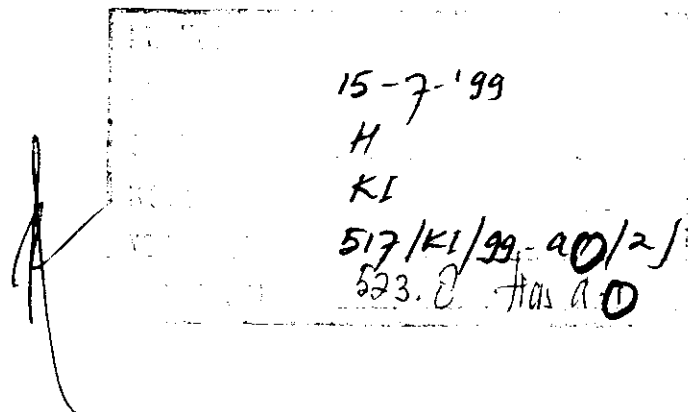


# ASPEK FISIKA BINTANG

OLEH : DRS. AMRAN HASRA



JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA  
INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
PADANG  
1998

# DAFTAR ISI

|  | <b>Hal</b> |
|--|------------|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                  | i          |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                      | ii         |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....               | 1          |
| 1.1 Tata Surya dan Jagat Raya.....           | 1          |
| 1.2 Fisika dalam Jagat Raya .....            | 4          |
| 1.3 Jarak Bintang.....                       | 9          |
| <b>BAB II CAHAYA DAN WARNA BINTANG</b> ..... | 13         |
| 2.1 Cahaya Bintang.....                      | 13         |
| 2.2 Magnitudo Bintang .....                  | 17         |
| 2.3 Magnitudo Mutlak .....                   | 18         |
| 2.4 Warna Bintang.....                       | 20         |
| 2.5 Indek Bintang.....                       | 22         |
| 2.6 Suhu Efektif.....                        | 23         |
| <b>BAB III SPEKTRUM BINTANG</b> .....        | 25         |
| 3.1 Spektrum Cahaya Bintang .....            | 25         |
| 3.2 Klasifikasi Spektrum Bintang.....        | 27         |
| 3.3 Diagram Hertzsprung Russel.....          | 29         |
| <b>BAB IV ENERGI BINTANG</b> .....           | 36         |
| 4.1 Bahan Bakar Bintang.....                 | 36         |
| 4.2 Reaksi Nuklir di dalam Bintang.....      | 39         |
| <b>BAB V EVOLUSI BINTANG</b> .....           | 43         |
| 5.1 Asal Mula Bintang.....                   | 43         |
| 5.2 Evolusi Awal.....                        | 45         |
| 5.3 Evolusi di Deret Utama .....             | 47         |
| 5.4 Gugus Bintang .....                      | 49         |
| 5.5 Evolusi Lanjut.....                      | 50         |
| 5.6 Ledakan Bintang.....                     | 52         |
| 5.7 Evolusi Bintang Ganda.....               | 62         |

## DAFTAR PUSTAKA

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Kuasa, yang mana berkat rahmat dan karuniaNya jualah buku ini dapat di selesaikan , seperti apa adanya.

Buku yang penulis beri judul “Aspek Fisika Bintang “ ini ditulis guna memenuhi kebutuhan buku-buku pelajaran di sekolah dan perguruan tinggi.

Dalam buku ini akan dibahas tentang aspek fisika dan jagat raya, cahaya dan warna bintang, spektrum bintang, energi bintang, dan evolusi bintang.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan dalam buku ini, untuk itu penulis mengharapkan lebih banyak saran serta petunjuk dari pembaca demi penyempurnaannya.

Akhirnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak berjasa dalam mempersiapkan buku ini.

Padang,      November 1998

Penulis

# BAB I

## PENDAHULUAN

Manusia sebagai makhluk yang paling sempurna diciptakan Tuhan, dikaruniai akal dan budi. Sebagai salah satu penghuni alam semesta ( jagat raya ) manusia selalu ingin tahu untuk mencari keterangan tentang segala sesuatu, yang pernah di lihat dan dialami tentang alam sekitarnya. Dengan mengamati bola langit yang penuh bintang bertaburan memancing rasa ingin tahu untuk mengungkap rahasia dari alam semesta.

Para ahli astronomi telah banyak memperoleh informasi dari bola langit baik melalui pengamatan langsung maupun melalui penelitian yang dilakukan di muka bumi atau di angkasa. Didasarkan atas semua informasi ini dapat disusun teori dan hukum sebagai jawaban dari berbagai pertanyaan dan permasalahan tentang jagat raya ini.

### 1.1 *Tata Surya Dan Jagat Raya*

Manusia yang bertempat tinggal dipermukaan bumi dapat merasakan bahwa bumi kita ini sangat luas sekali . Hal ini dapat dibayangkan karena jari-jari bumi panjangnya 6.370 km, dengan keliling khatulistiwa 40.000 km yang sama dengan 40 kali panjang pulau jawa.

Bumi yang merupakan salah satu dari planet anggota Tata Surya ( sistem matahari) beredar bersama planet lainnya mengelilingi matahari. Jarak rata-rata antara matahari dengan bumi diperkirakan 149.600.000 km dinamakan satu-satuan astronomik atau 1 astronomik unit ( Moh Ma'mur,T, 1995;91). Ada sembilan planet yang merupakan anggota tata surya, berturut-turut dari yang terdekat ke matahari yaitu : Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus Dan Pluto.

Tata Surya merupakan suatu sistem keluarga benda langit yang terdiri atas matahari, planet-planet, satelit-satelit, komet dan meteor sebagai salah satu bintang diantara miliaran bintang di jagat raya. Bintang-bintang membentuk kelompok dalam jumlah yang sangat banyak. Setiap kelompok terdiri atas jutaan bintang-bintang yang dikenal dengan nama galaksi. Galaksi dimana matahari kita sebagai salah satu bintang anggotanya dinamakan Bima Sakti ( Milky Way ).

Bima Sakti digambarkan berbentuk keping atau cakram dengan diameter 80.000 - 10.000 tahun cahaya dan tebalnya antara 3.000 - 15.000 tahun cahaya (Soendjojo.D, 1986;18). Matahari berada pada jarak 30.000 tahun cahaya dari salah satu ujungnya. Bahagian tengah galaksi ditempati oleh bintang-bintang raksasa dengan jari-jari mencapai 390 kali panjang jari-jari matahari. Bintang raksasa yang bernama Antares merupakan sebuah bintang yang berwarna merah paling terang yang terletak pada bagian perut rasi bintang Scorpio.



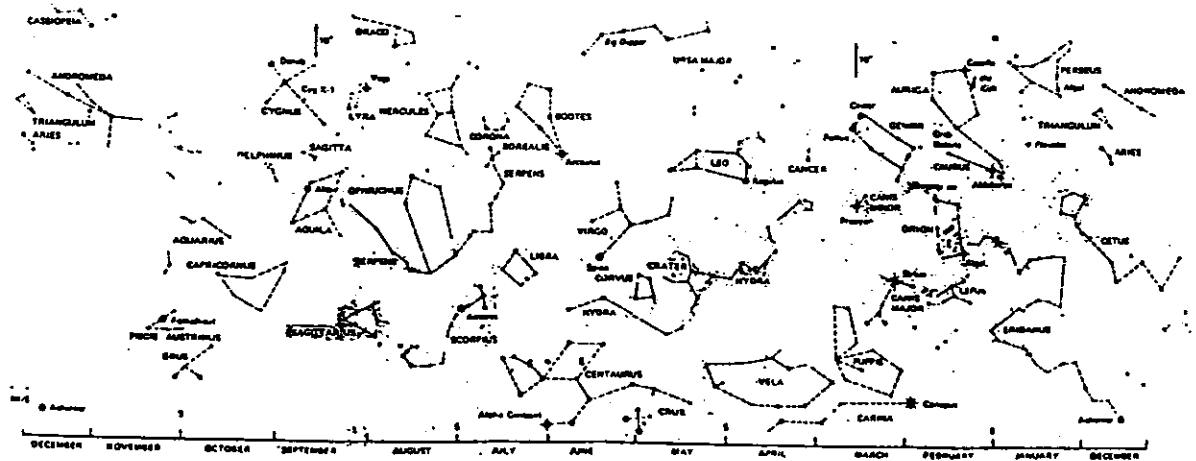
Gambar 1.1 Bagan Galaksi Bima Sakti dengan tempat matahari diantara bintang- bintang anggotanya ( Zim & Baker;112 ).

Galaksi lainnya yang dekat dengan galaksi Bima Sakti yaitu galaksi Andromeda dengan jarak 1,5 juta tahun cahaya dan galaksi Awan Magellan yang berjarak 170.000 tahun cahaya ( Winardi Sutantyo, 1983:9).

Dari bumi kita hanya dapat mengamati sebahagian saja dari galaksi bima Sakti. hal ini disebabkan karena kita berada didalamnya. Bagian dari bima sakti yang tampak itu merupakan bintang yang bertebaran di langit. Bintang-bintang ini dibebepara tempat kelihatan menggerombol. Gerombolan bintang ini disebut gugus bintang atas rasi bintang.

Nama-nama untuk gugus bintang diberikan sesuai dengan banyangan yang timbul dalam fantasi waktu melihat rasi bintang tersebut seperti Cancer, scorpio, Orion, Ursa Mayor, Cruk dan banyak lagi yang lainnya.

Ada 12 rasi bintang yang selalu lewat sekitar titik di tas kepala kita yang tinggal di daerah khatulistiwa. Deretan rasi bintang ini membentuk gelang yang dinamakan Zodiak yaitu Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Sagitarius, Aquarius dan Pisces. Waktu yang baik untuk mengamati bintang adalah pada malam hari yang cerah disaat tidak ada bulan. Dengan menggunakan peta bintang seperti gambar (1.2), kita dapat mengenal beberapa rasi bintang di langit



Gambar 1.2 Peta langit perbintangan ( Moh. Ma' mur. T, 1995:95 )

## 1.2 Fisika Dalam Jagat Raya

Hukum fisika dibuat orang untuk menjelaskan peristiwa alam yang diamati. Hukum fisika diciptakan oleh para cerdas pandai berdasarkan pengamatan dan percobaan di bumi. Berlakukah hukum itu dalam jagat raya yang maha besar ini .?

Bulan bergerak mengitari bumi dan apel jatuh kebumi adalah dua peristiwa yang berlainan. Namun Sir Isaac Newton ( 1642- 1727 ) mengemukakan, kedua peristiwa itu disebabkan oleh gaya yang sama, yaitu gaya gravitasi . Hukum gravitasi Newton mengatakan, antara dua benda yang massanya masing-masing  $m_1$  dan  $m_2$  dan keduanya terpisah oleh jarak  $r$ , terjadi gaya tarik menarik gravitasi yang besarnya dinyatakan oleh,

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (1.1)$$

$G$  sebuah tetapan yang disebut tetapan gravitasi.

Dari pengalaman, orang tahu apel jatuh ke bumi dengan percepatan  $g=9,8 \text{ m/s}^2$ .

Berdasarkan hukum mekanika Newton, yaitu gaya = massa x percepatan, pada apel bekerja gaya sebesar,

$$F = m.g, \quad (1.2)$$

Dimana  $m$  massa apel. Gaya ini tak lain gaya gravitasi antara bumi dan apel, yaitu,

$$F = \frac{G M m}{R^2} \quad (1.3)$$

Dalam persamaan ini,  $M$  massa bumi dan  $R$  jarak apel ke pusat bumi yang tak lain merupakan radius bumi karena apel jatuh di permukaan bumi. Dari persamaan (1.2) dan (1.3), diperoleh

$$M = \frac{g R^2}{G} \quad (1.4)$$

Diketahui  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ Kg}^{-2}$ ;  $R = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$

Maka massa bumi dapat kita hitung yaitu,

$$M = 5,96 \times 10^{24} \text{ Kg} \quad (1.5)$$

Bulan juga di tarik oleh bumi seperti halnya apel tadi. Mengapa bulan tidak jatuh? Jawabnya sederhana. Andaikan bulan tak mengalami gaya apapun, bulan akan bergerak lurus teratur. Bulan bergerak melingkar karena ada gaya yang bekerja padanya yang tak lain adalah gaya gravitasi bumi.

Sebuah benda dengan massa  $m$  dapat kita buat bergerak menurut lintasan lingkaran dengan radius  $a$  dan berkecepatan  $v$  bila pada benda itu diperlukan gaya yang mengarah ke pusat lingkaran yang besarnya.

$$F = \frac{mv^2}{a} \quad (1.6)$$

Gaya ini disebut gaya sentripetal. Dalam hal ini, gaya gravitasi antara bumi dan bulan bertindak sebagai gaya sentripetal itu tadi.

$$\frac{Mv^2}{a} = \frac{GMm}{a} \quad (1.7)$$

$a$  jarak bumi bulan,  $M$  massa bumi,  $m$  massa bulan. Bila bulan **mengitari** bumi dalam selang waktu  $P$  untuk putar maka  $V = 2\pi / P$ , ( $P$  disebut periode orbit bulan).

Maka persamaan (1.7) dapat ditulis dalam bentuk,

$$M = \frac{4\pi^2 a^3}{GP^2} \quad (1.8)$$



Dari pengamatan diketahui bahwa bulan mengitari bumi sekali dalam 27,3 hari; jadi  $P = 27,3 \times 3600$  sekon = 2.358.720 sekon. Sedangkan jarak bulan adalah  $384.000 \text{ Km} = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$ . Dari rumus (1.8) kita dapat menghitung massa bumi.

$$M = 6,02 \times 10^{24} \text{ kg.} \quad (1,9)$$

Bandingkan persamaan (1.5) dan (1.9) yang ternyata cocok (perbedaan hanya disebabkan karena adanya pembulatan angka). Ini menunjukkan hukum gravitasi Newton berlaku universal, ia mengatur gerak jatuh apel maupun gerak orbit bulan.

Demikian pula gerak planet mengitari matahari juga disebabkan oleh gaya gravitasi, yaitu gaya antara planet itu dengan matahari. Dengan demikian persamaan (1.7) juga berlaku untuk planet, hanya saja  $a$  merupakan jarak planet ke matahari dan  $M$  massa matahari. Kita tulis persamaan (1.8) dalam bentuk lain,

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} M \quad (1.10)$$

Harga  $a$  dan  $P$  tidak sama semua planet dalam tatasurya, namun karena semua planet mengitari matahari yang sama, ruas kanan persamaan (1.10) sama untuk semua planet. Jadi perbandingan  $a^3 / P^2$  akan sama untuk sembilan planet dalam tata surya.

Hal ini sudah diketahui oleh Johannes Kepler yang hidup seabad sebelum Newton. Tabel 1 berikut memberikan harga  $a$  dan  $P$  untuk semua planet.  $P$  dinyatakan dalam satuan tahun, sedang  $a$  dalam satuan astronomi (SA), yaitu jarak rata-rata bumi ke matahari (1 SA = 150 juta km). Perhatikan  $a^3 / P^2$  berharga satu untuk planet-planet itu. (bila ada perbedaan kecil hanya disebabkan karena pembulatan angka). Hal ini juga mendukung ke universalitas hukum gravitasi Newton.

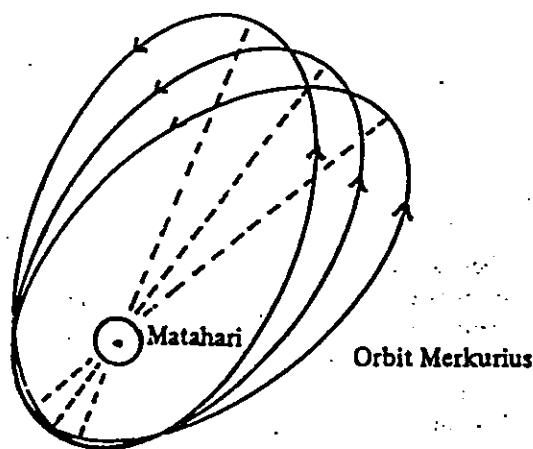
**Tabel 1**  
**Perida Dan Jarak Planet Ke Matahari**

| <b>Planet</b> | <b>a (SA)</b> | <b>P(tahun)</b> |
|---------------|---------------|-----------------|
| Merkurius     | 0,387         | 0,241           |
| Venus         | 0,723         | 0,615           |
| Bumi          | 1,000         | 1,000           |
| Mars          | 1,524         | 1,881           |
| Jupiter       | 5,203         | 11,862          |
| Saturnus      | 9,546         | 29,458          |
| Uranus        | 19,20         | 84,018          |
| Neptunus      | 30,09         | 164,78          |
| Pluto         | 39,5          | 248,4           |

Gerakan benda langit sebenarnya tidak sesederhana yang dilukiskan di atas. Lintasan atau orbit benda langit umumnya tidak berupa lingkaran melainkan berbentuk ellips. Selain itu suatu benda langit dapat mengalami gangguan pada gerakanya akibat tarikan benda-benda lainnya. Misalkan suatu komet yang mendekati matahari akan memperoleh gangguan pada gerakanya akibat tarikan gravitasi planet-planet disekitar matahari. Walaupun gerak benda langit ini rumit, hukum gravitasi Newton dapat menjelaskan gerak tersebut dengan cukup tepat. Hukum gravitasi Newton juga dapat menjelaskan gerak orbit bintang ganda, yaitu dua bintang berpasangan, bintang yang satu mengorbit bintang yang lain.

Namun hukum yang ampuh itu tidak sempurna. Planet Merkurius mengorbit matahari dengan lintasan berbentuk ellips yang eksentrisitasnya 0,2. Dari pengamatannya yang cermat, Le Verrier pada abad ke 19 mendapatkan panjang sumbu ellips orbit Merkurius tidak tetap arahnya. Sumbu panjang ini berputar dengan laju 43 detik busur per tahun ( lihat gambar 1.3). Pada mulanya Le Verrier menduga adanya planet lain yang dekat matahari dan mengganggu orbit Markurius. Le Verrier menghitung di mana kiranya planet baru berada. Seluruh observatorium di Eropa mencari planet itu, yang dinamakan Vulkan. Namun mereka tak berhasil. Akhirnya para astronomi berkesimpulan bahwa Vulkan tidak ada.

Baru pada awal abad ini, setelah Albert Einstein mengemukakan teori relativitas umumnya, gerak aneh planet Merkurius itu dapat dijelaskan. Dalam teori ini, yang juga disebut teori gravitasi Einstein, gravitasi menyebabkan melengkungnya “ ruang dan waktu” di sekitar suatu benda. Einstein membahas gerak orbit suatu benda berdasarkan geometri kelengkungan ruang dan waktu itu. Dengan tepat teori Einstein dapat menjelaskan perputaran sumbu panjang planet Merkurius.



Gambar 1.3 Pergeseran sumbu panjang ellips orbit Merkurius.

Toeri Newton tidak salah, namun kurang sempurna. Toeri Einsten menyempurnakannya. Tetapi sudah sempurnakah teori Einstein?

Eksperimen yang dilakukan dalam laboratorium di bumi tidak mencukupi. Manusia harus memperluas daya jangkauannya, bukan hanya di bumi dan sekitarnya, tetapi juga ke segala penjuru alam semesta ini.

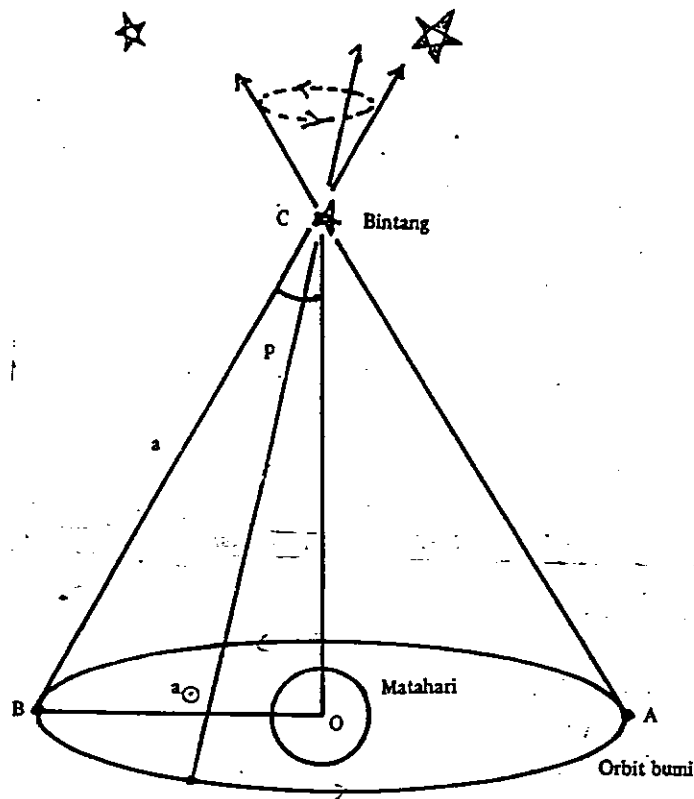
Dalam jagat raya dapat ditemui hal-hal yang tak mungkin dijumpai dalam laboratorium di bumi. Ruang hampa yang jauh lebih hampa dari ruang hampa laboratorium bumi terdapat dalam ruang antara bintang-bintang. Materi yang sangat mampat hingga per  $\text{cm}^3$  bermassa semilyar ton terdapat dalam bintang neutron. Medan gravitasi yang sangat kuat disekitar suatu black hole maupun melengkungkan "ruang-waktu" disekitarnya hingga suatu cahayapun tak dapat lepas. Tenaga dahsyat dari quasar tak pernah dapat dibayangkan dalam ukuran tenaga yang terkandung di bumi ini. Reaktor fusi ( penggabungan inti) yang stabil masih merupakan impian manusia. namun dalam alam semesta jumlah reaktor fusi tidak terhitung jumlahnya, yaitu dalam bintang-bintang.

Bahkan teori asal mula kehidupanpun sekarang dicari orang kesegala penjuru jagat raya. Bukan mustahil bila teknologi tinggi di masa akan datang berlandaskan pada pengetahuan yang lebih dalam tentang materi, ruang dan waktu yang digali bukan hanya di bumi ini saja.

### *1.3 Jarak Bintang*

Penentuan jarak bintang baru dapat dilakukan pada abad ke 19. Cara yang digunakan adalah cara paralaks trigonometri. Kita tahu bumi bergerak mengitari matahari dalam waktu setahun sekali keliling. Akibat gerak edar bumi, bintang yang dekat akan terlihat bergeser letaknya terhadap bintang yang jauh. Bintang tersebut terlihat seolah-olah menempuh lintasan berbentuk ellips yang sebenarnya merupakan pencerminan gerak bumi ( lihat gambar 1.4). sudut  $p$  dalam gambar disebut paralaks

bintang. Makin jauh letak suatu bintang makin kecil lintasan ellipsnya dan makin kecil pula paralaksnya.



Gambar 1.4 Paralaks sebuah bintang. Bila bumi bergerak dari A ke B bintang tampak bergeser letaknya sebesar dua kali paralaksnya.

Pada abad ke 16, Tycho Brahe mencoba mengamati paralaks bintang, waktu itu belum ada teropong, dengan alatnya Tycho Brahe tak berhasil mengamati adanya paralaks bintang. Maka ia berkesimpulan bahwa teori heliosentris Copernicus yang mengatakan Bumi mengitari Matahari tidak benar. Tetapi ia tidak memperhitungkan kurang-telitian alatnya.

Baru pada tahun 1838, F.W. Bessell berhasil menentukan paralaks bintang 61 Cygni. Ia mendapatkan paralaks bintang ini 0,3 detik. Bila kembali kita perhatikan Gambar 1.4 jarak suatu bintang dapat diketahui bila paralaksnya diketahui, yaitu dengan rumus,

$$\sin p = OB / BC = a_s / a \quad (1.11)$$

Di mana  $a_s$  jarak matahari,  $a$  jarak bintang. Karena  $p$  sudut yang kecil, maka kalau  $p$  dinyatakan dalam radian Pers. (1.10) dapat ditulis dalam bentuk.

$$P = a_s / a \quad (1.12)$$

Dengan menggunakan rumusan ini dapat dihitung jarak 61 Cygni, yaitu  $10^{17}$  m.

Bilangan sebesar ini sulit dibayangkan, seperti halnya kalau kita menyatakan jarak antara dua kota dalam satuan milimeter. Oleh karena itu sering digunakan satuan lain. Diketahui cahaya dalam ruangan hampa merambat dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m per sekon. Jarak yang ditempuh cahaya dalam setahun disebut satu tahun cahaya.

Mudah dihitung bahwa, 1 tahun cahaya =  $9,46 \times 10^{15}$ . Dengan satuan ini jarak 61 Cygni adalah 10 tahun cahaya.

Bintang yang tampak oleh mata dan dekat dengan kita setelah matahari adalah bintang  $\alpha$  Centauri yang paralaksnya  $0,75''$ . Dengan pers(1.12) dapat kita hitung jaraknya yaitu 4,35 tahun cahaya. Sebenarnya bintang yang terdekat dengan kita adalah Proxima Centauri. Paralaksnya  $0,76''$ , jadi hanya sedikit lebih dekat daripada  $\alpha$  Centauri. Tetapi cahaya bintang ini sangat lemah hingga tak tampak oleh mata bugil.

Dengan mengetahui jarak matahari dan bintang-bintang maka diperoleh bukti bahwa matahari sebenarnya sebuah bintang. Andaikan jarak matahari yang 150 juta km ( atau 8,5 menit cahaya) itu dijauhkan hingga 4,3 tahun cahaya seperti  $\alpha$  Centauri, maka matahari akan tampak kecil berkedip-kedip seperti bintang lainnya.

Sebaliknya bila bintang seperti  $\alpha$  Centauri didekatkan sedekat matahari, bintang ini akan tampak terang benderang seperti matahari.

Untuk membayangkan jarak bintang dan matahari, kita andaikan jarak bumi - matahari di kecilkan hingga 1 meter, dalam skala ini jarak bumi -  $\alpha$  Centauri adalah 260 kilometer.

Bila dalam pers (1.12) paralaks  $p$  dinyatakan dalam detik busur maka

$$P = 206265 a_s / a \quad (1.13)$$

( karena  $1 \text{ radian} = 206265''$  ).

Untuk menyatakan jarak bintang, astronomi sering menggunakan satuan parsec (pc). Satu parsec adalah jarak bintang yang paralaksnya 1 detik. Dari pers (1.12) jelas bahwa,

$$1 \text{ pc} = 206265 a_s = 206265 \text{ SA}, = 3,26 \text{ tahun cahaya} \quad (1.14)$$

( Winardi Sutantyo, 1983;64)

bila  $p$  dinyatakan dalam detik busur dan jarak dinyatakan dalam parsec maka pers (1.13) menjadi,

$$P = 1/a \quad (1.15)$$

Menentukan jarak bintang dengan paralaks trigonometri tidak mudah. Telah kita bicarakan, paralaks bintang terang yang terdekat dengan kita setelah matahari, yaitu Alpha Centauri, adalah  $0,75''$ . Sudut ini kecil sekali. Untuk membayangkan betapa kecilnya sudut yang dibentuk oleh ujung lidi sebesar 1 cm bila dilihat dari jarak 2 km. Jadi untuk mengukur paralaks trigonometri diperlukan alat-alat yang teliti. Cara ini hanya dapat dilakukan untuk bintang-bintang yang relatif dekat saja.

## BAB II

### CAHAYA DAN WARNA BINTANG

Disaat fajar telah tiba, kelihatan cahaya memerah di ufuk timur. Bintang-bintang yang tadinya bertaburan menghiasi langit malam, sedikit demi sedikit lenyap digantikan cahaya sang surya.

Pada siang hari kita tak dapat melihat bintang. Cahaya matahari dihamburkan atmosfer bumi mengalahkan cahaya bintang-bintang. Tetapi tidak tepat kalau dikatakan pada siang hari tak ada bintang yang dapat kita lihat karena matahari sebenarnya sebuah bintang.

#### 2.1 *Cahaya Bintang*

Bintang memancarkan energi yang antara lain berbentuk cahaya. Lensa atau cermin suatu teropong mengumpulkan energi dari bintang, kemudian memusatkannya ke titik fokus. Pada titik fokus dapat diletakkan film, atau alat lainnya untuk mempelajari cahaya yang datang dari jauh ini. Makin besar diameter lensa atau cermin suatu teropong, makin kuat daya kumpul cahayanya dan makin tinggi daya pisahnya menembus kedalaman jagat raya. Karena itu teropong bintang umumnya berukuran besar. Teropong yang besar berada di Rusia, garis tengah **cerminnya 6 m**

Ada bintang yang tampak terang dan ada pula yang terlihat lemah. Energi bintang yang tiba di bumi, pada permukaan seluas  $1 \text{ m}^2$  dalam selang waktu 1 detik, disebut fluks energi bintang itu. Sebuah bintang tampak terang bila fluks energinya besar.

Namun kuat cahaya bintang yang tampak oleh kita tidak merupakan ukuran terang sebenarnya bintang itu. Bisa saja suatu bintang sebenarnya memancarkan



energi yang relatif tidak banyak, tetapi tampak terang berhubungan letaknya yang dekat. Atau sebaliknya, sebuah bintang menghamburkan energi secara dahsyat namun dari bumi tampak lemah berhubung letaknya yang jauh.

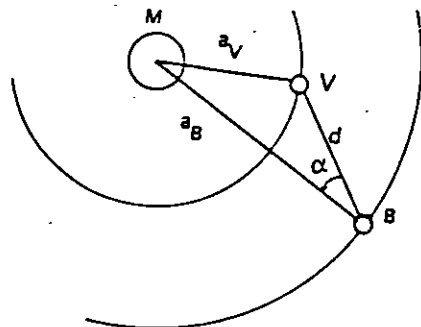
Energi yang dipancarkan bintang per detik disebut luminositas bintang. Bila Fluks merupakan pengukur kuat cahaya yang tampak dari bumi, luminositas merupakan pengukur kuat cahaya sebenarnya bintang itu.

Dinmisalkan Fluks suatu bintang E, luminositasnya L dan jaraknya a, maka

$$E = \frac{L}{4\pi a^2}$$

$$\text{atau : } L = 4\pi a^2 E \quad (\text{Soendjojo, D, 1936:24}) \quad (2.1)$$

Matahari adalah sebuah bintang. Karena letaknya yang dekat dengan bumi, maka Fluks energinya jauh lebih kuat dibandingkan dengan bintang-bintang lainnya. Jadi matahari bintang terdekat dengan kita. Berapa jauhnya? Perhatikan gambar 2.1 yang menggambarkan matahari dengan orbit bumi dan orbit venus.



Gambar 2.1 Orbit bumi dan venus mengelilingi matahari ( Winardi Sutantyo,1983;58)

Dari pengamatan diketahui bahwa periode bumi dalam orbitnya  $P_B = 365,25$  hari, sedang periode venus dalam orbitnya  $P_V = 224,7$  hari. Kita andaikan orbit bumi dan venus berupa lingkaran yang radiusnya masing-masing  $a_B$  dan  $a_V$ . Dari pers. 1.10 yaitu hukum Kepler ketiga, perbandingan  $a_V / a_B$  dapat dihitung.

$$a_V / a_B = (P_V / P_B)^{2/3} = f \quad (2.2)$$

Dari data di atas harga  $f$  diketahui, yaitu **0,72**. Pada gambar 2.1 Sudut  $\alpha$  jarak sudut Venus ke matahari dilihat dari bumi. Sudut  $\alpha$  dapat ditentukan setiap saat. Selanjutnya kita gunakan rumus cosinus dalam segitiga MBV,

$$A^2 = aB^2 + d^2 - 2 aB d \cos \alpha \quad (2.3)$$

$$F^2 a^2 B = a^2 B + d^2 - 2 daB \cos \alpha \quad (2.4)$$

Harga  $d$ , yaitu jarak bumi –Venus, dapat ditentukan dengan radar, yaitu dengan menentukan waktu yang diperlukan oleh gelombang radar untuk mencapai Venus dan kembali lagi ke bumi setelah dipantulkan Venus. Karena  $f$ ,  $\alpha$  dan  $d$  diketahui, maka jarak matahari ke bumi, yaitu  $a_3$ , dapat ditentukan.

Dalam hal sebenarnya tidak sesederhana di atas karena orbit bumi dan Venus berupa ellips, selain itu bidang orbit bumi dan Venus tidak sebidang (membentuk sudut  $3^\circ 23'$ ). Namun uraian di atas diharapkan **dapat memberikan** gambaran yang jelas. Selain itu, anggapan di atas tidak berbeda banyak dari kenyataan sebenarnya. Dari berbagai pengukuran diperoleh jarak rata-rata Matahari (sun) ke Bumi adalah :

$$a_3 = 1.496 \times 10^{11} \text{m} \quad (2.5)$$

atau sering dibulatkan sebagai 150 juta kilometer. Jarak ini disebut satu satuan astronomi (1 SA).

Dengan mengetahui jarak bumi – matahari kita dapat menentukan massa matahari dari Pers.1.10 yaitu :

$$M_s = 2 \times 10^{30} \text{Kg} \quad (2.6)$$

Bila kita bandingkan dengan massa bumi (pers.1.5 dan 1.9), kita lihat massa Matahari kira – kira 300.000 kali massa bumi.

Fluks energi matahari yang tiba di bumi adalah

$$E_e = 1,95 \text{ kalori per cm}^2 \text{ per menit}$$

$$= 1,37 \times 10^3 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (2.7)$$

Harga ini disebut *terapan matahari*. Karena jarak bumi matahari diketahui, kita dapat menghitung luminositas matahari dengan Pers. (2.1) dan didapat :

$$L_s = 3,9 \times 10^{26} \text{ W.} \quad (2.8)$$

Dengan kata lain luminositas matahari  $3,9 \times 10^{26}$  kilowatt. Energi yang dipancarkan matahari dalam sedetik sama dengan energi yang dibangkitkan oleh semua pembangkit energi buatan manusia sekarang selama 3 juta tahun.

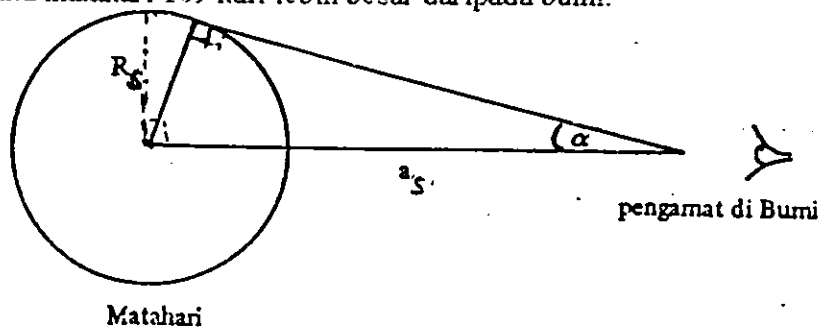
Berapakah besar matahari? Radius matahari dapat ditentukan bila radius sudut dan jaraknya diketahui. Perhatikan Gambar 2.2 radius sudut adalah sudut  $\alpha$  yang merupakan sudut pengamatan radius matahari. Jelaslah radius matahari dapat ditentukan dalam rumus,

$$R_s = a_s \tan \alpha. \quad (2.9)$$

Diketahui  $\alpha = 960''$ , jadi,

$$R_s = 6,96 \times 10^8 \text{ m.} \quad (2.10)$$

(sekitar 700.000 km). Dibandingkan dengan bumi yang radiusnya  $6,37 \times 10^6$  m, ternyata matahari 109 kali lebih besar daripada bumi.



Gambar 2.2. Radius sudut matahari

## 2.2 Magnitudo Bintang

Astronomi tak dapat terbang menuju bintang-bintang. Dilihat dengan teropong yang paling besar sekalipun, bintang-bintang hanya tampak sebagai titik-titik cahaya saja, tak ubahnya dilihat dengan mata bugil. Bedanya bintang tampak jauh lebih terang bila dilihat dengan teropong (lain halnya dengan bulan dan planet yang dapat dengan jelas dilihat permukaannya). Lalu bagaimana astronomi dapat mempelajari segala sesuatu tentang bintang ? Ini merupakan "cerita detektif" yang banyak liku-likunya.

Hipparchus pada abad ke dua sebelum Masehi membagi bintang dalam 6 kelompok berdasarkan terangnya. Bintang yang paling terang diberi magnitudo satu, yang kurang terang magnitudo dua, demikian seterusnya hingga bintang yang sangat lemah hampir tak terlihat diberi magnitudo enam. Jadi magnitudo merupakan ukuran terang bintang yang kita lihat dari bumi.

William Herschel mendapatkan bahwa kepekaan mata manusia bersifat logaritmis dan bintang yang bermagnitudo enam seratus kali lebih rendah dari pada yang bermagnitudo satu. Berdasarkan ini Pogson mendefinisikan skala magnitudo dengan lebih tegas. Misalkan bintang 1 bermagnitudo  $m_1$  dan fluks energinya  $E_1$  sedangkan bintang 2 bermagnitudo  $m_2$  dan fluks energinya  $E_2$ . Berdasarkan skala Pogson.

$$m_2 - m_1 = -2,5 \log E_2 / E_1 \quad (2.11)$$

Kita lihat bahwa dua bintang yang selisih magnitudonya lima mempunyai perbedaan fluks energi 100 kali. Perhatikan pula makin terang suatu bintang, makin kecil magnitudonya. Beberapa bintang diketahui tidak berubah-ubah cahayanya diukur magnitudonya dengan cermat dan digunakan sebagai standar magnitudo. Tabel di bawah ini memberikan magnitudo beberapa benda langit.

Tabel . 2

## Magnitudo Benda Langit

| Benda langit  | Magnitudo |
|---------------|-----------|
| Matahari      | - 26.8    |
| Bulan purnama | - 12,7    |
| Jupiter       | - 2       |
| Sirius        | 1.4       |
| Betelgeus     | 0,4       |
| Aldebaran     | 0.8       |

Dalam tabel ini magnitudo untuk planet Venus dan Jupiter diberikan pada saat terangnya maksimum.

### 2.3 *Magnitudo Mutlak*

Seperti halnya fluks energi, magnitudo bintang merupakan pengukur terang suatu bintang yang kita lihat. Karena itu orang sering menyebutnya magnitudo semu (atau disingkat magnitudo saja).

Terang sebenarnya suatu bintang dinyatakan oleh *magnitudo mutlak*. Magnitudo mutlak suatu bintang adalah magnitudo bintang andaikan diamati dari jarak 10 pc. Karena definisi ini jaraknya ditentukan tetap, magnitudo mutlak merupakan pengukur terang sebenarnya atau luminositas bintang itu.

Misalkan suatu bintang jaraknya  $d$  parsec, magnitudonya  $m$  dan magnitudo mutlaknya  $M$ . Dari rumus Pogson,

$$m - M = -2,5 \log E/E_0 \quad (2.12)$$

$E_1$  menyatakan fluks energi bintang diamati dari bumi.  $E_2$  menyatakan fluks energi bintang bila diamati dari jarak 10 pc. Dari Pers. (2.1)

$$E_1/E_2 = (10/d)^2 \quad (2.13)$$

Jadi,

$$m - M = -5 + 5 \log d \quad (2.14)$$

Ingat  $d$  jarak bintang dalam parsec.

Dengan rumus Pogson, kita dapat pula membuktikan, bila bintang 1 magnitudo mutlaknya  $M_1$  dan luminositasnya  $L_1$ , dan bintang 2 magnitudo mutlaknya  $M_2$ , maka,

$$M_2 - M_1 = -2,5 \log L_2 / L_1 \quad (2.15)$$

Dengan Pers. (2.14) kita dapat menentukan magnitudo mutlak suatu bintang bila jaraknya di ketahui. Sebagai contoh magnitudo semu matahari  $m_s = -26,8$  dan jaraknya  $d_s = (1/206265)$  pc (lihat Pers. 1.13), dari Pers. (2.14) dapat dihitung magnitudo mutlak matahari  $M_s = 4,8$ .

Kita dapat pula menentukan magnitudo mutlak bintang Sirius. Jarak bintang ini 2,7 pc (atau 8,8 tahun cahaya) dan magnitudonya  $-1,44$ , maka magnitudo mutlaknya 1,4.

Bila dilihat dari bumi, matahari 13 milyar kali lebih terang dari pada Sirius. Tetapi sebenarnya luminositas Sirius 23 kali lebih besar dari pada matahari. Dengan kata lain, bila Sirius jaraknya didekatkan hingga sedekat matahari, kita akan melihatnya 23 kali lebih terang dari matahari.

## 2.4 Warna Bintang

Kita lihat warna bintang berbeda-beda. Matahari berwarna putih kekuning-kuningan, Sirius warna biru, Betelgeuse berwarna merah. Perbedaan warna ini menunjukkan perbedaan suhu bintang.

Teori radiasi atau pancaran energi mulai dikembangkan para ahli fisika pada akhir abad ke 19 dengan mempelajari sifat radiasi pemancar sempurna atau radiasi benda hitam. Yang dimaksud dengan benda hitam adalah benda yang mampu menyerap semua energi yang jatuh padanya. Suhu benda tersebut akan naik hingga mencapai suhu keseimbangan pada mana benda memancarkan energi dengan laju yang sama dengan laju energi yang di serapnya.

Bila radiasi dilewatkan pada suatu gelas prisma, radiasi akan terurai. Cahaya yang panjang gelombangnya pendek, akan disimpangkan / dideviasikan lebih besar dari pada yang panjang gelombang panjang. Jadi cahaya ungu mengalami penyimpangan lebih besar dari cahaya merah.

Ternyata radiasi tidak didistribusikan secara merata pada seluruh panjang gelombang. Energi radiasi sebagai fungsi panjang gelombang berbeda - beda bergantung pada suhu benda. Pada suhu yang rendah, energi paling besar dipancarkan pada panjang gelombang yang panjang. Karena itu benda berwarna kemerah-merahan. Sedang pada suhu yang tinggi, sebagian besar energi dipancarkan pada daerah panjang gelombang pendek hingga warna benda terlihat lebih biru.

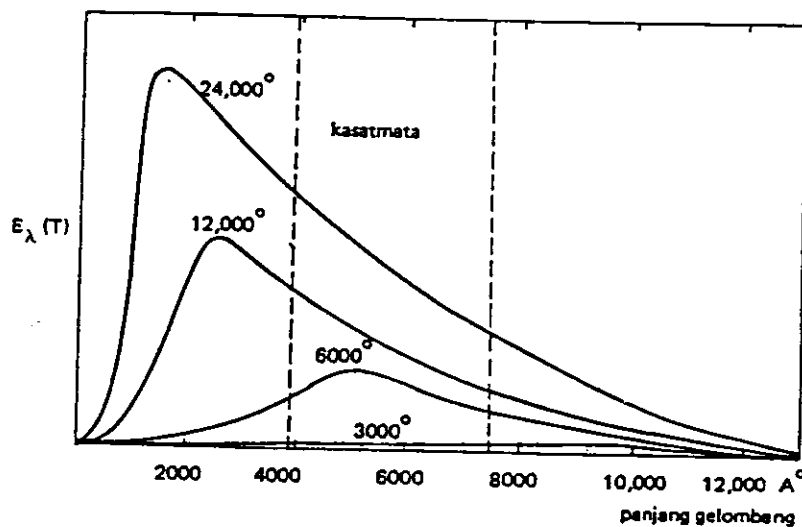
Pada awal abad ini Max Planck menerangkan gejala itu dengan teorinya yang mengatakan bahwa radiasi merupakan pancaran paket-paket energi yang disebut *photon*. Energi setiap photon adalah  $hc/\lambda$ , di mana  $\lambda$  panjang gelombang.  $h$  tetap

Planck ( $h = 6.6252 \times 10^{-34}$  Js) dan  $c$  kecepatan cahaya. Berdasarkan teorinya Planck menurunkan bahwa energi yang dipancarkan suatu benda hitam per  $m^2$  per detik dengan panjang gelombang antara  $\lambda$  dan  $\lambda + d\lambda$  adalah

$$E(\lambda, T) d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda \quad (2.16)$$

$k$  adalah tetapan Boltzmann ( $k = 1.38 \times 10^{-23}$  Jk<sup>-1</sup>),  $T$  suhu dinyatakan dalam derajat Kelvin. Pers. (2.16) disebut rumus Planck.

Gambar 2.3 menunjukkan energi yang dipancarkan benda hitam sebagai fungsi  $\lambda$  pada berbagai suhu. Perhatikan lebih tinggi suhu benda hitam, bagian terbesar energinya dipancarkan pada panjang gelombang yang lebih pendek.



Gambar 2.3 Intensitas spesifik benda hitam sebagai fungsi panjang gelombang (Winardi Sutanyo, 1983;55)

Walau bintang bukan pemancar sempurna atau benda hitam, pancaran energinya dengan baik dapat dijelaskan dengan teori radiasi benda hitam. Jadi dapat diperoleh kesimpulan bahwa bintang yang berwarna biru bersuhu tinggi sedang berwarna merah bersuhu rendah. Sebagai contoh suhu permukaan bintang biru Sirius



$10.000^{\circ}\text{K}$  sedang bintang merah Betelgeuse  $2.000^{\circ}\text{K}$  ( $\text{K}$  adalah derajat Kelvin,  $0^{\circ}\text{C} = 273^{\circ}\text{K}$ ).

## 2.5 Indeks Bintang

Kita tinjau dua buah bintang yaitu A dan B. Bintang A warnanya biru dan B berwarna kuning. Berdasarkan teori radiasi Planck, bintang A lebih panas daripada bintang B.

Pada mulanya magnitudo bintang ditentukan hanya dengan mata. Kita tahu mata terutama peka untuk cahaya kuning-hijau di daerah  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ . Karena itu magnitudo bintang yang diukur dalam daerah panjang gelombang itu disebut *magnitudo visual* atau disingkat  $m_{\text{vis}}$ . Dengan perkembangan fotografi, magnitudo bintang kemudian ditentukan secara fotografis. Pada awal fotografi, emulsi film mempunyai kepekaan di daerah biru ungu disekitar  $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ . Dalam daerah ini magnitudo disebut *magnitudo fotografis*, disingkat  $m_{\text{fot}}$ .

Kembali pada bintang A dan B. Jelas bintang A lebih terang pada pengamatan visual dibanding bila diamati secara fotografis, jadi  $m_{\text{vis}} < m_{\text{fot}}$  (ingat makin *terang* suatu bintang, makin *kecil* magnitudonya). Sebaliknya untuk bintang B,  $m_{\text{vis}} > m_{\text{fot}}$ .

Beda kedua magnitudo, yaitu  $(m_{\text{fot}} - m_{\text{vis}})$  disebut *indeks warna*. Bila tinggi air raksa dalam termometer dapat dipergunakan sebagai petunjuk suhu ruangan, indeks warna merupakan petunjuk suhu permukaan bintang. Suhu yang ditentukan dengan cara ini disebut *suhu warna*.

Pada pemotretan bintang sering digunakan pelat fotografis yaitu pelat kaca yang dilapisi emulsi fotografis. Pada mulanya pelat fotografis hanya peka untuk cahaya biru-ungu. Tetapi kemudian orang dapat membuat pelat yang peka untuk daerah panjang gelombang lain seperti daerah kuning, merah bahkan infra merah.

Pada tahun 1950, H.L. Johnson mengajukan suatu sistem magnitudo yang disebut sistem U.B.V. dinamakan U magnitudo semu pada daerah ultraviolet (di sekitar  $\lambda = 3700 \text{ \AA}$ ) B magnitudo pada daerah biru (sekitar  $\lambda = 4450 \text{ \AA}$ ), dan V magnitudo pada warna kuning (sekitar  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ ). Selisih magnitudo U-B dan B-V merupakan indeks warna yang banyak digunakan. Dalam sistem ini magnitudo mutlak di tuliskan  $M_U$ ,  $M_B$  dan  $M_V$ .

## 2.6 Suhu Efektif

Dengan Pers. (2.16) kita dapat menghitung energi total yang dipancarkan oleh  $1 \text{ m}^2$  permukaan benda hitam perdetik, yaitu dengan mengintegrasikan untuk seluruh panjang gelombang.

$$S = \int_0^\infty E(\lambda, T) d\lambda \quad (2.17)$$

Hasil integral adalah

$$S = e T^4 \quad (2.18)$$

Dalam rumus ini,

$$\begin{aligned} e &= 2 \pi^4 k^4 / 15 c^2 h^3 \\ e &= 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-4} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Pers. (2.18) disebut hukum Stefan-Boltzmann.

Bila kita mengandaikan bintang adalah sebuah benda hitam dengan radius R dan suhu permukannya T, maka luminositas bintang adalah :

$$\begin{aligned} L &= 4 \pi R^2 S \\ &= 4 \pi R^2 e T^4, \end{aligned} \quad (2.20)$$

Jadi suhu bintang dapat ditentukan bila luminositas dan radiusnya diketahui. Suhu yang ditentukan dengan cara ini disebut *suhu efektif* ( $T_e$ ). Karena bintang

sebenarnya bukan merupakan benda hitam sempurna. suhu warna dan suhu efektif umumnya tidak sama, tetapi perbedaannya tidak besar.

Pada bab 2.2 telah kita bicarakan bahwa luminositas matahari  $L_s = 3,9 \times 10^{26}$  W dan radius matahari  $R_s = 6,96 \times 10^8$  m. Dengan Pers. (2.20) dapat kita hitung suhu efektif matahari,

$$T_{e\odot} = 5800^{\circ}_2 \text{ K} \quad (2.21)$$

Pada suhu setinggi ini tak ada zat dalam keadaan padat atau cair. Matahari seluruhnya terdiri atas gas. Suhu di dalam matahari lebih tinggi lagi, suhu di pusat matahari sekitar 10 juta derajat.

## BAB III

### SPEKTRUM BINTANG

Karena letak bintang-bintang sangat jauh, cahaya bintang umumnya sangat lemah seriba di Bumi. Namun cahaya yang lembut dan bisu itu sebenarnya membawa banyak informasi tentang jagat raya dan isinya. Dituntut kemampuan manusia, seberapa jauh ia dapat menggali informasi itu.

#### *3.1 Spektrum cahaya bintang*

Pada sekitar tahun 1665, Newton menunjukkan bahwa cahaya putih sebenarnya merupakan campuran berbagai warna. Dengan melewatkan cahaya putih melalui cahaya prisma, warna putih itu akan terurai menjadi cahaya warna merah, oranye, kuning, hijau, biru dan violet. Uraian cahaya ini disebut spektrum.

Pada tahun 1802 Wollaston melihat adanya garis-garis gelap pada spektrum matahari. Fraunhofer melakukan pengamatan cermat pada garis itu dan berhasil mengkataloguskan 600 garis pada tahun 1815. Delapan tahun kemudian Fraunhofer melihat bahwa spektrum bintang juga mengandung garis-garis gelap serupa yang terdapat pada matahari. Hal ini menyokong pendapat bahwa matahari adalah sebuah bintang.

Selanjutnya orang mendapatkan bahwa garis-garis semacam itu dapat di buat di laboratorium. Pada tahun 1859 Kirchoff mengemukakan tiga hukum yang merupakan dasar spektroskopi (ilmu yang menelaah spektrum cahaya).

1. Bila suatu gas yang mampat dipajarkan maka garis itu memancarkan spektrum kontinu , artinya radiasi pada semua panjang gelombang dipancarkan.

2. Bila suatu gas yang merenggang dipijarkan maka hanya warna-warna tertentu, atau panjang gelombang tertentu saja yang dipancarkan. Misalkan dalam cahaya yang tampak mata, gas hidrogen memancarkan radiasi hanya pada panjang gelombang :

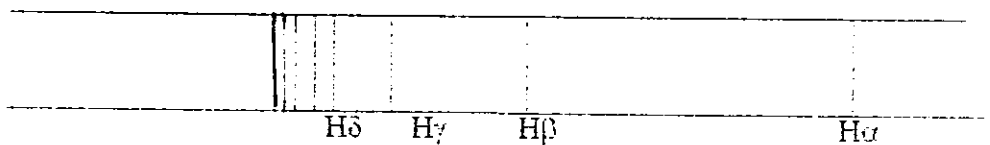
$$\lambda = 6562 \text{ \AA} \text{ disebut H } \alpha$$

$$\lambda = 4861 \text{ \AA} \text{ disebut H } \beta$$

$$\lambda = 4340 \text{ \AA} \text{ disebut H } \gamma$$

$$\lambda = 4101 \text{ \AA} \text{ disebut H } \delta$$

dan banyak lagi yang lainnya ( $1\text{\AA} = 1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$ ). Spektrum itu dipancarkan sebagai garis-garis terang sebagaimana digambarkan pada gambar 3.1. Spektrum semacam ini disebut *spektrum emisi* atau spektrum *pancaran*. Letak garis-garis itu merupakan ciri khas gas yang memancarkannya. Unsur yang berbeda memancarkan kumpulan garis yang berbeda pula. Karena itu dengan hanya mengetahui panjang gelombang suatu set spektrum garis, orang dapat menebak gas apa yang memancarkannya.



Gambar. 3.1. Deret Balmer pada Spektrum Hidrogen  
(Winardi Sutantyo, 1983,75)

3. Bila seberkas cahaya putih dengan spektrum kontinu dilewatkan melalui gas yang dingin dan renggang (bertekanan rendah), gas tersebut akan menyerap cahaya tadi pada warna-warna, atau panjang gelombang tertentu. Akibatnya akan diperoleh spektrum diskontinu, yang berasal dari cahaya putih yang

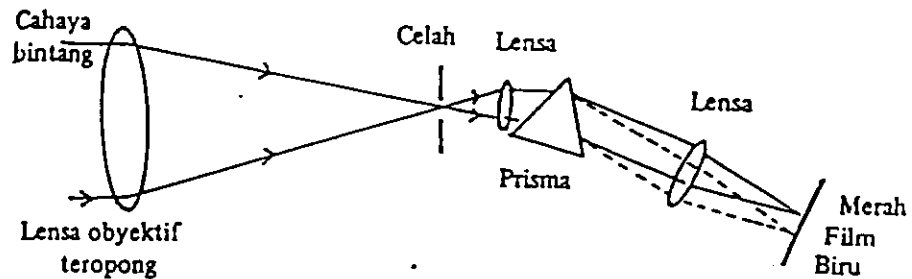
lewat itu, diseling-seling garis-garis gelap yang disebut *garis serapan* atau *garis absorpsi*. Panjang gelombang garis serapan ini sama dengan panjang gelombang garis pancaran andaikan gas tersebut dipijarkan.

Hukum Kirchhoff ini dapat menjelaskan spektrum bintang. Cahaya bintang berlatar belakang spektrum kontinu. Bagian bintang yang memancarkan spektrum kontinu disebut *fotosfir*. Fotosfir diselubungi oleh lapisan gas yang lebih dingin dan renggang yang merupakan atmosfer bintang. Lapisan gas ini, berdasarkan hukum Kirchhoff ketiga, menyerap radiasi dari fotosfir pada panjang gelombang tertentu dan membentuk garis-garis gelap atau garis absorpsi. Hal ini menerangkan terlihatnya garis-garis absorpsi pada spektrum matahari dan bintang lainnya. Dengan mempelajari garis-garis ini dapat diketahui unsur-unsur apa saja yang terdapat pada atmosfer bintang. Selain itu juga dapat diketahui keadaan fisis atmosfer itu, seperti suhunya, tekanannya dan banyak informasi lainnya.

Orang yang pertama kali mengenali beberapa garis pada spektrum bintang sebagai garis yang berasal dari unsur kimia yang diketahui di bumi adalah Sir William Huggins pada tahun 1864.

### 3.2. *Klasifikasi Spektrum Bintang*

Ada beberapa cara untuk mendapatkan spektrum bintang. Cara yang banyak dipakai sekarang adalah dengan spektrum celah yang prinsipnya digambarkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Prinsip kerja spektrograf celah

Bila spektrum berbagai bintang diamati, terlihat pola garis spektrumnya berbeda-beda. Bila seseorang menjumpai sesuatu yang beraneka ragam, cara terbaik untuk memahaminya adalah membuat klasifikasi. Pada tahun 1863 Angelo Secchi mengelompokkan spektrum bintang dalam 4 golongan dengan meninjau kemiripan susunan garis spektrumnya. Pemakaian fotografi dalam astronomi membuka kesempatan lebih luas untuk mempelajari spektrum bintang.

Dalam astronomi modern, spektrum bintang dibagi dalam kelas-kelas yang dinyatakan dengan huruf O, B, A, F, G, K, M. Untuk mengingat urutan kelas spektrum ini digunakan kalimat: "oh, be a fine girl kiss me" (Soendjojo, D, 1986; 21). Bintang kelas O, B dan A biasanya disebut bintang kelas awal, sedangkan bintang kelas K dan M disebut bintang kelas lanjut. Menurut Winardi Sutantyo (1986:88):

*"Ciri utama spektrum bintang pada setiap kelas dapat kita baca pada tabel di bawah ini, demikian juga temperatur permukaan dan warnanya.*

*Kelas O: Garis ion helium, garis oksigen, nitrogen, karbon, silikon dan lain-lain yang terionisasi beberapa kali terlihat. Garis hidrogen lemah. Temperatur >25000K. Warna biru.*

- Kelas B: Garis helium netral terlihat, garis hidrogen lebih jelas daripada kelas O. Juga terlihat garis karbon dan oksigen. Temperatur antara 25000-10000K. Warna biru.*
- Kelas A: Garis hidrogen yang terlihat pada kelas ini. Garis ion Mg, Si, Fe, Ca dan lain-lain terlihat. Garis logam netral terlihat lemah. Temperatur antara 10000-7500K. Warna biru.*
- Kelas F: Garis hidrogen lebih lemah dari kelas A tetapi masih jelas. Garis ion Ca, Fe, Cr masih terlihat. Garis logam netral terlihat. Temperatur antara 7500-6000K. Warna biru keputih-putihan.*
- Kelas G: Garis H lemah dari kelas F. Garis ion logam dan logam netral terlihat. Temperatur antara 6000-5000K. Warna putih kekuning-kuningan.*
- Kelas K: Garis logam netral jelas. Garis H lemah sekali. Pita molekul TiO terlihat. Temperatur antara 5000-3500K. Warna jingga kemerah-merahan.*
- Kelas M: Garis logam netral kuat. Pita molekul TiO jelas. Temperatur <3500 K. Warna merah”.*

Diantara kelas-kelas itu masih ada pembagian dalam sub-kelas. Misalkan antara kelas B dan A ada pembagian sub-kelas B0,B1,B2,B3,..... B9, A0.

Pada mulanya perbedaan pola spektrum ini diduga karena perbedaan susunan kimia atmosfer bintang. Tetapi kemudian diketahui bahwa penyebab utama adalah perbedaan suhu bintang. Sebagai contoh, unsur yang terbanyak terkandung di dalam bintang adalah hidrogen. Tetapi pada suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, garis yang ditimbulkan hidrogen tampak lemah. Pada suhu 10.000<sup>3</sup> K, garis hidrogen tampak paling jelas.

Bintang kelas O, B dan A disebut bintang panas sedang bintang kelas F dan M disebut bintang dingin. Matahari tergolong bintang kelas G2.

### 3.3. Diagram Herzprung Russell

Bintang-bintang yang bertaburan dilangit kelihatannya kecil saja. “Bintang kecil di langit yang tinggi”, demikian sebuah bait nyanyian anak-anak yang terkenal. Benarkah bintang-bintang itu kecil? Telah kita ketahui, bintang yang terdekat