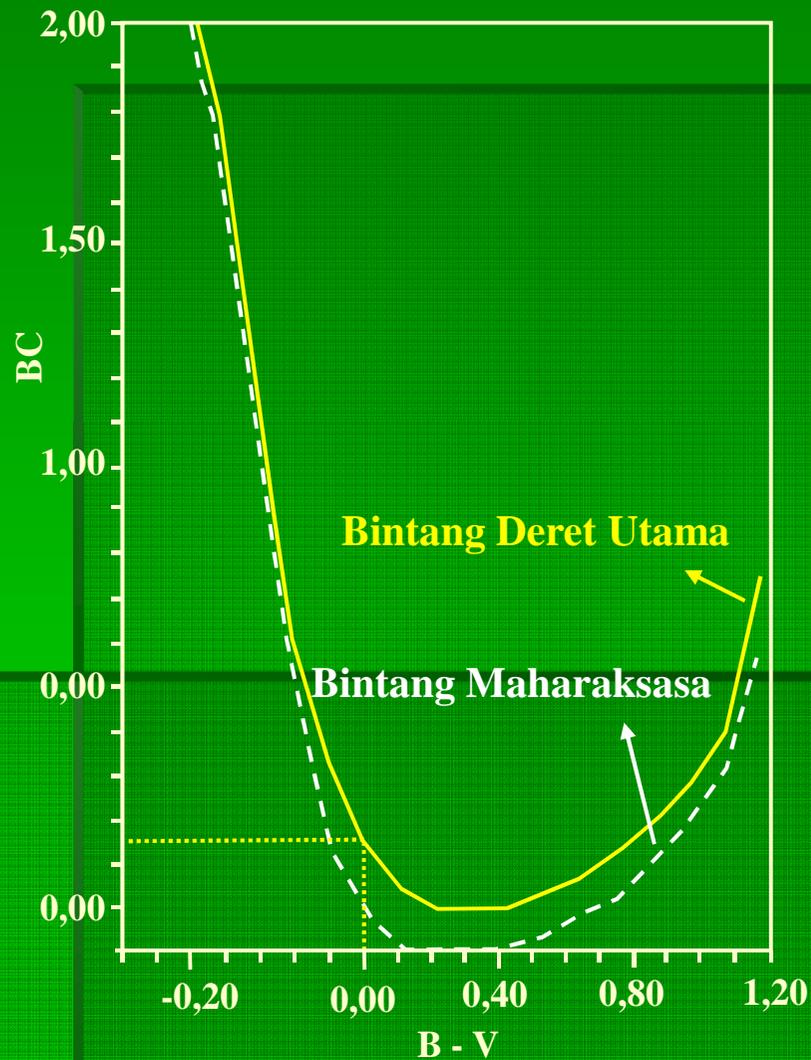
- Dalam magnitudo mutlak koreksi bolometrik dituliskan sebagai,

$$M_v - M_{bol} = BC \dots\dots\dots (1-18)$$

- ☯ Untuk bintang yang sangat panas atau sangat dingin, sebagian besar energinya dipancarkan pada daerah ultraviolet atau inframerah, hanya sebagian kecil saja dipancarkan pada daerah visual, oleh karena itu untuk bintang seperti ini, koreksi bolometriknya besar
- ☯ Untuk bintang yang temperaturnya sedang, seperti Matahari, sebagian besar energinya dipancarkan dalam daerah visual hingga perbedaan antara  $m_{bol}$  dan  $V$  kecil. Jadi untuk bintang seperti ini koreksi bolometriknya mencapai harga terkecil.

***Koreksi bolometrik bergantung pada warna bintang !***

## Hubungan antara BC dengan B-V



Koreksi bolometrik yang minimum ( $BC = 0$ ) terjadi pada harga  $B - V = 0,30$

Untuk bintang lainnya, apabila  $B - V$  diketahui, maka BC dapat ditentukan

Contoh, bintang Vega harga  $B - V = 0$ ,

Jadi harga koreksi bolometriknya adalah  $BC = 0,15$

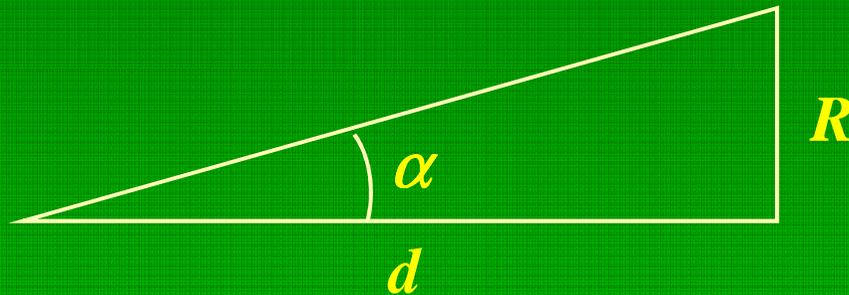
**Tabel 4.1. Temperatur efektif dan koreksi bolometrik untuk bintang-bintang Deret Utama dan Bintang Maharaksasa.**

B - V	Bintang Deret Utama		Bintang Maharaksasa	
	$T_{eff}$	BC	$T_{eff}$	BC
-0,25	24500	2,3	26000	2,2
-0,23	21000	2,15	23500	2,05
-0,20	17700	1,8	19100	1,72
-0,15	14000	1,2	14500	1,12
-0,10	11800	0,61	12700	0,53
-0,05	10500	0,33	11000	0,14
0,00	9480	0,15	9800	-0,01
0,10	8530	0,04	8500	-0,09
0,20	7910	0	7440	-0,1

B - V	Bintang Deret Utama		Bintang Maharaksasa	
	$T_{eff}$	BC	$T_{eff}$	BC
0,30	7450	0	6800	-0,1
0,40	6800	0	6370	-0,09
0,50	6310	0,03	6020	-0,07
0,60	5910	0,07	5800	-0,003
0,70	5540	0,12	5460	0,003
0,80	5330	0,19	5200	0,1
0,90	5090	0,28	4980	0,19
1,00	4840	0,4	4770	0,3
1,20	4350	0,75	4400	0,59

## Temperatur Efektif Bintang

$$\left. \begin{aligned} L &= 4 \pi R^2 \sigma T_{ef}^4 \\ E &= \frac{L}{4 \pi d^2} \end{aligned} \right\} E = \left( \frac{R}{d} \right)^2 \sigma T_{ef}^4 \dots (1-19)$$

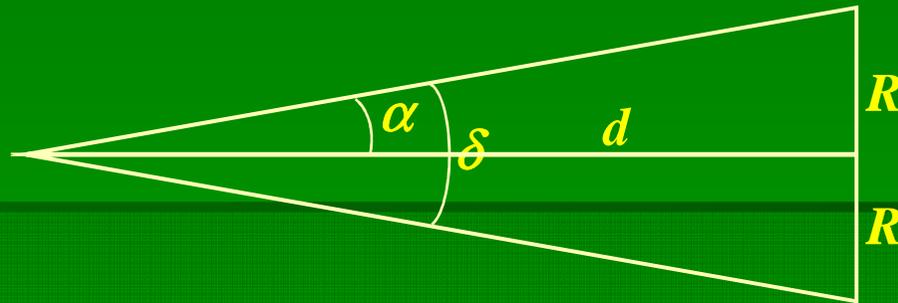


$$\alpha = \frac{R}{d} \dots \dots \dots (1-20)$$

Radius sudut bintang

Subtitusikan pers. (1-20) ke pers. (1-19) diperoleh,

$$E = \alpha^2 \sigma T_{ef}^4 \dots \dots \dots (1-21)$$



$$\delta = 2\alpha \dots \dots \dots (1-22)$$

↳ Garis tengah sudut

Subtitusikan pers. (1-22) ke pers. (1-21) :  $E = \alpha^2 \sigma T_{ef}^4$   
diperoleh,

$$E = \left[ \frac{\delta}{2} \right]^2 \sigma T_{ef}^4 \dots \dots \dots (1-23)$$

Untuk Matahari :  $E_{\odot} = \left[ \frac{\delta}{2} \right]^2 \sigma T_{ef\odot}^4 \dots \dots \dots (1-24)$

Apabila kita bandingkan fluks bintang dan fluks Matahari diperoleh,

$$\left. \begin{aligned} E &= \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \sigma T_{ef}^4 \\ E_{\odot} &= \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \sigma T_{ef\odot}^4 \end{aligned} \right\} \frac{T_{ef}}{T_{ef\odot}} = \left(\frac{\delta_{\odot}}{\delta}\right)^{1/2} \left(\frac{E}{E_{\odot}}\right)^{1/4}$$

Jika diambil logaritmanya, maka diperoleh,

$$\log (T_{ef} / T_{ef\odot}) = 0,25 \log (E / E_{\odot}) + 0,5 \log (\delta_{\odot} / \delta) \quad \dots (1-25)$$

Dengan menggunakan rumus Pogson, didapatkan,

$$m_{bol} - m_{bol\odot} = -2,5 \log (E/E_{\odot}) \dots\dots\dots (1-26)$$

Apabila pers. ini disubstitusikan ke pers. (1-24)

$$\log (T_{ef}/T_{ef\odot}) = 0,25 \log (E/E_{\odot}) + 0,5 \log (\delta_{\odot}/\delta)$$

akan diperoleh,

$$\log T_{ef} = \log T_{ef\odot} - 0,1 \log (m_{bol} - m_{bol\odot}) + 0,5 (\log \delta_{\odot} - \log \delta) \dots\dots\dots (1-27)$$

Untuk Matahari diketahui,

$$T_{ef\odot} = 5785 \text{ K}, m_{bol\odot} = -26,79 \text{ dan } \delta_{\odot} = 1920''$$

Jika harga-harga ini dimasukkan ke pers. (1-27) :

$$\log T_{ef} = \log T_{ef\odot} - 0,1 \log (m_{bol} - m_{bol\odot}) + 0,5 (\log \delta_{\odot} - \log \delta)$$

akan diperoleh,

$$\log T_{ef} = 2,726 - 0,1m_{bol} - 0,5 \log \delta \dots\dots\dots (1-28)$$

└─ dinyatakan dalam  
detik busur

Jadi jika  $\delta$  dan  $m_{bol}$  dapat ditentukan maka  $T_{ef}$  dapat dicari.

Jika  $T_{ef}$  sudah dapat ditentukan, maka dengan menggunakan pers. (2-29) :

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

↳ dapat dicari

↳ ditentukan dari  $\delta$

Atau mana saja yang lebih dulu bisa ditentukan, maka yang lainnya dapat dicari.

*Contoh:*

1. Vega adalah bintang deret utama kelas A0 dengan  $M_v = 0,58$ . Tentukanlah  $M_{bol}$  dan Luminositasnya.

*Jawab:*

Koreksi Bolometrik Vega adalah,  $BC = 0,15$

$$M_{bol\odot} = 4,75$$

Dari pers. (1-18) :  $M_v - M_{bol} = BC$

diperoleh,  $M_{bol} = 0,58 - 0,15 = 0,43$

Dari pers. (1-15) :  $M_{bol} - M_{bol\odot} = -2,5 \log L/L_{\odot}$

diperoleh,

$$\text{Log } L/L_{\odot} = \frac{M_{bol} - M_{bol\odot}}{-2,5} = \frac{0,43 - 4,75}{-2,5} = 1,73$$

Jadi,  $L = 53,46 L_{\odot}$

2. Dari hasil pengukuran, diameter sudut bintang Vega adalah  $3,24 \times 10^{-3}$  detik busur, parallaksnya adalah  $p = 0,133$  detik busur dan koreksi bolometriknya  $BC = 0,15$ . Jika diketahui  $M_v = 0,58$  tentukanlah,
- Temperatur efektifnya
  - Radiusnya
  - Dari nilai yang diperoleh dari butir a dan b, tentukanlah Luminositasnya.

*Jawab:*

$$\begin{aligned} \delta &= 3,24 \times 10^{-3} \text{ detik busur} & BC &= 0,15 \\ &= 1,57 \times 10^{-8} \text{ radian} & M_v &= 0,58 \\ p &= 0,133 \text{ detik busur,} \end{aligned}$$

$$a) p = 1/d_* \implies d_* = 1/p = 1/0,133 = 7.52 \text{ pc} = 2,32 \times 10^{18} \text{ cm}$$

Rumus modulus jarak (pers. 1-9) untuk magnitudo bolometrik adalah,

$$m_v - M_v = -5 + 5 \log d \implies m_v = -5 + 5 \log 7.52 + 0,58 \\ = -0,04$$

$$\text{Dari pers. (1-17) : } m_v - m_{bol} = BC \implies m_{bol} = -0,19$$

$$\text{Dari pers. (1-28) : } \log T_{ef} = 2,726 - 0,1m_{bol} - 0,5 \log \delta$$

diperoleh,

$$\log T_{ef} = 2,726 - 0,1(-0,19) - 0,5 \log (3,24 \times 10^{-3})$$

$$T_{ef} = 9766 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } \left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{R}{d} \\ \delta &= 2\alpha \end{aligned} \right\} R &= \frac{\delta d}{2} = \frac{(1,57 \times 10^{-8}) (2,32 \times 10^{19})}{2} \\
 &= 1,82 \times 10^{11} \text{ cm} = 12,62 R_{\odot}
 \end{aligned}$$

c) Luminositas bintang dapat ditentukan dari pers.

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow L &= 4 \pi (1,82 \times 10^{11})^2 (5,67 \times 10^{-5}) (9766)^4 \\
 &= 2,15 \times 10^{35} \text{ erg/s} = 56,08 L_{\odot}
 \end{aligned}$$

Dari contoh 1,  $L = 53,46 L_{\odot}$

*Soal Latihan :*

1. Dari pengamatan diperoleh bahwa magnitudo semu sebuah bintang adalah  $m_v = 10,4$  dan koreksi bolometriknya  $BC = 0,8$ . Jika parallaks bintang tersebut adalah  $p = 0'',001$ , berapakah luminositasnya.
2. Sebuah bintang mempunyai  $T_{ef} = 8700$  K,  $M_{bol} = 1,6$  dan  $m_{bol} = 0,8$ . Tentukanlah jarak, radius dan luminositas bintang tersebut.
3. Magnitudo semu visual bintang  $\alpha$  Aql adalah 0,78, temperatur efektifnya adalah 8400 K. Jika parallaks bintang ini adalah  $0'',198$  dan diameter sudutnya  $2,98 \times 10^{-3}$  detik busur, tentukanlah :
  - a. Koreksi bolometrik dan magnitudo mutlak bolometrik bintang tersebut.
  - b. Luminositas dan radius bintang.