The background of the book cover is a detailed illustration of outer space. It features a large, cratered planet (resembling Mars) on the left, a ringed planet (resembling Saturn) in the center-right, and various celestial bodies including galaxies, nebulae, and asteroids. Two bright blue comet-like streaks with glowing heads are visible in the lower-left quadrant. The overall color palette is dominated by deep blues, blacks, and the warm oranges and yellows of the celestial bodies.

ISBN 978-602-70106-9-7

DASAR - DASAR ASTRONOMI DAN FISIKA KEBUMIHAN

Riswanto, M.Pd. & Dr. H. Nyoto Suseno, M.Si.

Penerbit :
Lembaga Penelitian UM Metro Press
2015

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobilalamin, Maha besar Allah SWT karena berkat karunianya memberikan kemampuan berfikir kepada hambanya sehingga dengan kerja yang keras, cerdas dan ikhlas. Buku mengenai dasar-dasar astronomi dan fisika kebumih dapat terselesaikan. Buku ini penulis susun sebagai bentuk kepedulian penulis terhadap minimnya bacaan mengenai astronomi dan untuk menambah pengetahuan astronomi kepada para pembacanya. Secara *history* ilmu astronomi merupakan akar dari perkembangan ilmu-ilmu alam yang sekarang ini banyak mengalami perkembangan terutama bidang ilmu fisika. Astronomi berawal dari kebiasaan sebuah masyarakat dalam menandai pergantian musim menggunakan bintang untuk melakukan masa bercocok tanam. Namun semakin berkembangnya zaman, kini ilmu astronomi menjadi ilmu yang sangat penting. Terutama dalam agama islam sebagai pembuatan kalender, penentuan arah kiblat, penentuan awal puasa, haji dan idul fitri. Sedangkan secara umum untuk didalami dan menguak misteri alam semesta mengingat bahwa jagat raya ini begitu luasnya.

Di era yang semakin maju, negara-negara maju mulai membuat plot-plot wilayah di bulan untuk ditancapkan bendera kebanggaannya. Namun hal ini nampaknya sedikit berlainan dengan negara kita yang masih saja memperdebatkan mengenai kemunculan bulan. Untuk itu penulis sangat berharap melalui buku ini dapat memberikan merangsang rasa semangat belajar yang tinggi pada semua pembaca untuk lebih memahami dunia astronomi. Sehingga nantinya dapat memunculkan generasi-generasi penerus bangsa yang mampu untuk menancapkan bendera kebangsaan kita “**bendera merah putih**” di bulan, bersanding dengan bendera-bendera negara lainnya.

Buku ini ditujukan kepada para pencinta astronomi yang ingin mengetahui astronomi secara mendasar hingga kelengkapan yang lebih dalam. Sifat astronomi yang disampaikan penulis sifatnya masih dasar yang sengaja penulis siapkan sebagai modal awal pembaca dalam memahami ilmu astronomi. Di dalam buku ini

penulis melengkapinya dengan target pencapaian belajar dan soal pertanyaan kepada para pembaca agar pembaca dapat melakukan *self-assesment* untuk menilai pemahaman pembaca. Selain itu juga penulis tambahkan kamus astronomi untuk istilah-istilah astronomi yang mungkin belum diketahui pembaca.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penulisan buku ini tentunya belumlah sempurna, jika masih ditemui salah penulisan atau penyampaian kalimat yang tidak tepat, itu merupakan keterbatasan kami. Maka saran dan koreksi akan menjadi sebuah pelajaran berharga bagi penulis agar dapat melakukan perbaikan dan evaluasi yang lebih baik lagi kedepannya. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, sehingga mampu memberikan hal-hal yang positif untuk kemajuan bangsa.

Metro, Nopember 2014

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 SEJARAH PERKEMBANGAN ASTRONOMI.....	1
1.1 Astronomi dan Astrologi	1
1.2 Perkembangan Astronomi	3
1.3 Perkembangan Awal Astronomi	4
1.4 Kearifan Lokal Astronomi dan Rasi Bintang	5
1.5 Observatorium dan Planetarium di Indonesia	8
BAB II ASAL USUL TATA SURYA.....	11
2.1 Asal Usul Tata Surya dalam Pandangan Islam dan IPTEK	11
2.2 Teori Pembentukan Tata Surya.....	13
2.3 Model Sistem Tata Surya	14
2.4 Menghitung Ukuran Matahari	17
2.5 Keterkaitan Partikel Higgs dalam Penyusunan Tata Surya	18
BAB III BUMI SEBAGAI BOLA LANGIT	21
3.1 Gerak Harian Benda Langit	21
3.2 Kedudukan Bola Langit.....	23
3.3 Koordinat Langit Sebagai Penentu Koordinat Bintang dan Wilayah ...	26
3.4 Penentuan atau Perhitungan Waktu	36
3.5 Waktu Lokal dan Waktu Universal.....	38
3.6 Sistem Kalender	39
3.7 Asal-usul Kalender	40
BAB IV TATA SURYA	43
4.1 Matahari.....	43
4.1.1 Lapisan Matahari	44
4.1.2 Peristiwa dalam Matahari	45
4.2 Identifikasi Planet Berdasarkan Cirinya.....	47
4.3 Berbagai Jenis Planet	49
4.4 Posisi dan Gerak Planet.....	50
4.5 Periode Sideris dan Sinodis Planet	53
4.6 Kajian Bumi Sebagai Tempat Tinggal Mahluk Hidup	56
4.7 Sistem Keteraturan Gerak Planet.....	60
4.7.1 Gravitasi di Permukaan Bumi	62
4.7.2 Benda-benda di Luar Permukaan Bumi	65
4.7.3 Kelajuan Benda Langit dalam Mengorbit Bumi	66
4.7.4 Penemuan Johane Kepler Mengenai Bentuk Lintasan Planet	67

4.7.5 Aplikasi Hukum Kepler dan Hukum Newton.....	72
4.7.6 Orbit Lingkaran dan Kecepatan Lepas	75
4.7.7 Persamaan Energi	78
BAB V INSTRUMENTASI ASTRONOMI	83
5.1 Penyesuaian Mata dengan Keadaan Gelap.....	84
5.2 Pendukung Pengamatan Astronomi	85
5.3 Kegunaan Teleskop.....	85
5.4 Jenis dan Pembagian Teleskop	85
5.5 Gangguan dalam Pengamatan	86
5.6 Teleskop Refraktor.....	87
5.7 Teleskop Reflektor.....	88
5.8 Teleskop Catadioptrik	89
5.9 Bagian-bagian Teleskop	89
5.10 Observatorium Dunia	91
5.11 Pengamatan Bersama	92
BAB VI PROPERTI PLANET.....	93
6.1 Teknik Menghitung Massa Sebuah Planet	93
6.2 Teknik Menghitung Suhu Planet	94
6.3 Pemanasan Global.....	96
6.4 Gelombang Permukaan Bumi.....	98
BAB VII METEORID, KOMET DAN ASTEROID	101
7.1 Gerak Meteorid, Komet dan Asteroid	101
7.2 Meteorid	104
7.2.1 Meteorid Chelyabinsk	104
7.2.2 Energi Meteorid	105
7.3 Komet.....	106
7.3.1 Ekor Komet	107
7.3.2 Lintasan Komet	107
7.4 Asteroid	108
BAB VIII BULAN, GERHANA DAN TRANSIT	113
8.1 Bulan	114
8.1.1 Fase-fase Bulan	115
8.1.2 Periode Sinodis dan Sideris Bulan	117
8.2 Gerhana	118
8.2.1 Gerhana Matahari	118
8.2.2 Gerhana Bulan	120
8.2.3 Frekuensi Perulangan Gerhana	121
8.3 Transit.....	121
8.4 Okultasi	122

BAB IX MEKANIKA BINTANG	125
9.1 Jarak Bintang	125
9.1.1 Parallax	125
9.1.2 Persec	128
9.1.2 Gerak Tepat	130
9.2 Luminositas Bintang	130
9.3 Magnetudo Benda-benda Langit	131
9.4 Magnitudo Mutlak dan Magnetudo Semu Bintang	133
9.5 Warna dan Permukaan Bintang	136
9.6 UBV Fotometri	138
9.7 Diagram Bintang	139
9.8 Gerak Bintang	141
9.9 Sistem Bintang Biner	142
9.10 Massa dan Luminositas	143
BAB X EVOLUSI BINTANG	147
10.1 Proses Terbentuknya Bintang	147
10.2 Bintang Variabel	153
10.3 Raksasa Merah dan Planetary Nebula	154
10.4 Bintang Neutron	156
10.5 Lubang Hitam (<i>Black Hole</i>)	157
BAB XI TELESKOP MODERN (RADIO TELESKOP)	159
11.1 Teleskop Radio	159
11.2 Radio Interferometri	161
11.3 Radio Teleskop di Indonesia	162
11.4 Beberapa Jenis Teleskop	162
11.5 Jenis Observatorium	163
BAB XII PERAN DAN PERKEMBANGAN ILMU ASTRONOMI	165
12.1 Kalender Hijriah	165
12.2 Arah Kiblat	166
12.3 Klub Astronomi	170
12.4 Kegiatan Astronomi	171
GLOSARIUM ASTRONOMI	173
PUSTAKA RUJUKAN	188

BAB I

SEJARAH DAN PERKEMBANGAN ASTRONOMI

Muatan Isi Bab, pada bab ini, berisi mengenai proses perkembangan dan sejarah astronomi secara singkat, khususnya sejarah astronomi di Indonesia. Bab ini juga mencoba meluruskan pemahaman yang keliru yang telah beredar di kalangan masyarakat antara ilmu astronomi dengan astrologi.

Arus Tujuan Bab ini, terdapat beberapa tujuan yang diharapkan dapat dicapai oleh pembaca. Di antaranya tujuan yang diharapkan adalah penjelasan tentang perbedaan astronomi dan astrologi, memahami tahap-tahap perkembangan astronomi, menjelaskan tahap awal astronomi di dunia Islam, menyatakan bentuk-bentuk kearifan lokal astronomi dan Rasi Bintang, dan mengetahui perkembangan astronomi di Indonesia.

Materi Prasyarat Bab ini, agar lebih mudah memahami materi pada bab ini maka Anda harus memiliki pemahaman umum mengenai pengklasifikasian bidang-bidang yang termasuk dalam bidang astronomi.

1.1 Astronomi dan Astrologi

Astronomi merupakan ilmu yang mempelajari segala bentuk gejala langit dan tatanan langit yang tidak memiliki batas. Dari zaman dahulu ilmu astronomi telah berkembang pesat sebagai tuntutan terhadap kebutuhan hidup manusia dalam menandai peristiwa-peristiwa tertentu. Terdapat dua istilah yang sering digunakan manusia, yaitu astronomi dan astrologi (perbintangan). Istilah ini pada dasarnya memiliki pemaknaan dan penempatan yang berbeda dan tidak seharusnya jika di campuradukan konteks pemakaiannya. Perbedaan antara astronomi dan astrologi dikemukakan pada Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1.1 Perbedaan Astronomi dengan Astrologi

ASTONOMI	ASTROLOGI
<i>Studi tentang alam semesta yang merupakan totalitas dari semua materi, energi, ruang, dan waktu</i>	<i>Ilmu perbintangan yang secara turun temurun yang dikaitkan dengan kisah-kisah kehidupan rakyat</i>
<i>Mempelajari kondisi fisik, kimiawi, dan evolusi benda-benda langit tanpa kaitan dengan nasib manusia saat ini</i>	<i>Mempelajari pergerakan planet, bulan, matahari, dan bintang-bintang yang diyakini berkaitan dengan nasib manusia</i>
<i>Contoh : Bumi mengalami torasi dan revolusi, Penciptaan Teleskop Oleh Galileo Galilei, dan Penemuan Hukum Gerak Planet Oleh Kepler</i>	<i>Contoh : Mitos tentang kaitan kemunculan komet dengan pergantian raja atau bencana atau kaitan gerhana dengan nasib calon bayi di kandungan</i>

Sumber: Ariasti, Adrajana Wisni, et al. (1995). *Perjalanan Mengenal Astronomi*.

Prinsipnya bila fenomena alam dikaitkan dengan nasib, itu pasti bukan tafsir astronomi, mungkin lebih sesuai sebagai tafsir astrologi. Tafsir astrologi tentang fenomena astronomi sering mengundang sensasi. Dengan makin mudahnya penyebaran informasi bila tanpa disertai rasionalitas berfikir, maka dapat menimbulkan polemik terhadap kehidupan dan keyakinan seseorang. Bahkan di negara maju sekali pun ramalan-ramalan bencana struktur kaidah kalimatnya membuat orang banyak yang panik. Sebagai contoh mengenai akan datangnya hari kiamat pada tanggal 12 bulan 12 tahun 2012. Pada tanggal ini suku maya memprediksi melalui perhitungan kalendernya mengenai akan tibanya hari kehancuran dunia. Ternyata itu hanya sebuah mitos yang tidak terbukti kejadiannya yang terjadi malah terdapat badai matahari yang hanya sedikit mempengaruhi sistem komunikasi di bumi ini. Untuk itu keyakinan dan ilmu pengetahuan merupakan modal yang sangat diperlukan bagi kita agar kita terhindar dari berita-berita yang sifatnya hanya sensasi belaka.

Jika ditinjau dari tafsir astronomi terdapat tiga hal yang nyata sebagai pijakan dalam mengkaji sesuatu sebelum menyimpulkan dampak benda langit pada bumi:

1. Efek pasang surut (pasut) air laut sudah kita kenal sebagai akibat gravitasi bulan dan matahari yang menyebabkan air laut pasang dan surut secara periodik atau berkala.
2. Radiasi matahari berdampak besar pada bumi, baik dalam kaitannya dengan komunikasi radio maupun fenomena cuaca dan iklim. Bila ada peningkatan

radiasi energi tinggi dari matahari, komunikasi radio gelombang pendek bisa terputus.

3. Pancaran partikel dari matahari berupa angin/badai matahari atau debu komet berdampak pada satelit-satelit yang mengorbit bumi. Planet-planet pun tidak memancarkan radiasinya sendiri. Radiasi dari planet-planet tergantung pancaran radiasi matahari. Demikian juga tidak ada pancaran partikel dari planet-planet yang mencapai bumi.

Jadi, sangat tidak beralasan untuk mengaitkan pengelompokan planet-planet dengan bencana di bumi. Sama halnya yang mengaitkan penampakan komet dan gerhana dengan nasib manusia. Sehingga seharusnya tidak ada pencampuran antara keduanya.

1.2 Perkembangan Astronomi

Sebagai sumber awal titik mula berkembangnya ilmu astronomi diperoleh dari bangsa Arab, dengan istilah ilmu An-Nujum yang digunakan untuk merujuk ilmu astronomi dan ilmu astrologi. Setelah itu, astronomi berkembang menjadi beberapa kajian ilmu di antaranya yaitu:

1. Al-Falak (ilmu navigasi langit yang mempelajari bentuk bola langit, ilmu falak saat ini lebih banyak digunakan dalam penentuan arah kiblat)
2. Al-Hay'a (ilmu yang mempelajari mengenai susunan benda-benda langit). Dalam masyarakat muslim, astrologi terus dipraktikkan dan untuk menggambarkan dan mendorong perkembangan pengetahuan astronomi.

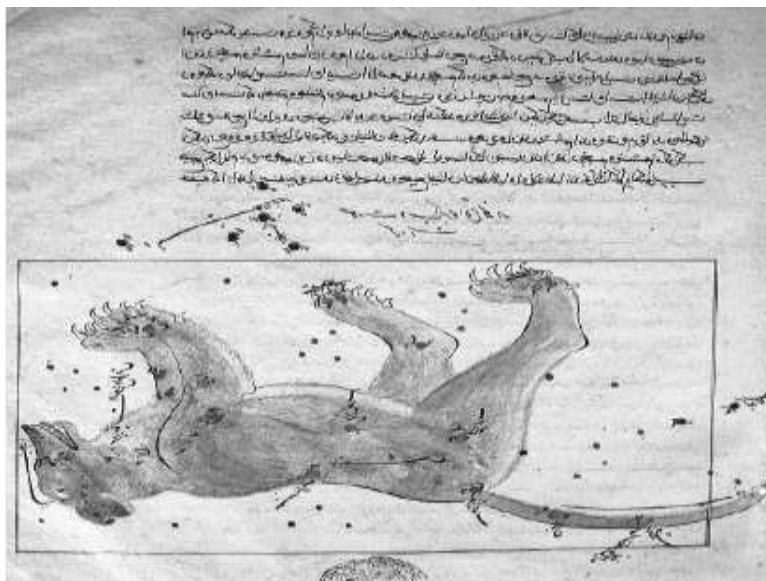
Sekitar abad keenam SM, para pemikir Yunani kuno memiliki beberapa pandangan ilmuan mengenai tata surya di antaranya yaitu:

1. Pandangan bahwa bumi sebagai pusat tata surya, mereka berpandangan bahwa bumi merupakan bola langit yang diam dan merupakan pusat dari alam semesta ini sedangkan bintang-bintang, bulan dan matahari menempel pada bola langit dan beredar mengelilingi matahari ini dikenal dengan dengan nama *geosentris*, yang dikemukakan antara lain oleh *Aristoteles* (350 SM), dan *Ptolomeus* (140 SM).
2. Anggapan *geosentris* ini telah ditentang oleh *Aritachus* (300 SM) yang menyatakan bahwa matahari sebagai pusat jagat raya ini. Baru pada delapan belas abad kemudian pada tahun 1500, seorang pemikir Polandia *Nicolaus Copernicus*, mengemukakan teori bahwa planet mengelilingi matahari dan bumi ini adalah salah satu dari planet tersebut, pandangan ini dinamakan pandangan *heliosentris*.

Setelah berhasil diciptakannya teleskop oleh Galileo Galilei, maka manusia dapat membuka matanya untuk dapat melihat alam semesta yang luas. Maka pada akhirnya disepakati bahwa matahari merupakan pusat dari sistem tata surya kita. Penciptaan teleskop ini memberikan dampak yang luar biasa terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang astronomi. Salah satunya yaitu didapati bahwa bumi selain mengitari matahari (berevolusi) juga berputar pada sumbunya yang disebut dengan istilah rotasi, karena rotasi bumi dan bentuknya bulat menyerupai telur mengakibatkan gerak harian yaitu gerak terbit dan terbenamnya bintang dan benda langit lainnya.

1.3 Perkembangan Awal Astronomi

Sebelum Islam, pengetahuan bangsa Arab mengenai bintang hanya sebatas pembagian tahun dalam periode yang tepat atas dasar kenaikan bintang dan pengaturannya (anwa). Terjemahan teks bahasa Arab pertama adalah dalam bahasa teks dari India dan Persia. Karya-Karya asli astronomi Arab diproduksi pada sepanjang masa transisi. Berikut ini adalah salah satu karya bangsa arab dalam ilmu perbintangan yang ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Karya Ilmu Perbintangan Bangsa Arab

Al-Qonum dan al-Mas'udi merupakan astronom terkenal, pada masa Al-Biruni (973-1048M) merupakan puncak dari tahap pertama dalam pengembangan astronomi Arab. Setelah masuknya Islam dalam kebudayaan bangsa arab maka hal-hal yang berkaitan dengan astronomi adalah masalah yang berkaitan dengan ibadah

Islam seperti menentukan waktu shalat, waktu matahari terbit dan terbenam dalam kaitannya untuk berpuasa, arah kiblat, visibilitas bulan sabit (awal bulan) dan perhitungan kalender. Selain itu dengan hasil karya berupa gambar astrolab, kuadran, kompas kotak dan grid kartografi.

1.4 Kearifan Lokal Astronomi dan Rasi Bintang

Masyarakat Indonesia sebagian besar adalah masyarakat dengan mata pencaharian sebagai petani. Hal ini menyebabkan mereka mengenal dan belajar astronomi sehubungan dengan pertanian. Sedangkan sebagian masyarakat lainnya yang memiliki mata pencarian lain akan menamai rasi bintang sesuai dengan imajinasinya masing-masing. Beberapa bentuk imajinasi konstelasi dalam bentuk hal-hal pertanian seperti Waluku (Orion), Kalapa Doyong (Scorpio), Sapi Gumarang (Taurus), dan Wuluh (Pleiades), dll. Dan dalam bentuk pelayaran misalnya pari atau gubuk penceng (Crux) dan lintang biduk. Imajinasi setiap masyarakat tentunya pasti akan berbeda-beda maka setiap daerah tentunya akan memiliki nama yang berbeda-beda pula, di bawah ini disajikan beberapa bentuk dari kearifan lokal budaya Indonesia di antaranya yaitu:

1. Dalam menjelaskan gerhana bulan yang terjadi pada saat bulan purnama dikenal sebuah cerita rakyat yaitu Raksasa (Batara Kala) menelan bulan, dimana masing-masing daerah di Indonesia tentunya memiliki versi yang berbeda-beda menurut kebudayaan daerahnya.
2. Rasi bintang Waluku (Orion) yang dikenal oleh masyarakat Jawa bentuknya menyerupai luku sehingga yang muncul pada saat dimulainya musim tanam, sehingga rasi bintang ini digunakan sebagai penanda datangnya musim tanam dan sebagai penunjuk arah barat karena muncul di bagian barat bumi.
3. Lintang Kartika (*Pleiades*), Lintang Pari (*Crux*) berfungsi sebagai penunjuk arah mata angin dan penunjuk arah selatan, rasi bintang biduk sebagai penunjuk arah barat dan rasi bintang Scorpio sebagai penunjuk arah timur.
4. Selain itu juga terdapat kisah yang diceritakan oleh teman satu kampus saya yang berasal dari Indonesia timur tepatnya daerah Bima dan Sumbawa, mengenai munculnya hewan sejenis cacing bersinar di setiap bulan purnama.
5. Ada lagi menurut kepercayaan masyarakat Jawa kuno, pada musim kemarau kabut ini melewati zenith, membentang dari timur ke barat, menyerupai

sepasang kaki yang mengangkangi Bumi. Kaki ini adalah milik Bima, anggota keluarga Pandawa yang diceritakan dalam pewayangan Mahabharata. Demikian besar tubuhnya dan betapa saktinya ia, sehingga kabut itu dinamakan Bima Sakti, sebuah nama yang hingga saat ini masih kita gunakan untuk menamai gumpalan kabut tersebut yaitu Bimasakti,

6. Dan juga terdapat relief matahari dan bintang di Borobudur. Pola stupa utama bayangan yang menjelaskan bahwa Borobudur dapat digunakan untuk menentukan waktu. Riset Irma Hariawang, mahasiswa ITB astronomi (2012)

Rasi Bintang atau **konstelasi** merupakan kumpulan bintang yang tampak berhubungan dan saling terkait kemudian membentuk suatu konfigurasi dengan pola khusus. Susunan rasi bintang memang tidak resmi, namun dikenal luas oleh masyarakat tapi tidak diakui oleh para ahli astronomi atau Himpunan Astronomi Internasional disebut **asterisma**. **Hal ini dikarenakan pada rasi bintang atau asterisma jarang yang mempunyai hubungan astrofisika mereka hanya kebetulan saja tampak berdekatan di langit yang tampak dari bumi dan biasanya terpisah sangat jauh.** Himpunan Astronomi Internasional telah membagi langit menjadi 88 rasi bintang resmi dengan batas-batas yang jelas, sehingga setiap arah hanya dimiliki oleh satu rasi bintang saja. Kita dapat melihat berbagai rasi bintang dan penamaan sesuai dengan katalog Mesir dengan berbantu beberapa software di antaranya *software stelarium*, *software castelestia* dan *Sky Map pada Android*.

Sebenarnya pola bintang maupun galaxy bima sakti/milky way (istilah Yunani) dapat kita lihat dengan mata tanpa bantuan teleskop, namun pada kondisi atmosfer yang cerah dan belum tercemar perbandingannya dapat dilihat pada gambar 1.2. Bila kita menatap langit cerah yang tanpa noda akibat pengaruh debu dan polusi udara CO₂ maka akan terlihat warna langit dan bintang-bintang yang berada di dalamnya. Namun saat ini sebagian besar dari kita, telah hidup di bawah kanopi udara dan keadaan udara yang tercemar. Polusi udara perkotaan ini menjadikan kita akan sulit untuk melihat bintang dengan jelas. Pada belahan bumi (*hemisfer*) utara, kebanyakan rasi bintangnya didasarkan pada tradisi Yunani, yang diwariskan melalui Abad Pertengahan, dan mengandung simbol-simbol Zodiak.



Gambar 1.2. Perbedaan Atmosfer Langit Cerah dengan Langit Polusi

Pesona langit selatan pada bulan februari pada malam pukul 21.00, kita dapat mengamati berbagai jenis bintang yang di antaranya yaitu:

1. Bintang *Betelgeus*, bintang terang kemerahan
2. Bintang *Bellatrix*, ke arah barat dari bintang *betelgeuse* dengan warna bintang biru
3. Bintang *Rigel*, sedikit menyilang dari arah *betelgeuse* terdapat bintang terang berwarna biru
4. Pada arah tenggara terdapat bintang yang palig terang yaitu bintang *Sirius*
5. Arah utara bintang sirius terdapat bintang *Procyon* yang sejajar dengan *betelgeus*.
6. Arah barat laut terdapat kelompok bintang biru rapat dinamakan rasi bintang *peliades*.

1.5 Perkembangan Observatorium Planetarium di Indonesia

Penelitian dalam bidang Astronomi pada era Kolonial Belanda terutama hanya difokuskan pada database kartografi dan waktu. Pada masa ini hanya sedikit ilmuwan mendedikasikan waktu mereka untuk melakukan penelitian untuk peningkatan ilmu pengetahuan. Salah satu tokohnya yaitu *Jean Oudemans*, setelah menyelesaikan studi doktornya dalam astronomi (1857), beliau pergi ke Belanda untuk bekerja di Indie Kartografi. Dia juga berhasil mengamati kegaiban bintang dan gerhana. Pada dekade kedua abad kedua puluh, astronom menyadari bahwa mereka perlu teleskop besar untuk mengamati galaksi.

Kemudian Mereka membangun teleskop di bagian utara dan belahan bumi selatan. *Joan Voute*, pada tahun 1920, mereka mengusulkan untuk membangun observatorium di *Belanda-Indie*. *Joan Voute* memiliki hubungan yang kuat dengan pemerintah *Belanda* dan *Leiden Astronom*. Selain itu, dia juga memiliki hubungan dengan pemilik perkebunan teh di Bandung, *Karel Albert Rudolf Bosscha* dan *Rudolf Albert Kerkhoven*.

K.A.R Bosscha adalah salah satu orang kaya di Jawa. Ayahnya adalah seorang fisikawan dan ibunya adalah putri pemilik perkebunan teh di Jawa. Ia juga donor dari *Technische Hogeschool te Bandoeng*. Selain itu ia mendirikan *Nederlandsch Indische – Sterrenkundige Vereeniging* sebagai klub/organisasi pencinta astronomi. Kemudian ia membangun Observatorium *Bosscha* pada tahun 1930.

Selain itu, juga terdapat *Mohr Observatory* dibangun oleh *Johann Mauritz Mohr* (1716-1775) di *Batavia* pada 1765. Dia adalah seorang ilmuwan Belanda dan juga merupakan Pendeta Kristen. *Mohr Observatory* ini digunakan untuk mengamati transit Venus (4 Juni 1769), transit Merkurius (10 November 1769), pengukuran curah hujan, dinamika angin dan deklinasi magnetis Batavia. Tidak seperti *observatory boscha* yang sampai saat ini masih terpelihara keberadaannya, *observatory mohr* yang dibangun di Batavia hancur akibat adanya bencana alam.

Saat ini keberadaan observatorium peninggalan Belanda ini menjadi observatorium yang banyak digunakan oleh ahli astronomi di Indonesia sebagai pusat penelitian. Di Indonesia ilmu astronomi sangat memegang peranan penting dalam agama Islam yaitu sebagai penentu arah kiblat.

KH Ahmad Dahlan selaku pendiri organisasi Islam Muhammadiyah adalah ulama yang peduli untuk membuat koreksi arah kiblat tentang Masjid di Indonesia. Ilmu astronomi di Indonesia digunakan dalam penentuan awal bulan Ramadhan atau awal puasa untuk melihat kemunculan hilal dan perhitungan dalam kemunculan

hilal atau bulan baru. Di bawah ini beberapa Observatorium Planetarium di Indonesia.

1. Observatorium Bosscha,
2. Observatorium Dan Planetarium Jakarta,
3. Planetarium TNI AL Surabaya,
4. Tenggarong Planetarium,
5. Planetarium Taman Pintar Yogyakarta,
6. Observatorium Pesantren As Salam Solo

PERTANYAAN

1. Mengapa kita tidak boleh mencampuradukkan kejadian astronomi dengan astrologi?
2. Mengapa rasi bintang tidak termasuk ke dalam ilmu astronomi ?
3. Jika kita tinggal di wilayah pedesaan pada malam hari yang cerah kita dapat melihat variasi bintang di langit dengan sangat jelas, mengapa hal ini tidak bisa kita dapatkan di daerah perkotaan?
4. Pada zaman dahulu untuk melakukan musim tanam maka para petani indonesia dapat memperkirakannya melalui ilmu perbintangan yang mereka pelajari secara turun temurun. Namun saat ini ilmu perbintangan ini tidak banyak digunakan kembali. Berikan analisismu?
5. Dalam Islam, terdapat banyak perkara keagamaan yang diatur menggunakan ilmu astronomi. Sebutkanlah perkara yang dimaksud?
6. Dalam sebuah cerita rakyat penamaan galaxy sistem tata surya kita diambil dari sebuah cerita rakyat yaitu oleh orang jawa disebut *galaxy* bima sakti dan oleh orang yunani disebut *milky way*. Jelaskan secara singkat asal usul penamaan tersebut?
7. Terdapat 2 observatorium di zaman hindia belanda yang dikembangkan dan satu diantaranya saat ini masih memegang peranan penting dalam perkembangan astronomi di indonesia. Apa tujuan dibangunnya observatorium tersebut pada zaman tersebut?
8. Berikanlah sebuah analisis mengapa di indonesia tidak membangun sebuah observatorium yang baru dan canggih, namun hanya mengembangkan abservatorium peninggalan belanda (observatorium Bosscha)!

9. Tuliskan sebuah cerita yang beredar di daerah tempat tinggalmu atau cerita pernah kamu dengar yang kamu anggap sebagai bagian dari astrologi?
10. Di setiap masing-masing negara memiliki konstelasi astronomi yang bermacam-macam sesuai dengan keadaan langitnya, lalu apakah ada kemungkinan sebuah negara memiliki konstelasi yang sama namun hanya berbeda nama?

BAB II

ASAL USUL TATA SURYA

Muatan Isi Bab Ini, bagian bab ini mencoba menjelaskan dan bercerita mengenai asal usul dan proses penciptaan tata surya yang muncul dari berbagai pendapat ahli astronomi. Selanjutnya bab ini juga berusaha mengungkap kebenaran dari setiap teori yang muncul dengan memberikan bukti-bukti ilmiah.

Arus Tujuan Bab Ini. Melalui bab ini maka diharapkan setelah mempelajari bab ini anda mampu menjelaskan asal sistem surya dalam pandangan Islam dan iptek, menunjukkan model dari asal sistem tata surya, menjelaskan bukti-bukti dari asal sistem tata surya, menghitung ukuran dari matahari, menjelaskan radiasi benda hitam pada bola langit, dan memahami keterkaitan partikel tuhan (*higgs particle*) dalam asal usul sistem tata surya.

Pemahaman Prasyarat untuk menguasai bab ini. Dalam memperlancar pemahaman anda pada bab ini, maka hal yang harus Anda kuasai yaitu mengenal sistem tata surya.

2.1 Asal Sistem Surya dalam Pandangan Islam dan IPTEK

Di dalam QS Fushshilat 41:1 yang artinya “Kemudian Dia menuju kepada penciptaan langit dan langit itu masih merupakan asap, lalu Dia berkata kepadanya dan kepada bumi: “Datanglah kamu keduanya menurut perintah-Ku dengan suka hati atau terpaksa”. Keduanya menjawab: “Kami datang dengan suka hati”. Dalam QS Al – Sajdah 32:4 . “Alloh lah yang menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dalam enam masa, Kemudian dia bersemayam di atas ‘Arsy. Tidak ada bagi kamu selain dari padanya seorang penolongpun dan tidak (pula) seorang pemberi syafa’at, maka apakah kamu tidak memperhatikan.

Sebagai seorang muslim kita meyakini ayat di atas menjelaskan bahwa Allah sebagai Tuhan Yang Maha Esa yang menciptakan langit dan bumi dalam periode tertentu. Sedangkan pada gagasan kuno menyatakan bahwa alam semesta merupakan kumpulan materi berukuran tak terhingga yang telah ada sejak dulu kala dan akan terus ada selamanya. Berakar pada kebudayaan Yunani Kuno, dan mendapat penerimaan yang meluas di abad 19, sistem berpikir ini menjadi terkenal dalam bentuk paham Materialisme dialektika *Karl Marx*. Para penganut

materialisme meyakini model alam semesta tak hingga sebagai dasar berpijak paham ateis mereka. Paham *atheis* (paham yang tidak meyakini adanya Tuhan dalam kehidupan mereka “manusia”).

Namun, sains dan teknologi yang berkembang di abad 20. *Edwin Hubble*, Ketika mengamati bintang-bintang dengan teleskop raksasa, ia menemukan bahwa mereka memancarkan cahaya merah sesuai dengan jaraknya. Hal ini berarti bahwa bintang-bintang ini “bergerak menjauhi” kita. Sebab, menurut hukum fisika yang diketahui, spektrum dari sumber cahaya yang sedang bergerak mendekati pengamat cenderung ke warna ungu, sedangkan yang menjauhi pengamat cenderung ke warna merah. Selama pengamatan oleh Hubble, cahaya dari bintang-bintang cenderung ke warna merah. Ini berarti bahwa bintang-bintang ini terus-menerus bergerak menjauhi kita.

Agar lebih mudah dipahami, alam semesta dapat diumpamakan sebagai permukaan balon yang sedang mengembang. Sebagaimana titik-titik di permukaan balon yang bergerak menjauhi satu sama lain ketika balon membesar, benda-benda di ruang angkasa juga bergerak menjauhi satu sama lain ketika alam semesta terus mengembang. Sebenarnya, fakta ini secara teoritis telah ditemukan lebih awal. *Albert Einstein*, berdasarkan perhitungan yang ia buat dalam teori fisika, telah menyimpulkan bahwa alam semesta tidak mungkin statis. Tetapi, ia menyimpan penemuannya ini, hanya agar tidak bertentangan dengan model alam semesta statis yang diakui secara luas waktu itu. Di kemudian hari, Einstein menyadari tindakannya ini sebagai ‘kesalahan terbesar dalam karirnya’.

Mengembangnya alam semesta berarti bahwa jika alam semesta dapat bergerak mundur ke masa lampau, maka ia terbukti berasal dari satu titik tunggal yang kemudian mengalami ledakan besar. Ledakan raksasa yang menandai permulaan alam semesta ini dinamakan ‘*Big Bang*’, dan teorinya dikenal dengan nama tersebut. Demikianlah alam semesta muncul menjadi ada dari ketiadaan. Dengan kata lain, ia telah diciptakan. Fakta bahwa alam ini diciptakan, yang baru ditemukan fisika modern pada abad 20, telah dinyatakan dalam Alqur’an 14 abad lampau: “Dia Pencipta langit dan bumi” (QS. Al-An’aam, 6:101)

Setelah pembentukan alam semesta melalui ledakan raksasa, sisa radiasi yang ditinggalkan oleh ledakan ini haruslah ada di alam. Selain itu, radiasi ini haruslah tersebar merata di segenap penjuru alam semesta. Radiasi ini, yang disebut ‘radiasi latar kosmis’, tidak terlihat memancar dari satu sumber tertentu, akan tetapi meliputi keseluruhan ruang angkasa. Demikianlah, diketahui bahwa radiasi ini adalah sisa radiasi peninggalan dari tahapan awal peristiwa *Big Bang*. Segala bukti meyakinkan ini menyebabkan teori *Big Bang* diterima oleh masyarakat ilmiah.

Model *Big Bang* adalah titik terakhir yang dicapai ilmu pengetahuan tentang asal muasal alam semesta. Begitulah, alam semesta ini telah diciptakan oleh Allah Yang Maha Perkasa dengan sempurna tanpa cacat.

2.2 Teori Pembentukan Tata Surya

Kita tak akan pernah mengetahui bagaimana penciptaan tata surya yang sebenarnya dan bagaimana prosesnya. Tapi seiring berkembangnya ilmu pengetahuan manusia, muncullah berbagai teori tentang terjadinya tata surya. Di antara teori tersebut adalah:

1 *Teori Nebulae (Kant dan Leplace)*

Tata surya berasal dari kabut panas yang berpilin. Karena pilinannya itu berupa kabut yang membentuk bentuk bulat seperti bola yang besar. Makin mengecil bola itu, makin cepat pula pilinannya. Akibatnya bentuk bola itu memampat pada kutubnya dan melebar di bagian ekuatornya, bahkan sebagian massa gas di ekuatornya itu menjauh dari gumpalan intinya yang kemudian membentuk gelang-gelang dan berubah menjadi gumpalan padat. Itulah yang disebut planet-planet dan satelitnya. Sedangkan bagian inti kabut tetap berbentuk gas pijar yang kita lihat seperti sekarang ini.

2 *Teori Awan Debu (van Weizsaecker)*

Teori ini mengemukakan bahwa tata surya terbentuk dari gumpalan awan gas dan debu. Sekarang ini di alam semesta bertebaran gumpalan awan seperti itu. Salah satu gumpalan awan itu mengalami pemampatan. Pada proses pemampatan itu partikel-partikel debu tertarik ke bagian pusat awan itu, membentuk gumpalan bola dan mulai berpilin. Lama-kelamaan gumpalan gas itu memipih menyerupai bentuk cakram yang tebal di bagian tengah dan lebih tipis di bagian tepinya. Partikel-partikel di bagian tengah cakram itu kemudian saling menekan, sehingga menimbulkan panas dan menjadi pijar. Bagian inilah yang disebut matahari. Bagian yang lebih luar berputar sangat cepat, sehingga terpecah-pecah menjadi banyak gumpalan gas dan debu yang lebih kecil. Gumpalan kecil ini juga berpilin. Bagian ini kemudian membeku dan menjadi planet-planet dan satelit-satelitnya.

3 *Teori Planetesimal (Moulton dan Chamberlin)*

Teori ini mengatakan, matahari telah ada sebagai salah satu dari bintang-bintang. Pada suatu masa, ada sebuah bintang berpapasan pada jarak yang tidak terlalu jauh. Akibatnya, terjadilah peristiwa pasang naik pada permukaan matahari maupun bintang itu. Sebagian dari massa matahari tertarik ke arah bintang.

Pada waktu bintang itu menjauh, sebagian dari massa matahari itu jatuh kembali ke permukaan matahari dan sebagian lagi terhambur ke ruang angkasa sekitar matahari. Hal inilah yang dinamakan planetesimal yang kemudian menjadi planet-planet yang akan beredar pada orbitnya.

4 Teori Pasang-Surut (*Jeans dan Jeffreys*)

Mereka melukiskan, bahwa setelah bintang itu berlalu, massa matahari yang lepas itu membentuk bentuk cerutu yang menjorok ke arah bintang. Kemudian, akibat bintang yang makin menjauh, massa cerutu itu terputus-putus dan membentuk gumpalan gas di sekitar matahari. Gumpalan-gumpalan itulah yang kemudian membeku menjadi planet-planet. Teori ini menjelaskan, apa sebab planet-planet di bagian tengah, seperti Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus merupakan planet raksasa, sedangkan di bagian ujungnya, Merkurius dan Venus di dekat matahari.

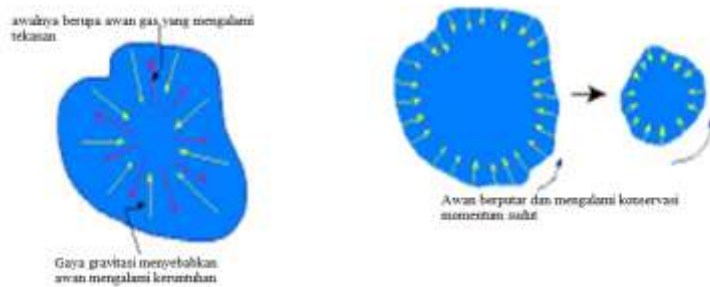
5. Teori Bintang Kembar

Teori ini hampir sama dengan teori planetesimal. Dahulu matahari mungkin merupakan bintang kembar, kemudian bintang yang satu meledak menjadi kepingan-kepingan. Karena ada pengaruh gaya gravitasi bintang, maka kepingan-kepingan yang lain bergerak mengitari bintang itu dan menjadi planet-planet. Sedangkan bintang yang tidak meledak menjadi matahari.

Dari berbagai teori yang ada kita meyakini bahwa sistem tata surya kita terdiri dari matahari dan sejumlah benda langit lainnya yang saling terikat sebagai akibat dari pengaruh gaya gravitasional. Benda-benda langit itu diantaranya yaitu asteroid, komet, satelit, gas, dan mikroskopik antar-planet. Dengan mengacu pada prinsip hukum gaya gravitasi Newton maka matahari sebagai pusat tata surya kita.

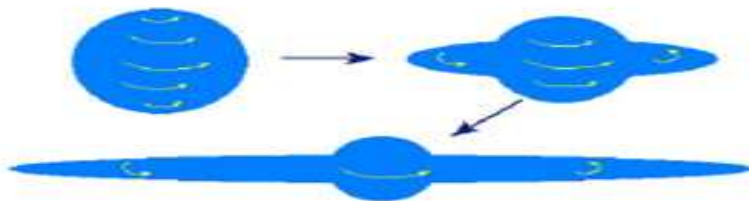
2.3 Model Sistem Tata surya

Pada tahun 1970-an, Astronom Soviet *Victor Safronov* mengusulkan Surya Nebula Disk Model (SNDM). Tata surya berasal dari runtuhnya awan gas besar, sekitar 4,6 tahun miliar tahun yang lalu. Kemudian sebuah bagian kecil dari awan molekul raksasa mengalami keruntuhan gravitasi. Awan tersebut mulai berputar lebih cepat karena konservasi momentum sudut. Skala waktu untuk runtuhnya awal adalah kira-kira 106 tahun. Ilustrasi kejadiannya dapat dilihat pada gambar 2.1



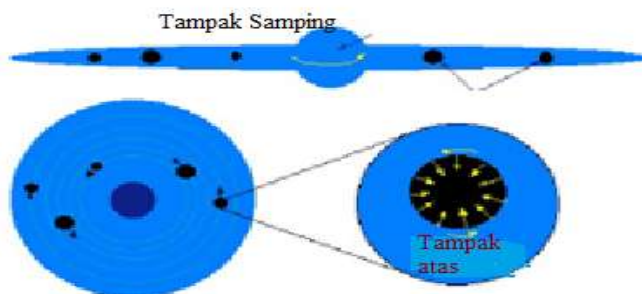
Gambar 2.1 Tahapan dari awan runtuh

Kemudian Awan terus berputar hingga mencapai titik puncak putarannya, sehingga keadaan awan terlihat seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Awan runtuh mengalami konservasi momentum sudut

Sebagai nebula runtuh lebih lanjut, daerah setempat mulai berkontraksi dengan gravitasinya sendiri karena ketidakstabilan awan dalam berputar runtuh. Sesuai dengan keadaan lingkungannya kemudian awan dan inti pusat putaran (matahari), maka terbentuklah planet-planet dengan keadaan yang menyesuaikan dengan keadaan suhu dan jarak terhadap matahari. Keadaannya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Awan berkontraksi dengan gravitasinya sendiri

Sebagai akibat dari radiasi matahari, maka tata surya bagian dalam itu terlalu hangat untuk molekul-molekul seperti air dan metana untuk mengembun. Sementara itu, planet-planet yang terbentuk memiliki karakter yang berbeda-beda sesuai dengan keadaan pembentukannya dan lingkungannya. Ada planet yang ukurannya relatif kecil dan sebagian besar yang terdiri dari senyawa dengan titik leleh tinggi, seperti silikat dan logam. Ada juga planet dengan bentuk yang memiliki cicin, ada yang memiliki ukuran yang besar dan planet yang memiliki air di dalamnya. Masing-masing planet tercipta dengan keadaan karakter yang berbeda. Mungkin yang menjadi pertanyaan kita apakah terdapat sistem tata surya yang serupa dengan sistem tata surya kita?, dengan asumsi bahwa kita mengetahui alam semesta ini luas sekali.

Sebagai contoh, dengan mengacu pada hukum gravitasi *Newton* dan sifat dari teori model tata surya maka dapat ditunjukkan fakta dari model yang diajukan tersebut yaitu di antaranya.

1. Beberapa pendapat mengatakan bahwa merkurius dan venus tidak memiliki satelit karena ketika terbentuk satelit gaya gravitasinya terlalu kecil sehingga akan tertarik ke matahari.
2. Antara mars dan jupiter terdapat sabuk asteroid yang membatasinya.
3. Jupiter dan Saturnus menangkap materi jauh lebih banyak daripada terrestrial planet (Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars) sehingga ukurannya lebih besar dan memiliki gaya gravitasi yang besar.
4. Jupiter dan Saturnus menjadi planet raksasa dan mengandung persentase terbesar hidrogen dan helium. Uranus dan Neptunus ditangkap kurang banyak materi. Jupiter, saturnus, uranus dan neptunus memiliki gaya gravitasi yang cukup besar sehingga jumlah satelitnya relatif lebih banyak karena gaya gravitasi ini menangkap material asteroid yang mendekatnya. Lama kelamaan asteroid yang berada disekelilingnya karena pengaruh gravitasi dari planet akan berputar dan berpilin membentuk satelit yang baru.
5. Bumi menjadi satu-satunya planet yang memiliki keadaan yang dapat dihuni oleh makhluk hidup karena memiliki air dengan warna laut yang biru. Sehingga bumi sering dijuluki planet biru atau planet air. Asumsi untuk menjawab mengapa bumi memiliki air, adalah karena jarak bumi terhadap matahari yang sangat ideal maka memungkinkan bumi dengan rotasi dan revolusi yang sesuai sehingga menjadikan bumi memiliki atmosfer dengan kuantitas yang ideal. Dari keadaan ini kemudian atmosfer menjaga keadaan suhu di dalam bumi untuk memungkinkan terbentuknya air.

2.4 Menghitung Ukuran Matahari

Dengan menggunakan prinsip hukum Newton dan prinsip-prinsip koordinat bola maka kita dapat menghitung ukuran sebuah planet. Diameter = $R\theta$, dengan R adalah jarak Matahari-Bumi, θ merupakan arcmin di langit. Dengan perhitungan massa dan massa jenisnya adalah:

<>MengitungMassa

$$\frac{MmG}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{MmG}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{MG}{R^2} = \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

$$\text{Sehingga } M = \frac{Rv^2}{G}$$

$$\text{Untuk menghitung Volume} \Rightarrow V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (2)$$

$$\text{Menghitung density/Kerapatan} \Rightarrow \rho = \frac{M}{V} = \frac{\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}}{V} = \frac{4\pi^2 R^3}{VGT^2} \quad (3)$$

Maka jika $v = \frac{2\pi R}{T}$ sehingga dengan melakukan substitusi pada persamaan 1 maka

akan ditunjukkan hasil nilai massa matahari adalah

$$\frac{MmG}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{MmG}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{MG}{R} = v^2 \quad (4)$$

$$G = \frac{Rv^2}{M} \text{ sehingga } G = \frac{R \left(\frac{2\pi R}{T} \right)^2}{M} = \frac{4\pi^2 R^3}{MT^2}$$

Planet juga memiliki radiasi yang dipancarkan yang dapat dideteksi menggunakan teleskop radio dengan prinsip radiasi benda hitam, maka pada radiasi planet juga berlaku:

1) Hukum Wien

$$\lambda_{\text{maxs}} = \frac{2.897 \times 10^{-3} \text{ mK}}{T} \quad (5)$$

dengan λ_{maxs} adalah panjang gelombang maksimum dan T adalah suhu dalam satuan K

2) Hukum Stefan–Boltzmann

$$E = \sigma AT^4 \quad (6)$$

dengan σ adalah konstanta universal (konstanta Stefan-Boltzman), A adalah luasan permukaan benda dan T adalah suhu

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

$$\lambda_{\text{max}} = 500 \text{nm}$$

2.5 Keterkaitan Partikel Higgs dalam Penyusunan Tata Surya

Pada akhir tahun 2013 marak dibicarakan di segala penjurur media mengenai penemuan partikel penyusun masa yang dikenal dengan partikel higgs. Penemuan partikel subatomik ini berdampak luas pada perkembangan ilmu pengetahuan modern dan pemahaman umum tentang alam semesta dan mengukuhkan teori *Big Bang* mengenai asal usul penciptaan alam semesta oleh Sang Pencipta Allah SWT. Para fisikawan mendefinisikan setidaknya lima implikasi terbesar dari penemuan partikel Higgs sebagai berikut:

1. Asal Usul Massa

Higgs boson berkaitan dengan medan Higgs dan mekanisme Higgs. Teorinya, setiap partikel yang melewati medan Higgs akan memperoleh massa, seperti perenang yang bergerak melalui kolam renang akan basah. ***“Jika tidak ada mekanisme seperti itu, maka semuanya akan menjadi tak bermassa”***. Penemuan Higgs boson semakin menegaskan bahwa mekanisme Higgs bagi partikel untuk memperoleh massa sudah benar.

2. Model Standar

Model Standar adalah teori fisika partikel yang menjelaskan konstituen terkecil alam semesta, yakni partikel. Dengan ditemukannya Higgs boson, semua partikel yang diprediksi oleh Model Standar telah lengkap. ***“Higgs boson adalah bagian yang hilang dalam Model Standar”***. Penemuannya akan menjadi konfirmasi bahwa teori-teori yang kita miliki sekarang benar

3. Gaya Dasar Alam Semesta

Penemuan Higgs boson bakal membantu menjelaskan tentang penyatuan dua gaya dasar di alam semesta. Dua gaya itu adalah gaya elektromagnetik yang mengatur interaksi antara partikel bermuatan, serta gaya lemah yang bertanggung jawab untuk peluruhan radioaktif. Setiap gaya di alam semesta

berhubungan dengan partikel. Partikel yang terikat dengan elektromagnetisme adalah foton, dengan ukuran kecil dan tak bermassa. Sedangkan gaya lemah dikaitkan dengan partikel yang disebut boson W dan Z yang massanya sangat besar.”Jika Anda menaruh boson W dan Z pada medan Higgs, keduanya akan bercampur dan memperoleh massa,” kata Strandberg. “Hal ini menjelaskan mengapa boson W dan Z memiliki massa, sekaligus menyatukan gaya elektromagnetik dan gaya lemah”.

4. *Supersimetri*

Teori lain yang terpengaruh oleh penemuan Higgs disebut supersimetri. Idennya adalah setiap partikel yang dikenal memiliki partikel “*superpartner*” dengan karakteristik yang sedikit berbeda. Teori supersimetri menjadi menarik karena dapat membantu menyatukan beberapa gaya di alam semesta, bahkan menawarkan calon partikel yang membentuk materi gelap. Besarnya massa *Higgs-boson* bakal menentukan kebenaran teori ini. ”Jika *Higgs-boson* ditemukan pada massa yang rendah, teori supersimetri masih layak. Para Ilmuwan masih harus membuktikan bahwa supersimetri memang ada,”.

5. *Validasi LHC*

Large Hadron Collider (LHC) adalah akselerator partikel terbesar sejauh ini. Mesin seharga US\$ 10 miliar ini dibangun untuk menyelidiki adanya energi yang lebih besar ketimbang yang pernah dicapai di Bumi. Menemukan *Higgs boson* disebut-sebut sebagai salah satu tujuan pembuatan LHC.

PERTANYAAN

1. Sebutkan beberapa fakta yang menunjukkan bahwa teori bigbang merupakan teori yang paling tepat untuk menjelaskan asal-usul terbentuknya tata surya?
2. Dari beberapa teori pembentukan tata surya, pilih satu teori yang dapat diambil dan memiliki fakta yang jelas?
3. Model dari suatu sistem tata surya diambil dari peristiwa awan kabut yang terpin dan membuat cakram, jelaskan apa yang menyebabkan awan kabut dapat terpin dan membuat cakram?
4. Berdasarkan model sistem tata surya kita dan teori pembentukannya, mengapa planet merkurius dan venus tidak memiliki satelit dan mengapa planet jupiter, saturnus, uranus dan neptunus memiliki jumlah satelit yang banyak?

5. Pada tahun 2012 kita mendengar berita mengenai munculnya badai matahari. Apakah yang menyebabkan terjadinya badai matahari dan apa dampak yang ditimbulkan bagi kehidupan di bumi?
6. Sebutkan 3 kejadian yang dialami matahari dan sebutkan pula manfaatnya bagi bumi?
7. Penemuan partikel higgs memberikan dampak besar terhadap ilmu pengetahuan saat ini. Apakah kaitannya partikel higgs dengan teori pembentukan tata surya?

BAB III

BUMI SEBAGAI BOLA LANGIT

Muatan Isi Bab Ini. Bagian bab ini mencoba menjelaskan secara detail mengenai koordinat bumi sebagai koordinat bola. Bab III ini menjelaskan posisi benda langit dengan mengangap bahwa bumi memiliki kubah langit yang berisi ribuan bintang yang terlihat bergerak dari timur ke barat melawan arah rotasi bumi. Serta menampilkan banyak visualisasi gambar koordinat bumi dan menjelaskan mengenai sistem penanggalan (kalender).

Target Pencapaian Belajar. Setelah mempelajari bab iii ini, maka anda diharapkan dapat menjelaskan gerak harian benda langit, menggambarkan letak tinggi dan azimuth bintang dari suatu tempat di bumi, mengetahui nama lingkaran langit dan koordinat langit, mengetahui posisi suatu tempat melalui kedudukan suatu bintang, membedakan waktu bintang dan waktu surya, mengetahui waktu lokal dan waktu universal, dan menjelaskan sistem kalender julian, kalender gregorian dan kalender hijriah

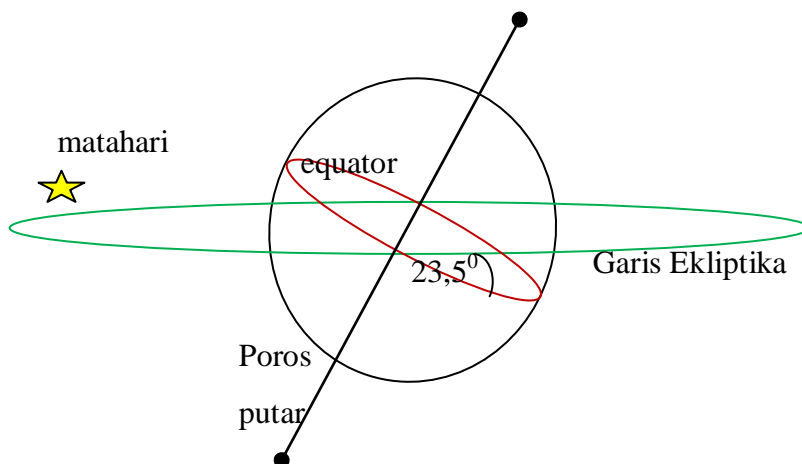
Materi Prasyarat. Materi prasyarat diperlukan penguasaan pemahaman mengenai pengertian bujur, lintang, equator, ekliptika, untuk memperlancar pemahaman kita mengenai posisi geografis suatu wilayah dan posisi sebuah bintang dari letak geografis tertentu.

3.1 Gerak Harian Benda Langit

Telah saya singgung dalam bab sebelumnya mengenai beberapa rasi bintang yang dikenal oleh masyarakat. Rasi bintang banyak digunakan sebagai acuan masyarakat dalam melakukan cocok tanam atau navigasi dalam sebuah pelayaran. Dengan acuan dari bumi maka setiap waktu ke waktu keberadaan posisi bintang akan berubah karena bumi berevolusi terhadap matahari. Ketika kita memandang langit ke atas maka kita akan mendapati bahwa langit bagaikan sebuah kubah raksasa yang meyelimuti bumi kita. Sementara bintang-bintang, bulan, dan

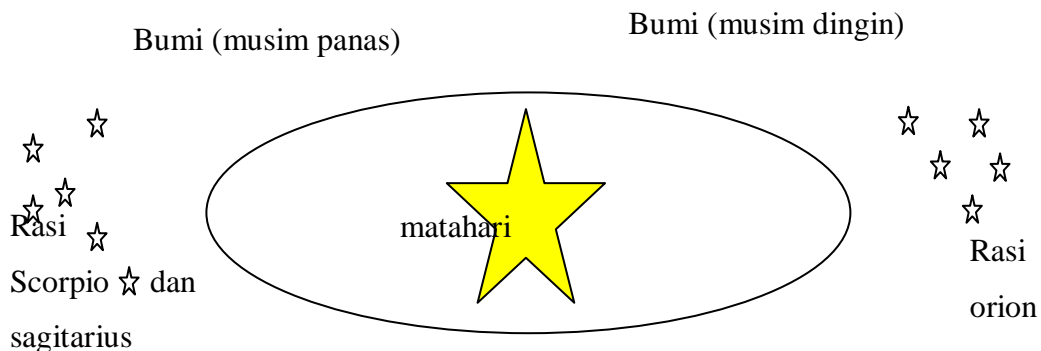
matahari akan terlihat menempel padanya. Dengan asumsi kubah ini berbentuk bulat karena kita tahu bahwa bumi kita berbentuk bulat. Benda-benda langit ini akan terlihat selalu bergerak dari arah timur ke barat selama 24 jam dalam satu kali putaran bumi. Gerak benda langit dapat kita nikmati pada malam hari yang cerah dengan daerah tanpa polusi. Jadi dapat diartikan gerak harian benda langit merupakan gerak benda-benda langit selama 24 jam.

Bumi mengalami rotasi selama 24 jam yang mengakibatkan terjadinya pergantian siang dan malam. Dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengitari matahari selama 365,25 hari. Rasi bintang yang selalu bergiliran ketika muncul sebenarnya karena pada saat berevolusi posisi bumi mengalami perubahan. Misalnya pada musim dingin akan terlihat rasi bintang orion dan pada musim kemarau akan terlihat rasi bintang scorpio dan sagitarius. Kemiringan sumbu bumi terhadap ekliptika adalah sebesar $23,5^{\circ}$. Karena pengaruh evolusi bumi maka bagian yang menghadap matahari bumi senantiasa berubah. Inilah penyebab mengapa bumi selalu mengalami perubahan musim setiap tahunnya. Kemiringan bumi dapat kita gunakan untuk menentukan posisi matahari terhadap posisi kita ketika di bumi. Semisal pada musim dingin (*winter soltice*), posisi matahari terhadap bumi tepat pada keadan $23,5^{\circ}$ berada di bawah equator bumi. Maka dengan mudah ketika kita berada pada keadaan 50° terhadap horizon. Maka posisi matahari yaitu $16,5^{\circ}$ di atas kita pada siaang hari. Sebagai gambaranya maka dapat diperlihatkan melalui gambar berikut ini.



Gambar 3.1 Sistem perputaran bumi terhadap ekliptika

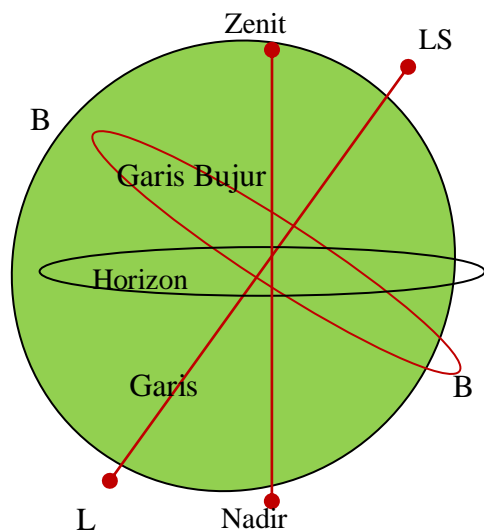
Garis ekliptika menjelaskan mengenai evolusi bumi terhadap matahari dengan poros putar merupakan rotasi bumi. Sementara untuk keadaan rasi bintang pada saat musim dingin dan panas di bumi adalah sebagai berikut pada gambar 3.2.



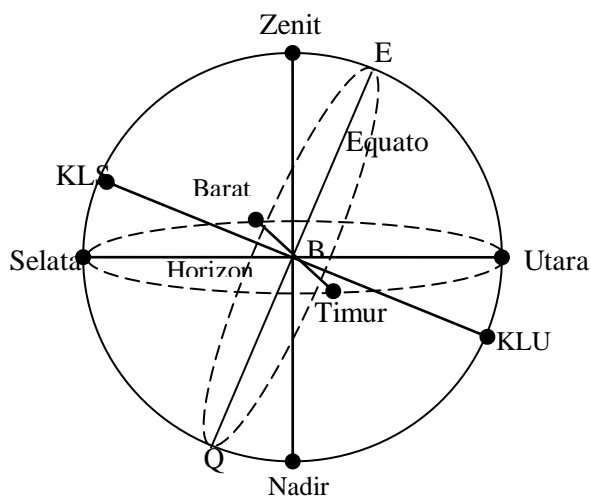
Gambar 3.2 Posisi bintang pada saat musim panas dan musim dingin

3.2 Kedudukan Bola Langit

Alam semesta begitu luas, sehingga kita pun hanya bisa memprediksi bentuk dari alam semesta ini. Dengan mengasumsikan bahwa langit yang luas sebagai bentuk dari sebuah bola yang besar dengan fakta bahwa bumi berbentuk bola dengan lintasan elips (hampir bola). Sehingga dapat kita gambarkan bahwa alam semesta ini berbentuk bola.



Gambar 3.3 Koordinat Bumi

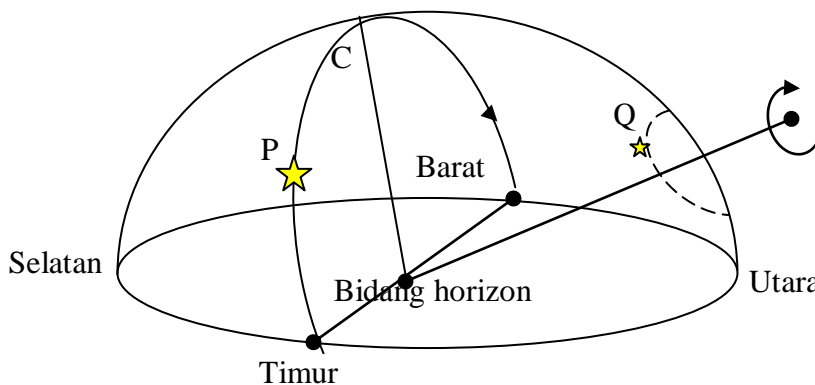


Gambar 3.4 Meridian Langit

Pada Gambar 3.3 merupakan bentuk pengambaran dari koodinat bumi. Garis lintang merupakan garis yang memotong sumbu ke arah utara dan selatan bumi yang ditunjukkan pada simbol LS (lintang selatan) dan LU (Lintang utara). Sedangkan garis bujur adalah garis yang membujur dan memotong tegak lurus garis lintang yang disimbolkan dengan BB (Bujur Barat) dan BT (Bujur Timur). Sementara Zenit adalah garis yang tegak lurus ke atas terhadap horizon, dengan asumsi horizon adalah bidang mendatar pada permukaan bumi tempat kita berada. Dan Nadir adalah garis tegak lurus terhadap horizon yang berada di bawah horizon bumi artinya berada di bawah kita. Sehingga dapat diartikan Zenit adalah kebalikan dari nadir.

Pada Gambar 3.4 menjelaskan mengenai kutub dan equator dari meridian (bola langit). Dengan kerangka acuan pusat adalah titik B pada seluruh titik perpotongan. Kita dapat mengetahui posisi equator langit yang memotong tegak lurus equator bumi (asumsikan B adalah Bumi) begitu halnya dengan kutub Utara dan selatan juga saling berpotongan. KLU (kutub lintang utara) meridian atau bola langit dan KLB (kutub lintang barat) bola langit. Gambar menunjukkan adanya perpotongan antara U dan S bola langit terhadap U dan S bumi dengan posisi tegak lurus.

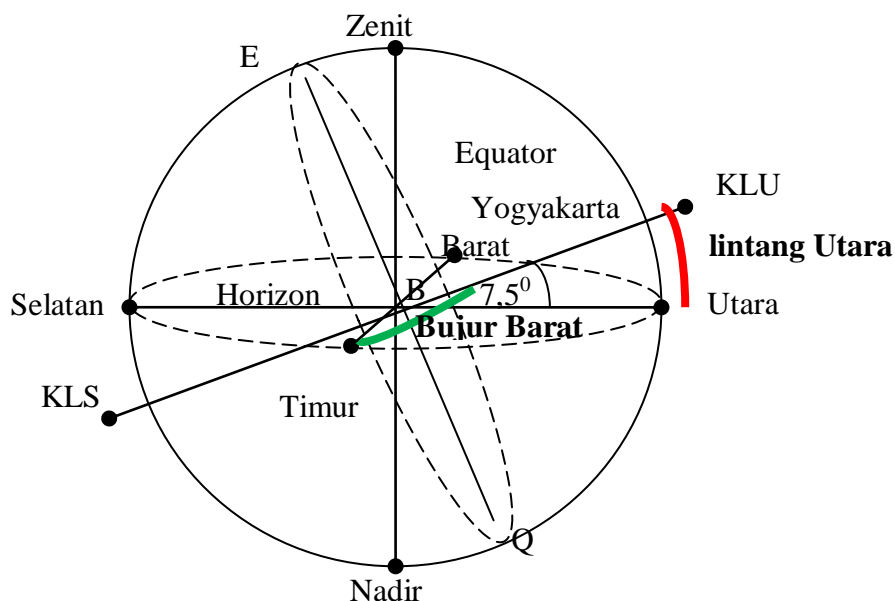
Bumi berputar membutuhkan waktu 23 jam 56 menit 4 detik, dengan arah putaran dari barat ke timur dengan porosnya yaitu pada kutub utara dan selatan. Dengan asumsi bahwa bintang menempel pada bola langit maka ketika kita memandang ke langit, bintang-bintang dan benda langit akan bergerak ke arah yang berlawanan yaitu dari timur ke barat. Perhatikan gambar berikut ini,



Gambar 3.5 Sistem tinggi dan azimuth

Pergerakan benda langit dari timur ke barat seperti bintang pada titik P, dapat dikatakan terbit di timur dan tenggelam di barat. Pada titik C, bintang P akan

mencapai puncak tertinggi yang disebut **kulminasi**. Namun terdapat pula bintang yang lintasannya berbentuk lingkaran dan berada di atas horizon seperti pada bintang Q, bintang ini tidak akan pernah terbenam dan dinamakan bintang **sirkumpolar**. Berdasarkan gambar 3.4, kita juga dapat mengetahui kemiringan sumbu putar bola langit. Bagi pengamat yang berada di belahan bumi utara maka KLU berada di atas horizon dan KLS berada di bawah horizon. Besarnya busur dari horizon sampai ke kutub langit disebut tinggi kutub. Seperti misalnya kota yogyakarta (tempat saya kuliah tepatnya di UAD) berada pada $7^{\circ}48'5''LU$ $110^{\circ}21'52''BT$. Maka KLU akan berada (pembulatan) $7,5^{\circ}$ di atas horizon. Jadi, tinggi kutub merupakan lintang geografis suatu tempat. Semakin ke utara posisi pengamatan maka akan semakin tinggi lintang pengamatan dan semakin banyak ditemui bintang sirkumpolar atau bahkan bintang yang dijumpai hanya bintang sirkumpolar pada daerah kutub sehingga dapat diartikan posisi langit tegak lurus terhadap horizon dan lintasan semua bintang sejajar terhadap bintang horizon. Maka di daerah kutub bumi kedudukan benda langit adalah sejajar. Sedangkan untuk daerah equator seperti di Pontianak (Kalimantan) daerah khatulistiwa, semua bintang lintasannya membentuk $\frac{1}{2}$ lingkaran dan tidak dijumpai bintang sirkumpolar. Lebih jelasnya dapat diperhatikan pada Gambar 3.6



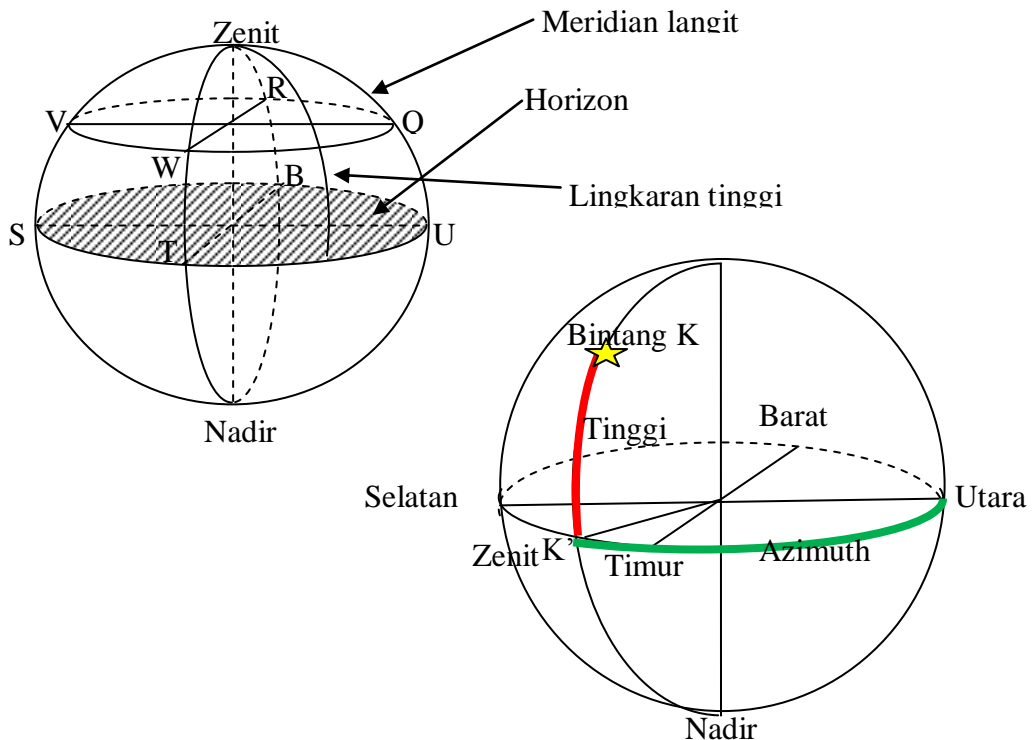
Gambar 3.6. Lintang Pengamat (Yogyakarta)

3.3 Koordinat Langit sebagai Penentu Koordinat Bintang dan Wilayah

Posisi suatu tempat dapat ditentukan dengan menggunakan acuan bola langit, begitu halnya dengan posisi bintang. Sebagai contoh yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu kota Yogyakarta. Koodinat suatu bintang pada permukaan bola langit dapat ditentukan dengan menetapkan lingkaran dasar dan titik asal koordinat. Terdapat 3 jenis koordinat yang dapat kita gunakan yaitu koordinat horizon, koordinat equator, dan koordinat ekliptika.

1. Koordinat Horizon

Dalam pengaturan koordinat horizon posisi benda langit ditentukan melalui ketinggian dan azimuth. Tinggi benda langit yang menyatakan busur vertikal dari benda sampai ke horizon. Sedangkan azimuth adalah besarnya busur pada horizon yang dihitung dari titik utara ke arah timur searah jarum jam. Berdasarkan gambar 3.7, azimuth bintang ditunjukkan pada titik utara menuju ke K' dan tinggi bintang merupakan titik K menuju ke titik K'. Dari pola ini kita dapat menghitung besarnya posisi bintang terhadap zenit dengan cara $Z = 90 - t$.



Gambar 3.7 Koordinat horizon bintang

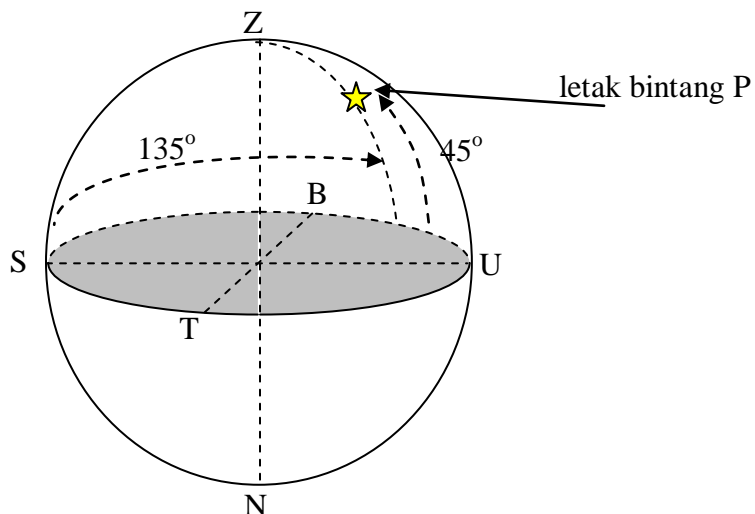
Karena bumi mengalami rotasi maka sebagai pengamat yang berada pada titik wilayah tertentu kita akan melihat posisi bintang akan berubah setiap saatnya sehingga tinggi t dan azimuth bintang pun akan mengalami perubahan. Maka diperlukan tata koordinat yang tidak menyebabkan hal tersebut. Perlu dipilih koordinat lingkaran dasar dan titik asal pada bola langit yang sifatnya tetap.

Berikut ini dapat saya sajikan sebuah langkah-langkah yang dapat kita lakukan dalam menggambarkan posisi dari sebuah letak bintang dengan menggunakan sistem koordinat horizon.

- 1) Azimut bintang (az^*) adalah busur pada horizon, ***diukur dari titik selatan menuju/melalui titik barat*** ampai ke proyeksi bintang itu pada horizon Besarnya ($0^\circ - 360^\circ$).
- 2) Tinggi bintang (tg^*) adalah busur pada lingkaran tinggi yang melalui bintang itu. Diukur dari proyeksi bintang itu pada horizon sampai ke letak bintang itu. nilainya 0 s.d. $+90$ diatas horizon, dan 0 s.d. -90 dibawah horizon.

Perhatikan contoh berikut ini!!

Lukis pada bola langit letak bintang yang memiliki $tg^*P = 45^{\circ}$, $az^* = 135$



Gambar 3.8. Letak bintang P pada $tg^*P = 45^\circ$, $az^* = 135$

Di dalam tata koordinat horison, posisi benda langit berubah setiap saat karena semua benda langit "beredar". Benda-benda langit berpindah posisi di langit, ada yang terbit, tenggelam dan sebagainya seolah-olah benda-benda langit itu beredar mengitari bumi. Seolah-olah bintang-bintang menempel pada bola langit dan bola langit itu berotasi mengelilingi bumi. Padahal sesungguhnya tidak demikian. Kita memperoleh kesan bahwa benda-benda itu mengitari bumi karena bumi yang berotasi terhadap sumbunya.

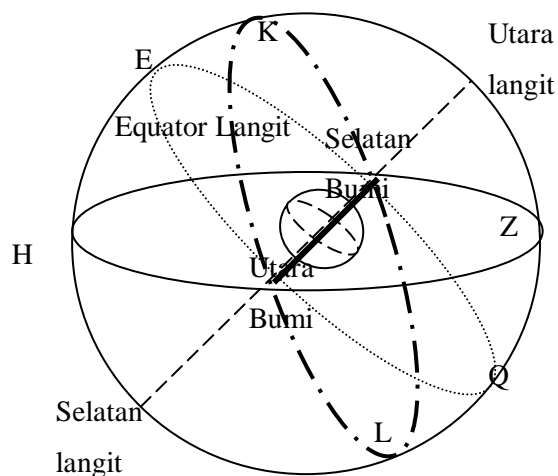
Jika bumi tidak berotasi, maka kita akan tahu bahwa hanya bulan yang benar-benar beredar mengelilingi bumi. Posisi bintang-bintang akan tampak tetap di langit, kalau pun berubah hanya sedikit bergeser dalam beberapa tahun. Planet-planet akan tampak "berkelana" di antara bintang-bintang yang posisinya tetap dan matahari akan terbit setahun sekali. jadi sesungguhnya jika kita dapat menggunakan posisi-posisi yang tetap pada bola langit sebagai kerangka acuan maka kita dapat memperoleh koordinat benda langit yang praktis tidak berubah-ubah. Berdasarkan pemikiran ini dibuatlah tata koordinat ekuator, dengan maksud agar koordinat benda langit tidak bergantung pada waktu.

2. Koordinat Equator

Tata koordinat equator banyak digunakan dalam penentuan kedudukan sebuah bintang karena koordinat lingkaran dasar dan titik asal bola langitnya bersifat tetap. Tata koordinat ini merupakan bentuk perluasan dari koordinat horizon yang dipeluas sampai pada bola langit.

Beberapa keuntungan ketika kita menggunakan acuan koordinat ekuator dalam penentuan letak sebuah bintang adalah

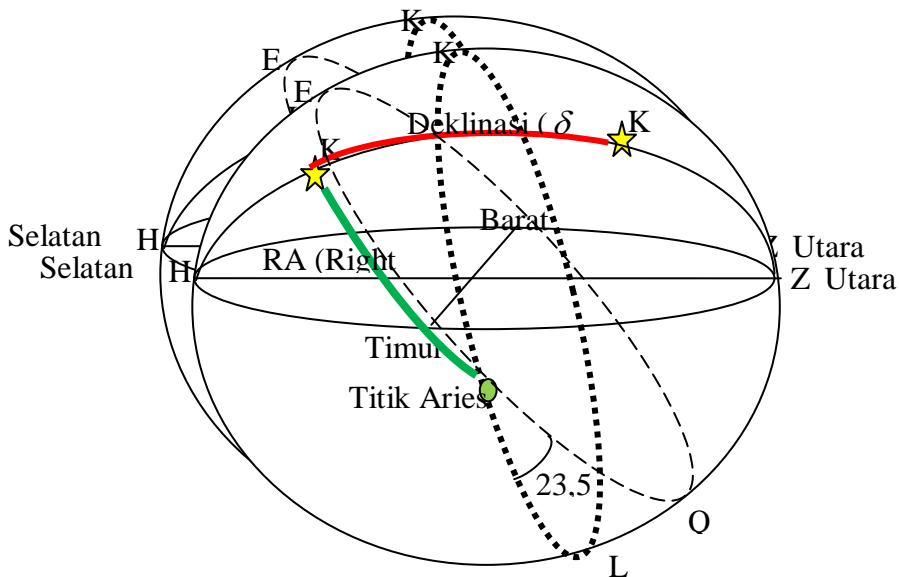
- 1) Lebih baik bila dibanding menggunakan koordinat horizon, karena penentuan azimuth dan deklinasi tidak berubah-ubah jika berpindah posisi pengamat
- 2) Kita dapat menentukan posisi bintang hanya melalui garis bujur dan garis lintang posisi pengamat.



Gambar 3.9 Koordinat equator langit

EQ merupakan equator dari langit dan KL merupakan bujur ekliptika langit dan HZ merupakan bujur horizon langit. Jadi dalam hal ini lingkaran dasar yang kita gunakan bukan lingkaran bumi (Koordinat horizon) melainkan lingkaran dasar langit (lingkaran equator langit). Dengan titik acuan yang digunakan adalah titik perpotongan antara ekliptika dengan equator langit yang disebut dengan titik *pertama aries atau vernal equinox*. Sebagai contoh misalkan kita hendak menentukan sebuah posisi bintang K, maka jarak angular bintang K terhadap equator langit arah utara atau arah selatan disebut dengan **deklinasi** (δ). Jika bintang berada di sebelah utara equator maka **deklinasi positif** dan jika di sebelah selatan maka **deklinasi negatif**. Dengan sudut deklinasi dinyatakan dari rentang 0^0 sampai 90^0 . Kemudian koordinat lainnya yaitu **Right Ascension (RA)** diukur dari busur titik aries ke arah timur sampai jarak angular pada kaki bintang di equator langit.

Deklinasi dinyatakan dalam derajat dan RA dinyatakan dalam bentuk hours dengan ciri $1 \text{ hours} = 15^0$. Hal ini dapat dihitung dengan mengasumsikan 1 putaran bumi = 360^0 membutuhkan waktu 24 jam. Sebagai contoh $RA = 18^h 23^m 46^s$ menunjukkan bahwa $RA = (18 \cdot 15^0 + 23/60 \cdot 15^0 + 46/3600 \cdot 15^0)$. Secara rinci dapat dilihat pada gambar 3.10. Dengan E adalah titik kulminasi atas dan Q adalah titik kulminasi bawah, maka EQ adalah garis ekuator dan KL adalah ekliptika.



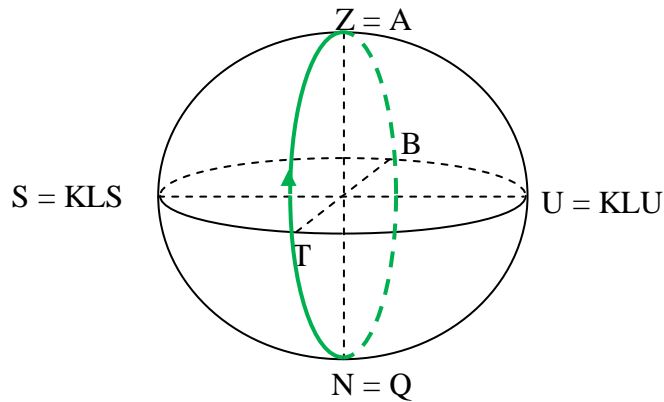
Gambar 3.10 Deklinasi dan right ascension (RA)

Perlu dipahami mengenai beberapa sifat dari koordinat ekuator dalam menentukan posisi dari sebuah bintang.

1. Dari tempat yang berbeda lintangnya, sikap bola langit akan berbeda.
2. Jika kita berdiri di kota K yang terletak di katulistiwa (ekuator) pada tanggal 21 maret, ketika matahari beredar di katulistiwa, maka pada siang hari kita akan melihat matahari lewat tepat di atas zenit kota K
3. Kota-kota yang terletak di belahan bumi selatan dengan letak lintang yang lebih kecil dari $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ LS, tengah hari pada tanggal 21 maret, matahari lewat miring ke utara.
4. Kota-kota yang terletak di selatan GBS (Garis Bujur Selatan) (lintang $> 23 \frac{1}{2}^{\circ}$ LS), atau di utara GBU (Garis Bujur Utara) (lintang $> 23 \frac{1}{2}^{\circ}$ LU), seperti sidney (34° LS) dan NewYork (41° LU), sepanjang tahun matahari tidak akan pernah lewat di zenit kota itu.

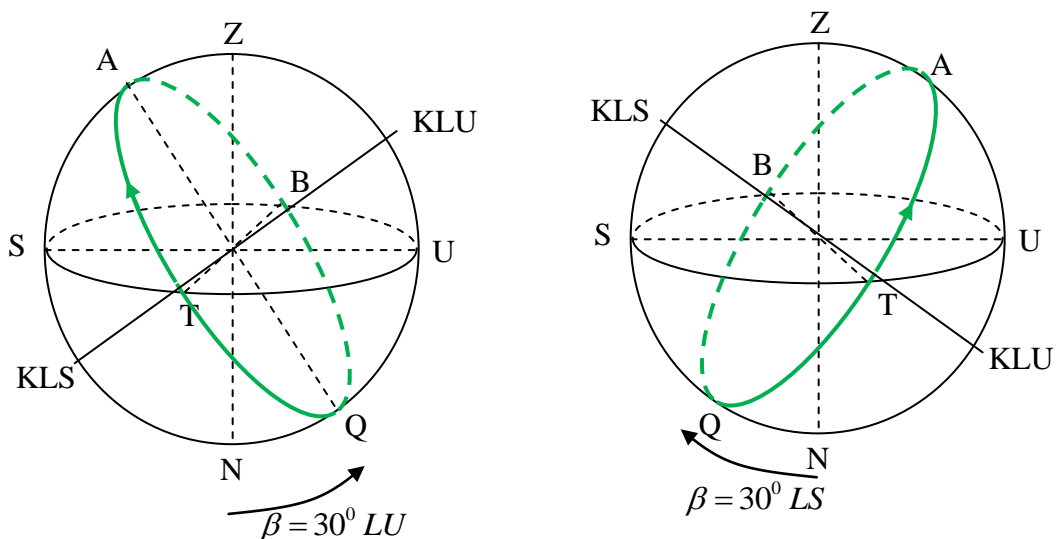
Terdapat 3 buah sifat dari koordinat ekuator adalah bola langit tegak lurus, bola langit miring dan bola langit sejajar. Secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Bola langit tegak*, yaitu jika ekuator serta garis edar benda langit tegak lurus terhadap horizon. Lokasinya adalah di ekuator atau $\beta = 0^\circ$.



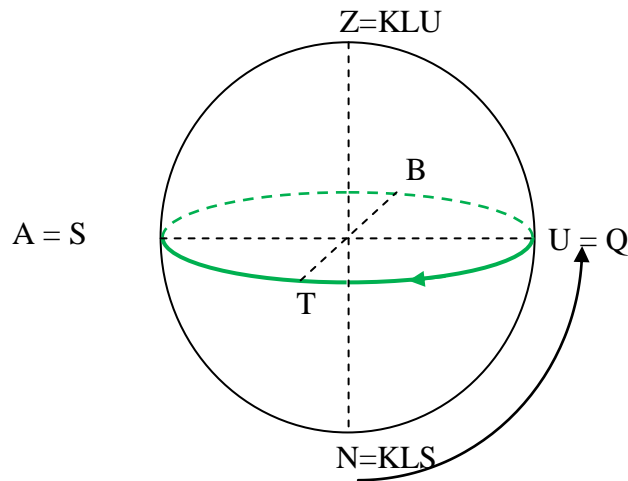
Gambar 3.11 Bola langit

2. *Bola langit miring*, yaitu jika ekuator serta garis edar benda langit miring terhadap horizon. Dengan tingkat kemiringan bola langit berada pada lintang pengamat antara 0° dan 90° LU atau antara 0° dan 90° LS.



Gambar 3.12. Sikap Bola Langit miring

3. *Bola langit sejajar* yaitu jika ekuator benda langit atau garis edar benda langit terhadap horizon saling sejajar. Bola langit sejajar adalah bola langit dengan tempat tinjauannya daerah kutub utara dan kutub selatan.



Gambar 3.13. Sifat Bola langit sejajar

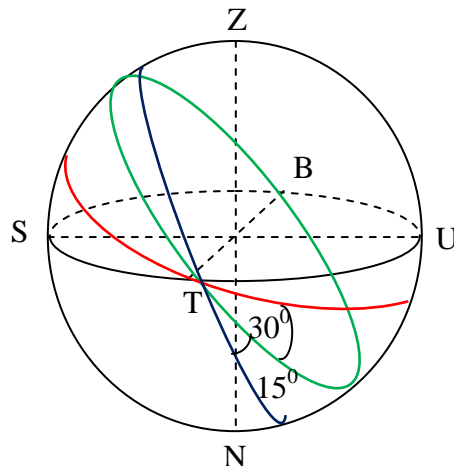
Berikut saya sajikan langkah-langkah sederhana dalam menentukan letak dari sebuah bintang menggunakan sistem koordinat ekuator.

1. Membuat garis edar bintang

Untuk membuat garis edar bintang dalam koordinat ekuator dibutuhkan Deklinasi δ^* ialah jarak antara garis edar benda langit dengan ekuator. Terdapat dua macam deklinasi yaitu Deklinasi positif (Deklinasi utara) dan Deklinasi negatif (Deklinasi selatan).

Contoh :

Lukis garis edar bintang P ($\delta^*P = 30^\circ$) dan Bintang R ($\delta^*R = -15^\circ$) pada bola langit dengan $\beta = 30^\circ$ LU



Gambar 3.14. Latihan Melukis Garis Edar Bintang

2. Menentukan letak bintang dengan koordinat ekuator

Dalam menentukan letak sebuah bintang menggunakan koordinat ekuator maka beberapa hal yang perlu dipahami di antaranya adalah:

- a. Waktu Bintang δ wb.

Dihitung dari A pada ekuator searah dengan arah ekuator titik yang diperoleh disebut titik *aries* (γ)

- b. Kenaikan lurus (Ascencio recta) (α)

yaitu busur pada lingkaran ekuator di ukur dari titik aries (γ) berlawanan dengan arah peredaran semu harian (sampai proyeksi bintang pada ekuator angkanya dari 0 s.d 360°).

Penting: Titik yang diperoleh adalah proyeksi bintang pada ekuator.

- c. Deklinasi bintang (δ^*)

yaitu busur pada lingkaran deklinasi yang menyatakan jarak bintang dengan proyeksinya pada ekuator atau jarak antara garis peredaran semu harian bintang itu dengan ekuator.

Deklinasi positif : lintasan bintang disebelah utara ekuator

Deklinasi negatif : lintasan bintang disebelah selatan ekuator

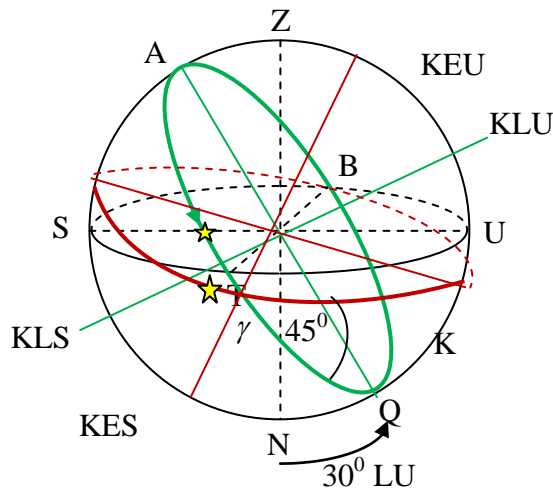
Contoh :

Buatlah bola langit untuk $\beta = 30^\circ$ LU pada pukul 9 wb. Tempatkan pada bola langit itu, jika bintang P dan R yang ordinat-ordinatnya diketahui :

Bumi berputar 360° dalam setiap jamnya 15° maka jika 9 jam adalah 135° .

$$\alpha^*P = 180^\circ, \delta^*P = 45^\circ$$

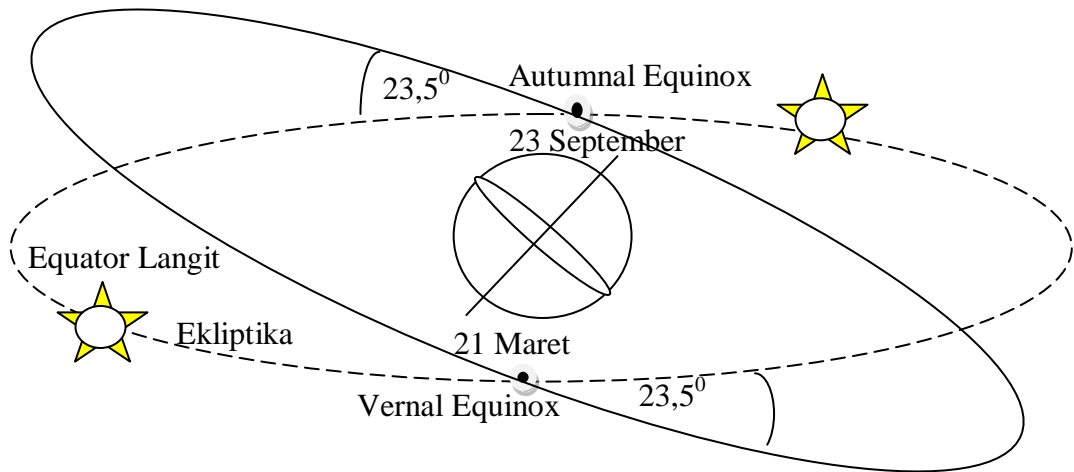
$$\alpha^*R = 135^\circ, \delta^*R = 0^\circ$$



Gambar 3.15 Menempatkan bola langit, jika terdapat bola langit lain yang diketahui ordinat-ordinatnya

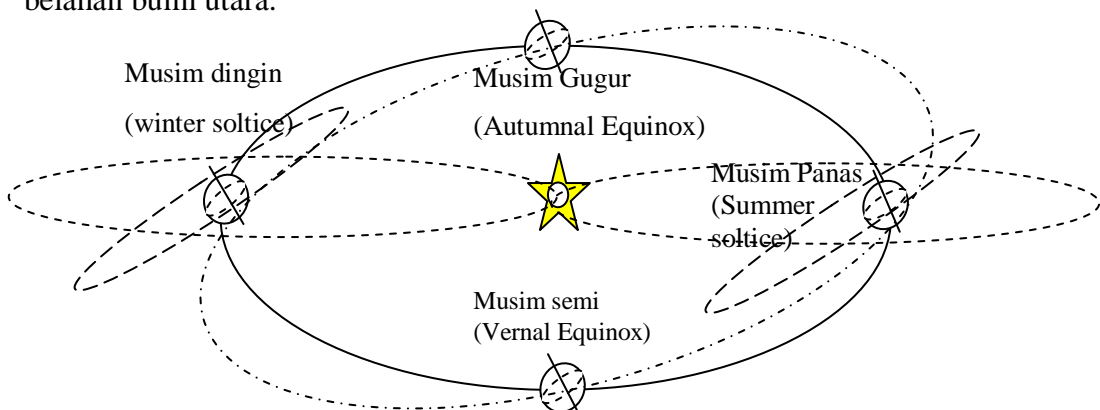
3. Koordinat Ekliptika

Matahari selain melakukan gerak harian dari timur ke barat, juga melakukan gerak tahunan pada bola langit. Ekliptika memotong equator langit pada dua titik yaitu titik pertama aries/vernal equinox (musim semi) dan titik kedua autumnal equinox (musim gugur). Matahari berada pada vernal equinox pada tanggal 21 Maret dan di autumnal equinox pada 23 September. Ketika matahari dalam lintasannya sepanjang ekliptika mencapai vernal equinox, dia melintas dari sisi selatan ke sisi utara equator langit. Dalam tata koordinat ini yang menjadi titik asal adalah titik ariesnya.



Gambar 3.14 Vernal equinox dan autumnal

Hubungan ekliptika dengan equator yaitu ketika keduanya berpotongan pada titik equinox. Saat matahari berada di bawah equator langit, terjadi musim dingin di belahan bumi utara.

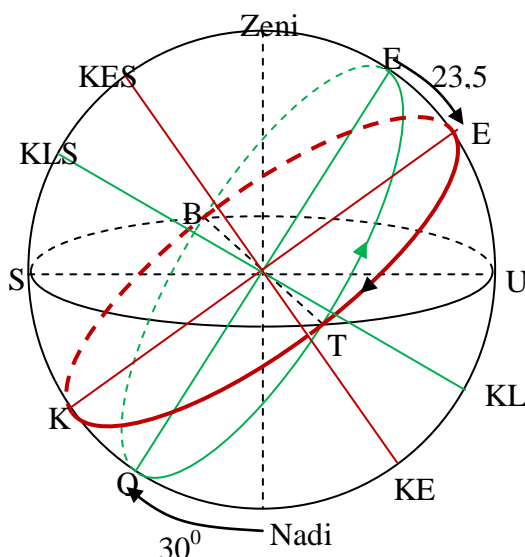


Gambar 3.15 Hubungan posisi matahari terhadap equator dengan Musim

Berikut ini disajikan langkah –langkah yang secara mudah digunakan untuk menentukan letak sebuah bintang menggunakan sistem koordinat ekliptika.

1. Dari titik A buatlah busur 23° ke arah utara titik yang diperoleh adalah titik E
2. Dari titik E tarik garis melalui pusat bola sampai memotong busur bola langit bawah. titik tersebut siberi kode K dari kedua titik buatlah lingkaran besar melalui titik ETKBE. Lingkaran tersebut dinamakan lingkaran ekliptika. arah ekliptika berlawanan dengan arah ekuator, artinya peredaran matahari pada ekliptika berlawanan dengan arah peredaran semu harian pada ekuator.

3. Titik potong lingkaran ekliptika dan lingkaran ekuator ada di titik B dan T.
4. Salah satu titik potong tersebut dinamakan titik Aries (γ) adalah titik tempat matahari pada tgl 21 Maret, yang mana ?
5. Titik aries diukur mulai dari titik A searah ekuator. Titik aries di B, berarti titik aries telah meninggalkan A sejauh 90° atau 6 jam, jadi bola langit menunjukkan ekliptika pada jam bintang $\delta = 6$ wb.



Gambar 3. 16 Menentukan letak bintang menggunakan sistem koordinat ekliptika

6. Pada $\theta = 6$ wb, EK miring ke utara (ke kanan) terhadap AQ, sebaliknya pada $\theta = 18$ wb EK miring ke kiri (ke selatan) terhadap AQ. Dalam memahami letak bintang kita mengenal pula istilah bujur dan lintang. Berikut rincian pengertiannya.
 - 1) **Bujur astronomi (bujas*)** berada pada lingkaran ekliptika dari titik aries searah dengan ekliptika. arah negatif. titik yang diperoleh merupakan proyeksi bintang pada ekliptika
 - 2) **Lintang astronomi (lintas*)** busur yang berada pada lingkaran lintang astronomi (menghubungkan KEU dan KES) yang dimulai dari proyeksi bintang pada ekliptika (dari 0° ke 90° arah utara, dari 0° ke -90° arah selatan).

3.4 Penentuan atau Perhitungan Waktu

1) *Acuan pada bumi dan matahari*

Penentuan waktu dapat diperoleh dengan dua acuan yang berbeda ada yang mengacu pada bumi dan ada yang mengacu pada bulan. Pada acuan bumi kita dapatkan satuan waktu berupa hari dimana satu hari merupakan waktu rotasi bumi selama 24 jam jadi 1 hari = 24 jam. Dan bumi juga mengalami evolusi selama 365,25 hari waktu ini digunakan sebagai satuan tahun. Maka dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

$$1 \text{ rotasi bumi} = 24 \text{ jam} = 360^0 \text{ maka untuk } 1 \text{ jam} = \frac{360}{24} = 15^0 \text{ sedangkan}$$

$$\text{untuk } 1^0 = 0,67 \text{ jam} \approx 4 \text{ menit},$$

Jika *waktu surya* merupakan waktu ketika posisi bumi tepat berada di bawah meridian matahari dengan sudut 0^0 dan *waktu sideris* merupakan waktu dari analisis perhitungan seperti di atas maka terdapat selisih 4 menit antara keduanya maka dapat dikatakan hari sideris lebih pendek 4 menit dari hari surya.

Matahari juga bergerak, anggap pergerakannya sebagai akibat pencerminan dari revolusi bumi. Karena orbit bumi yang berbentuk elips maka kecepatan bumi mengitari matahari pun tidak selalu tetap. Hal ini juga mengakibatkan kecepatan matahari pada bidang ekliptikapun juga tidak tetap. Misalnya ketika bumi dekat perihelium, awal januari kecepatan bumi lebih besar sehingga matahari di ekliptika juga tampak bergerak lebih cepat. Demikian pula sebaliknya ketika bumi dekat aphelium, awal juli bumi bergerak lebih lambat hal ini didasarkan pada konsep hukum kepler. Karena perbedaan waktu sideris dan waktu surya bergantung pada gerak harian orbit bumi, jadi waktu surya pada bulan januari akan memiliki panjang yang maksimum dan pada bulan juli akan memiliki panjang yang minimum. Hal ini menunjukkan bahwa waktu surya tidak tepat sehingga dilakukan perhitungan kedudukan matahari secara rerata atau yang disebut *waktu rerata*. Waktu surya rerata diperoleh dengan membayangkan suatu matahari khayal yang bergerak sepanjang equator langit dengan kecepatan konstan dan dengan periode sama dengan matahari yang sebenarnya dalam menyelesaikan lintasan ekliptikanya dengan kecepatan sekitar 1^0 perhari dengan asumsi

bahwa $360^0 = 365, 25$ hari. Waktu surya rerata pada bujur yang melalui kota Greenwich (Inggris) disebut Greenwich Mean Time (GMT).

2) Acuan dengan Bulan

Dasar acuan bulan merupakan penetapan waktu yang sering dipakai oleh bangsa arab dan dalam penanggalan Islam. Bulan memiliki 2 waktu yang dikenal dengan nama waktu sideris dan waktu sinodik. *Waktu sideris* bulan adalah waktu yang dibutuhkan bulan untuk melakukan revolusi dengan sudut putaran 360^0 dalam waktu 27,3 hari. *Waktu Sinodis* adalah waktu yang dibutuhkan bulan untuk melakukan 1 kali revolusi dari fase awal sampai fase akhir selama 29,5 hari.

Perputaran bulan

$rotasi\ bulan = revolusi\ bulan = 27,3\ hari$ jadi $1\ hari = \frac{360}{27,3} = 13,1868132^0$
jika asumsi 1 hari 24 jam maka dalam 1 jam $= 0,54945055^0$

Perhitungan di atas untuk mengokohkan bahwa itulah mengapa bulan selalu memunculkan muka yang sama setiap malamnya. Dari waktu siderik yang ditetapkan kita juga mendapatkan bahwa jika kita menggunakan sistem waktu berdasarkan bulan dalam waktu 1 tahun terdapat 12 kali pergantian fase bulan selama bumi melakukan revolusi terhadap matahari. Jumlah revolusi bulan terhadap matahari yaitu selama $29,5\ hari \times 12 = 354\ hari$. Jadi dalam satu tahun penanggalan bulan terdapat 354 hari.

3.5 Waktu Lokal dan Waktu Universal

Waktu yang dipakai secara internasional adalah waktu surya rerata. Jika bumi berotasi 360^0 selama 24 jam maka setiap 1 jam $= 15^0$. Maka jika garis bujur dihitung 360^0 dengan 180^0 BT dan 180^0 BB. Maka hal ini menyebabkan setiap terjadi perbedaan 15^0 garis bujur suatu wilayah maka akan terjadi selisih waktu selama 1 jam. Karena rotasi bumi dari barat ke timur, sehingga tempat yang disebelah timur waktunya akan lebih cepat. Waktu surya rerata yang melalui *Greenwich* dinamakan *Waktu Universal* yang disingkat GMT, misalnya untuk wilayah jakarta 107^0 BT = GMT + $(107 \times 4^m) = GMT + 7^h\ 8^m$, Manado 125^0 BT = GMT + $(125 \times 4^m) = GMT + 8^h\ 20^m$. Hal ini menunjukkan bahwa waktu surya rerata tidak sama pada setiap wilayah. Sehingga dilakukan standarisasi waktu menurut wilayah ini disebut dengan *waktu standar*.

Berdasarkan konferensi internasional tahun 1884, ditetapkan 24 zone wilayah waktu dengan rentang tiap zone adalah 15^0 bujur. Dimulai dari titik 0 yaitu Greenwich, kemudian ke arah barat (+) dan ke arah timur (-). Posisi geografis Indoensia berada pada 6^0 LU – 11^0 LS dan 95^0 BT – 141^0 BT yang terbagi ke dalam 4 zone wilayah dari -6 sampai -9. Tetapi indonesia membagi wilayahnya dalam 3 zone wilayah yaitu WIB (Waktu Indonesia Barat) dengan GMT + 7 jam, WITA (Waktu Indonesia Tengah) dengan GMT + 8 jam dan WIT (Waktu Indonesia Timur) dengan GMT + 9 jam. Selain itu juga ditentukan garis tanggal internasional yang terletak sepanjang meridian 180^0 , garis tanggal ini kira-kira di pertengahan lautan pasifik.

3.6 Sistem Kalender

Dalam sistem pembuatan kalender kita megenal beberapa jenis kalender di antaranya kalender jawa, kalender Islam, dan kalender masehi,. Masing – masing dari kalender ini memiliki berbagai macam perhitungan tersendiri, yang pasti setiap kalender memiliki satuan hari, bulan dan tahun. Hari merupakan waktu yang di butuhkan bumi untuk melakukan satu kali rotasi yaitu 24 jam. Bulan ada yang berjumlah 30 dan 31 hari pada kalender masehi, pada kalender Islam 30 hari dihitung berdasarkan fase bulan dalam periode waktu sinodik yaitu 29,5 hari. Tahun adalah satuan waktu ketika bumi melakukan revolusi terhadap matahari yaitu selama 365, 25 hari. Ada banyak macam jenis tahun yang diketahui yaitu:

1. Tahun *sideris* yaitu tahun yang lamanya 365,25 hari di hitungg berdasarkan revolusi bumi terhadap matahari berdasarkan waktu rerata.
2. Tahun *tropis*, tahun ini yang dipakai untuk negara kita yaitu periode revolusi bumi terhadap titik musim semi (permulaan musim semi) lamanya 365, 242199 hari.
3. Tahun *anomalistik*, yaitu selang waktu dua kali berturut-turut ketika bumi melewati perihelion.

Saya akan coba membahas mengenai penamaan yang menggunakan kalender masehi, ini berawal dari pertanyaan mengapa jumlah 1 minggu sebanyak 7 hari!. Dari beberapa sumber membicarakan bahwa lama 7 hari diambil dari seperempat/kuarter pada fase bulan yang membutuhkan waktu 7 hari. Dengan penamaan berdasarkan nama planet berikut bulan dan matahari yang diawali dari saturnus (Saturday), hari matahari (Sunday), hari bulan (moonday), mars,

merkurius, jupiter, dan venus. Terori ini mengambil penamaan hari berdasarkan dewa-dewa yunani kuno.

3.7 Asal Usul Kalender

1. Kalender Romawi dan Yunani Kuno

Perlu pembaca ketahui bahwa asal muasal dari kalender masehi saat ini berasal dari kalender romawi dan yunani kuno. Kalender ini menggunakan tahun dan bulan, untuk bulan didasarkan pada periode sinodik bulan 29,5 hari. Dalam satu tahun lamanya hari berdasarkan bulan adalah $29,5 \times 12 = 354$ hari sedangkan tahun tropis lamanya 365, 24 hari. Untuk itu dalam selang waktu 3 tahun, selisih antara keduanya akan mejadi 1 bulan.

selisih tahun tropis dengan tahun berdasarkan bulan

selisih = tahun tropis – tahun bulan

$= 365,25 - 354$

$= 11,25 \times 3 = 33,75 \text{ hari} \approx 1 \text{ bulan}$

Seperti kebiasaan bangsa yunani kuno agar dapat mngikuti pesta pergantian musim maka setiap tiga tahun ditambahkan bulan ke-13. Berikut nama bulan dan jumlah hari pada kalender romawi dan yunani kuno.

Martius (31 hari)

September (29 hari)

Aprilis (29 hari)

Oktober (31 hari)

Mains (31 hari)

Nopember (29 hari)

Junius (29 hari)

Desember (29 hari)

Quintilis (31 hari)

Januarius (29 hari)

Sextilis (29 hari)

Ferbruarius (28 hari)

2. Kalender Julian

Penamaan kalender Julian diambil dari nama Julius Caesar yang melakukan perubahan terhadap kalender romawi dengan membuat jumlah hari dalam satu bulan sama panjang menjadi 30, 5 hari yang berdasarkan tahun tropis 365, 25 hari. Jadi dalam satu tahun berisi 365 hari dn setiap 4 tahun ditambah 1 hari pada bulan februari sehingga menjadi 366 hari yang disebut denga tahun *kabisat*.

Setelah Julius Caesar meninggal, maka untuk menghormatinya umat kristiani mengganti nama bulan *Quintilis* menjadi *juli*. Kemudian Julius Caesar digantikan dengan Augustus Caesar untuk menghormatinya juga sehingga bulan *sextilis* diganti menjadi *Agustus*.

3. Kalender Gregorian

Walaupun kalender julian sudah mendekati waktu tahun tropis ternyata perhitungannya masih menyisakan waktu 11 menit 14 detik setiap tahunnya. Maka jika ini dibiarkan maka akan terjadi pergeseran waktu titik vernal equinok (musim dingin) yang tidak lagi pada tanggal 21 Maret. Maka agar pesta perayaan musim dingin tetap jatuh pada tanggal 21 Maret, Paus Gregorius XIII melakukan 3 langkah perbaikan kalender julian.

1. Mengembalikan vernal equinox pada tanggal 21 Maret dengan cara mengumumkan tanggal 4 oktober 1582 hari itu, esok harinya menjadi 15 oktober 1582.
2. Menghilangkan kelebihan 11 menit 14 sekon yang menjadi 1 hari penuh dalam waktu 128 tahun
3. Menghilangkan 3 hari setiap 400 tahun dengan menetapkan tahun abad yang tidak bisa dibagi 400. Yaitu pada tahun 1700, 1800 dan 1900.

Berdasarkan uraian dari 3 hal di atas, maka lama hari dalam satu tahun menurut Paus Gregorius adalah 365,2425 hari.

PERTANYAAN

1. Apakah pengertian dari garis lintang dan garis bujur, berapakah lintang dan bujur tempat anda tinggal saat ini?
2. Di tempat manakah di bumi akan terlihat keadaan seperti berikut ini
 - a. Lingkaran harian bintang-bintang sejajar dengan horizon
 - b. Kutub selatan langit 30^0 di atas horizon
 - c. Semua bintang terbit dan terbenam
 - d. Matahari lewat melalui zenit dalam satu tahun
 - e. Semua bintang-bintang utara dengan deklinasi 50^0 Utara adalah bintang sirkumpolar
3. Bila pada suatu malam terdapat bintang malam yang terbit pada pukul 21.00 menurut jam kita, maka pada pukul berapakah keesokan harinya bintang tersebut akan terbit ?

4. Jelaskan pengertian hari, bulan dan tahun yang didasarkan pada kalender Romawi dan Yunani Kuno?
5. Seorang anak berada pada posisi 65° BT, pada saat musim dingin (*winter solstice*) pada titik *vernal equinox*, berapa derajatkah posisi matahari terhadap *zenit* pada waktu siang hari?
6. Sebuah pesawat terbang ke arah barat melewati garis tanggal internasional pada hari jumat pukul 09. 30 waktu standar. Nyatakan waktu dan hari sepuluh menit setelah melewati garis tanggal internasional tersebut?
7. Apa tujuan utama pembaharuan kalender Julian dan sebutkan dua perubahan yang dibuat pada kalender gregorian dan berikan alasannya mengapa melakukan pembaharuan tersebut?
8. Bila waktu lokal yang nampak pukul 3 sore WIB, Berapakah sudut jam bintang dari matahari yang terbentuk?
9. Berapakah hari sideris lebih banyak bila dibandingkan dengan hari matahari dan mengapa demikian?
10. Pada tanggal berapakah waktu sideris empat jam lebih dahulu dari waktu matahari?
11. Buktikan bahwa kalender julian memiliki kesalahan 0,78 hari setiap abad, dengan berpangkal pada tahun tropis yang sebenarnya?
12. Berikan analisismu mengenai perubahan kalender yang dilakukan, apakah tujuan perubahan sangat signifikan dan perlu dilakukan ?
13. Lukislah pada bola langit letak bintang :
 - a. Q yang memiliki $tg^*Q = 45^{\circ}$, $az^* = 225^{\circ}$
 - b. R yang memiliki $tg^*R = 60^{\circ}$, $az^* = 135^{\circ}$
14. Lukis ekliptika pada 5 bola langit untuk lima nilai β berikut :
 - a. $\beta = 30^{\circ}$ LU , $\theta = 18$ wb
 - b. $\beta = 5^{\circ}$ LU , $\theta = 6$ wb
 - c. $\beta = 0^{\circ}$ LU , $\theta = 18$ wb
 - d. $\beta = 45^{\circ}$ LU , $\theta = 6$ wb
 - e. $\beta = 66,5^{\circ}$ LU , $\theta = 18$ wb
15. Lukis pada bola langit untuk $\beta = 30^{\circ}$ LU pada pukul 6 wb tempat bintang P dan R yang ordinat-ordinatnya diketahui :
 - a. $bujas^*P = 30^{\circ}$, $lintas^*P = 30^{\circ}$
 - b. $bujas^*R = 135^{\circ}$, $lintas^*R = 23,5^{\circ}$

BAB IV

TATA SURYA

Muatan Isi Bab Ini. Dalam bab ini menggambarkan mengenai tata surya yang terdiri dari matahari dan planet dan secara khusus membahas mengenai planet bumi, yang merupakan planet yang kita huni. Dan juga menjelaskan mengenai proses dan reaksi apa saja yang terjadi pada matahari.

Arus Tujuan Bab Ini. Pada bagian bab ini diharapkan pembaca dapat mengerti dan mampu untuk menjelaskan ciri-ciri benda langit yang disebut sebagai planet. Memahami karakter-karakter dan sifat planet. Memahami pola gerak dari planet. Menunjukkan jenis planet terestrial dan jovian, planet superior dan inferior, planet exsterior dan interior. Memahami mengapa keadaan bumi meliputi *geosfer*, *Litosfer*, dan atmosfer. Memahami pola pergerakan lempeng-lempang di bumi dan peyebabnya. Menjelaskan terbentuknya gunung api dan energi sistem bumi. Kemudian menjelaskan mengenai berbagai fenomena yang terjadi pada matahari yang dapat berakibat pada kehidupan di bumi. Selain itu juga mampu untuk melakukan analisis secara matematis mengenai sistem gerak benda langit.

Materi Prasyarat yang Harus di Kuasai. Memahami sistem gerak tata surya meliputi matahari dan planet-planet yang mengitarinya. Menguasai prinsip-prinsip hukum Newton.

4.1 Matahari

Matahari yang menopang kehidupan di muka bumi ini, jika tidak ada matahari mungkin kita tidak dapat menikmati nikmatnya buah dan sayuran. Karena tumbuhan sangat membutuhkan sinar matahari untuk melakukan fotosintesis. Berikut adalah karakteristik matahari yang perlu kita ketahui yaitu

1. Matahari merupakan bintang yang terdekat dengan Bumi dan sekaligus merupakan pusat tata surya.
2. Jarak rata-rata Bumi dan Matahari adalah 150.000.000 km (1 AU=1 SA), dimana AU (Astronomi Unit) dan SA (Satuan Astronomi)
3. Sinar matahari menempuh waktu selama 8 menit untuk sampai ke Bumi
4. Dalam inti matahari terjadi reaksi fusi nuklir yang merubah hidrogen menjadi Helium.
5. Energi yang dipancarkan oleh matahari merupakan pusat sumber energi di tata surya kita.
6. Dari Hasil penelitian sinar matahari sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup di muka bumi ini sebagai pendukung dalam proses metabolisme tubuh.

4.1.1 Lapisan Matahari

Matahari berbentuk bulat dan memiliki beberapa lapisan yang memiliki peranan masing-masing. Lapisan matahari dapat dibedakan dalam dua bagian, yaitu bagian dalam (interior) dan bagian luar (atmosfer). Lapisan interior dan lapisan atmosfer yang masing-masing terbagi menjadi 3 bagian utama yaitu

1. Bagian Interior

1) Inti

- a. Suhu di lapisan ini diperkirakan mencapai 16 juta K.
- b. Pada lapisan ini reaksi fusi dapat berlangsung.
- c. Energi hasil reaksi fusi dipancarkan ke luar secara radiasi.

2) Lapisan Radiasi

3) Lapisan Konveksi

2. Bagian Luar (atmosfer)

1) Fotosfer

- a. Fotosfer merupakan permukaan matahari yang tebalnya sekitar 500 km.
- b. Lapisan ini yang memancarkan cahaya sangat kuat sehingga disebut lapisan cahaya.
- c. Suhu di fotosfer diperkirakan rata-rata 6.000 K

- d. Lapisan ini terlihat dengan teleskop yang dilengkapi penapis (**filter**) yang mengurangi intensitas cahaya matahari sampai 1/100000 kali.

2) Kromosfer

- a. Kromosfer terletak antara ketinggian 500 – 2000 km
- b. Di lapisan bawah (dekat fotosfer), suhu kromosfer diperkirakan sekitar 4.000 K. Makin ke atas, suhu kromosfer makin tinggi
- c. Pada lapisan yang paling atas, suhu kromosfer diperkirakan mencapai 10.000 K
- d. Kromosfer dapat dilihat pada saat terjadi gerhana matahari total. Selain itu juga dapat dilihat dengan penapis H-alpha atau Kalsium.

3) Korona

- a. Korona merupakan lapisan matahari yang paling luar
- b. Bentuk korona selalu berubah-ubah
- c. Tebal korona diperkirakan mencapai 2,5 juta km
- d. Adapun suhunya diperkirakan mencapai 1 juta K
- e. Korona dapat diamati dengan teleskop yang disebut koronagraf dan saat gerhana matahari total

4.1.2 Peristiwa dalam Matahari

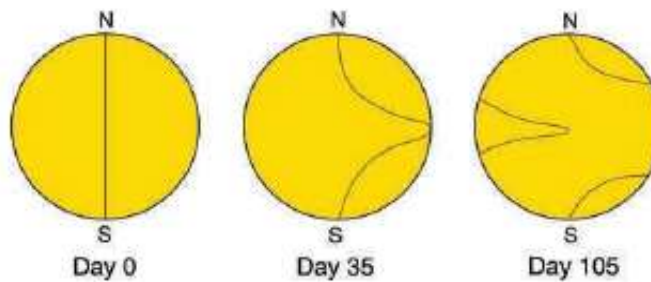
1. Angin Matahari

- a. Keberadaan angin matahari yang disimpulkan dari pengamatan ekor komet.
- b. Ekor debu yang terdiri dari biji-bijian bahan yang dilepaskan sebagai Sun sublimates es dari permukaan inti komet.
- c. Partikel debu mendapatkan tekanan radiasi dari Matahari dan menjauh dari Matahari.
- d. Ion ekor terdiri dari molekul terionisasi, seperti sianogen (CN_2) dan CO
- e. Jika Matahari memancarkan aliran partikel bermuatan akan berinteraksi dengan ion

- f. Transfer Momentum dan pergerakan ion ekor komet yang menjauh dari Matahari

2. Bintik pada Matahari

Bintik matahari muncul pada daerah gelap dan sering muncul secara berpasangan atau kelompok. Setiap tempat memiliki umbra pusat yang dikelilingi oleh penumbra ringan. Rotasi matahari di khatulistiwa memiliki periode 28 hari dan 35 hari di dekat kutub Matahari. Keadaan ini menghasilkan Sunspots.

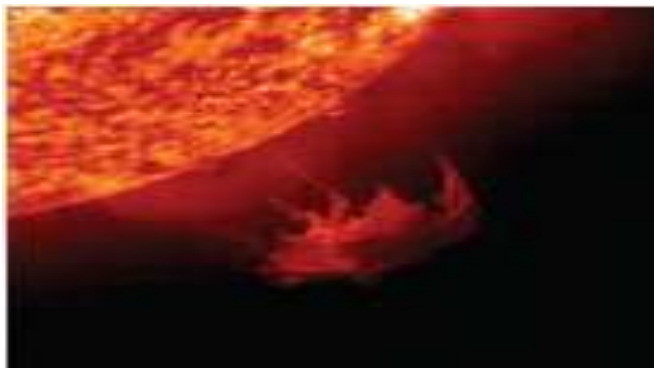


Gambar 4.1. Proses terbentuknya Sunspot

Bintik matahari mencapai puncaknya setelah 3-4 tahun (max) kemudian mulai berkurang selama 7-8 tahun (min). Proses ini kemudian berulang lagi, disebut siklus bintik matahari. Rata-rata adalah 10,5 tahun.

3. Prominence

Gerakan gas terang yang sering terlihat membentang naik dari kromosfer ke korona. Hal itu disebabkan oleh gas padat yang terionisasi ditangguhkan oleh medan magnet matahari tetapi kembali lagi dari korona ke kromosfer.



Gambar 4.2. Jilatan matahari (prominence)

4. Flare

Gerakan yang sama dan berasal di korona Matahari namun gas api yang terang ini tidak kembali ke kromosfer melainkan terlontar keluar. Merupakan bentuk pemutusan dan rekoneksi garis-garis medan magnet matahari yang dihasilkan pelepasan energi magnetik. Ini cenderung terjadi di atas daerah aktif sekitar bintik matahari. Dan Cenderung lebih sering pada saat solar maksimum. *Coronal mass ejections*, yang merupakan penyemburan material dari korona matahari sebagian besar terdiri dari elektron dan proton dengan jumlah yang lebih kecil pada elemen yang lebih berat. Berkas partikel sangat energik memerlukan waktu 15 menit untuk mencapai bumi. Hal ini dapat menimbulkan ancaman bagi astronouts dan menghancurkan satelit subsistem.

5. Fajar (Aurora)

Aurora terjadi sebagai akibat dari pergerakan angin matahari yang mencapai ke bumi menghasilkan cahaya berwarna terang di utara (Aurora Borealis) dan (Aurora Australis) selatan kutub magnet. Hal ini disebabkan oleh tabrakan partikel bermuatan dengan atom tinggi di atas atmosfer bumi. Sedangkan warna yang dihasilkan karena pengaruh ionisasi gas-gas di atmosfer bumi.

4.2 Identifikasi Planet Berdasarkan Ciri-cirinya

Di dalam Q.S. Al-Hijr, 19 “Dan kami Telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung dan kami tumbuhkan padanya segala sesuatu menurut ukuran”. Dan QS Al-A’araf, 56 “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (Tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”. Ayat di atas merupakan ayat yang menjelaskan mengenai keadaan bumi dan kitapun sebagai khalifah harus menjaga dan melestarikan semua makhluk yang diciptakan Alloh SWT.

Terdapat 2 teori yang menjelaskan mengenai proses penciptaan tata surya dan planet-planetnya:

1. Hipotesis Evolusioner oleh Descartes (1596-1650): proses bertahap untuk menghasilkan matahari dan planet-planet
2. Hipotesis Catastrophic oleh Buffon (1707-1788): peristiwa mendadak untuk menghasilkan tata surya

Kemudian Laplace (1796) menggabungkan teori pusaran Descartes dan hukum gravitasi Newton untuk menghasilkan model yang disebut Hipotesis Nebula. Hipotesis Nebula matahari (1940) diusulkan untuk merevisi teori Laplace.

Berdasarkan sidang Umum Himpunan Astronomi Internasional (*International Astronomical Union/IAU*) Ke-26 di Praha, Republik Ceko, yang berakhir 25 Agustus 2006 dijelaskan mengenai ciri-ciri dari planet:

1. Planet mengorbit Matahari
2. Planet memiliki massa yang cukup besar sehingga gravitasi bisa membuat planet tetap bulat. Hal ini dinyatakan dalam kesetimbangan hidrostatik
3. Planet telah memiliki orbit yang jelas (tidak ada benda lain yang mengorbit pada wilayah orbit yang sama).

Sementara itu pada poin 1 dan 2 disebut Planet Kerdil (*Dwarf planet*). Dari hasil kesepakatan di atas maka planet pluto tidak dikatakan sebagai planet karena tidak memenuhi pada syarat yang ke 3. Planet pluto tidak memiliki orbit yang jelas, yaitu orbit Pluto memotong orbit planet Neptunus sehingga dalam perjalanannya mengelilingi Matahari, Pluto kadang berada lebih dekat dengan Matahari dibandingkan Neptunus

Ada dua jenis Planet :

1. Terrestrial: kecil, padat , dunia berbatu dengan sedikit atau tanpa atmosfer
2. Jovian : besar, densitas rendah , atmosfer tebal dan interior cair

Terbentuknya kawah di planet ini disebabkan oleh dampak bombardemen meteorit berat. Terdapat kawah yang cukup terkenal yang disebut sebagai kawah *baringer*.

Selain itu planet digolongkan menjadi beberapa jenis menurut jarak dan massanya, menurut jaraknya yang dipengaruhi oleh sabuk asteroid yang berada antara jupiter dengan mars maka planet digolongkan menjadi:

1. Planet interior (dalam) yaitu planet-planet yang berada dekat dengan matahari yang berada didalam batas sabuk asteroid diantaranya yaitu merkurius, venus, bumi, dan mars
2. Planet Eksterior (luar) yaitu planet-planet yang berada diluar garis sbuk asteroid yaitu jupiter, saturnus, uranus dan neptunus.

Kemudian planet juga dibagi berdasarkan pengaruh massa dan ukurannya menjadi:

1. Planet Inferior yaitu planet yang memiliki massa dan ukuran yang relatif lebih kecil. Contohnya yaitu merkurius, venus, bumi, mars.
2. Planet superior yaitu planet yang memiliki massa dan ukuran yang relatif lebih besar. Contohnya yaitu jupiter, saturnus, uranus dan neptunus.

4.3 Berbagai Jenis Planet

1. Planet Terrestrial

a) Merkurius

The Marine 10 terbang melewati mars tahun 1974 untuk mengamati merkurius, tapi itu tidak dapat mengambil foto permukaan. Saat ini planer ini merupakan planet terkecil. Planet ini bergerak sangat lambat dan memiliki suhu yang sangat panas.

b) Venus

Venus memiliki jumlah awan yang tebal sehingga dapat memantulkan cahaya matahari dengan sempurna. Planet ini akan terlihat paling bersinar pada saat matahari tenggelam dan saat matahari terbit. Venus sering disebut bintang fajar atau bintang senja karena pantulan cahayanya yang menjadi ciri khas yang terlihat dari bumi. .

c) Bumi

Bumi merupakan satu-satunya planet yang berpenghuni, karena mengandung air yang memungkinkan untuk terjadinya proses kehidupan. Adanya air dalam planet bumi disebabkan karena jarak bumi terhadap matahari yang membentuk suhu yang ideal untuk membentuk air. Bumi akan dibahas lebih detail pada sub bab selanjutnya.

d) Mars

Mars sering disebut sebagai planer merah karena warnanya yang kemerah-merahan. Warna ini disebabkan karena planet ini banyak mengandung besi (III) oksida. Mars memiliki atmosfer tipis dan sedikit air dan permukaannya berupa kawah dan gunung berapi.

2. Planet Jovian

Planet-planet Jovian memiliki sistem satelit yang besar. Bagian dalam planet mengandung inti kecil dari elemen berat seperti logam, Jupiter dan Saturnus dikelilingi oleh cairan yang mengandung hidrogen. Uranus dan Neptunus mengandung inti elemen berat dikelilingi oleh air sebagian beku dicampur dengan material berat (batu dan mineral).

a) Jupiter

Planet jupiter merupakan planet terbesar di sistem tata surya kita, saking besarnya ukuran jupiter mampu menampung 1310 ukuran bumi. Tetapi tidak sebanding dengan besarnya, berat Jupiter hanya dua setengah kali Bumi. Planet ini lembek, permukaannya hanya berupa *gas helium dan hidrogen cair* yang terbungkus awan yang bergerak. Planet ini berotasi dengan sangat cepat hanya diperlukan 10 jam/hari.

b) Saturnus

Saturnus mempunyai keunikan, dikelilingi dengan cincin yang terbentuk dari potongan jutaan es. Masa rotasinya sekitar 10,5 jam. Planet ini mempunyai sifat seperti Yupiter, keduanya berputar begitu cepat sehingga dianggap sebagai planet yang paling berangin. Kecepatan anginnya lebih dari 10 kecepatan angin Hurricane di Bumi.

c) Uranus

Seperti halnya Saturnus, Uranus juga mempunyai cincin. Cincin Uranus tipis dan hingga saat ini telah ditemukan sembilan lapis cincin Uranus. Rotasinya yang berlawanan dengan arah rotasi Bumi membuat salah satu sisinya seperti sebuah gasing yang rebah. Masa revolusi Saturnus sekitar 84 tahun dan masa rotasinya sekitar 11 jam. Hal ini mengakibatkan satu sisi planet terus-menerus mengalami siang selama 42 tahun, sedangkan sisi yang lain terus-menerus mengalami malam selama 42 tahun.

d) Neptunus

Ukuran neptunus mampu menampung 60 planet seukuran Bumi. Satu tahun di Neptunus sama dengan 165 tahun di Bumi sedangkan satu hari di sana sekitar 16 jam di Bumi. Semenjak tahun 1984, para ahli telah menduga bahwa Neptunus mempunyai cincin. Dugaan ini terbukti setelah pesawat angkasa *Voyager 2* berhasil mendekati Neptunus dan memastikan bahwa Neptunus memiliki paling tidak tiga lapis cincin.

Beberapa pesawat tanpa awak yang berhasil mendarat dan mengamati keadaan planet dalam sistem tata surya kita adalah:

1. *Mariner 10* dikirim untuk mengamati planet merkurius dan venus
2. *Voyager 2* berhasil dikirim untuk mengamati neptunus dan saturnus
3. *New Horizons* dikirim untuk kepentingan penyelidikan pluto
4. *Curiosity* dikirim untuk melakukan pengamatan terhadap planet mars.

4.4 Posisi dan Gerak Planet

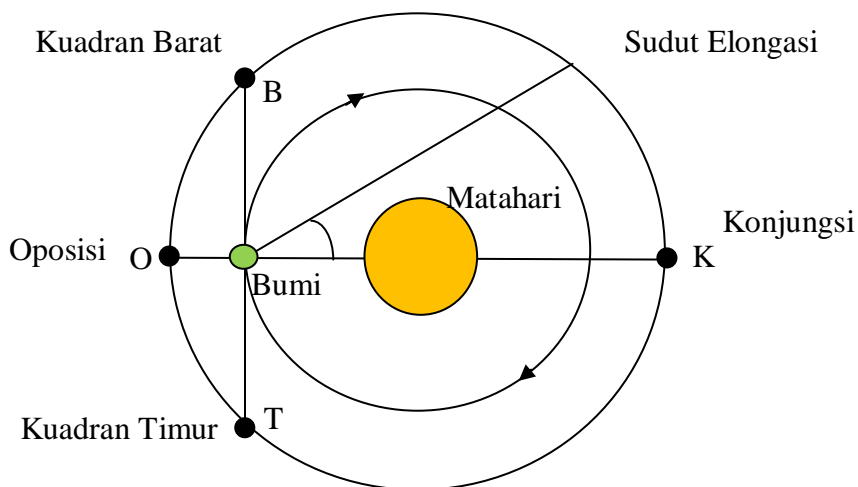
Terdapat sebuah keteraturan pada gerak planet dalam mengitari matahari yaitu diantaranya :

- a. Orbit sebuah planet memiliki eksentrisitas yang kecil
- b. Orbit semua planet hampir terletak dalam satu bidang
- c. Semua planet bergerak mengitari dalam arah yang sama dari barat ke timur.

Catatan:

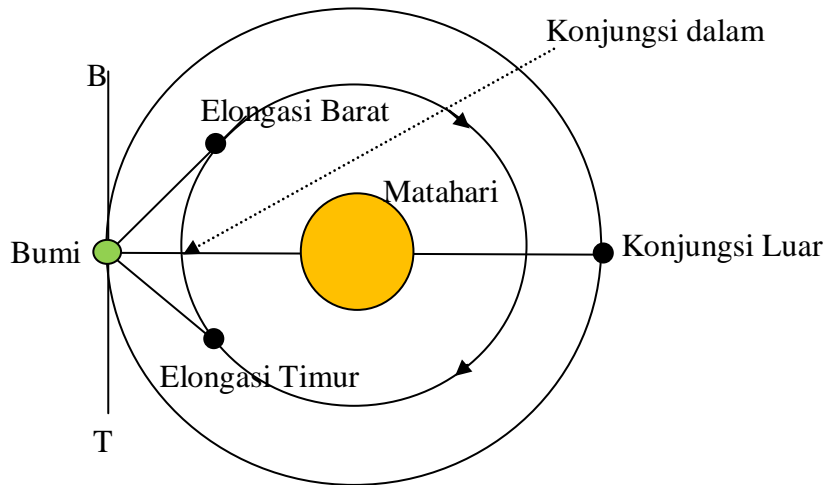
Terdapat planet yang kadang bergerak maju (barat ke timur) dan kadang mundur (timur ke barat) demikian seterusnya. Gerak planet yang demikian disebut dengan *retrograde* seperti pada gerak planet mars.

Seperti dijelaskan sebelumnya kita mengolongkan planet menjadi 3 macam berdasarkan besarnya masing-masing. Ketika sebuah planet superior, matahari, dan planet muncul di langit tepat dalam arah yang berlawanan dengan matahari, pada saat demikian ini planet terbit saat matahari terbenam. Pada kedudukan seperti inilah yang disebut dengan *oposisi*. Pada keadaan lainnya, planet superior bisa berada pada sisi yang sama dengan matahari, karena pada arah yang sama dengan matahari, dengan sendirinya planet tersebut tidak tampak. Pada saat ini disebut planet *berkonjugasi*. Perhatikanlah gambar 4.3 berikut ini yang memperlihatkan planet superior pada kedudukan oposisi (O), konjugasi (K), Kuadran timur (T) dan kuadran barat (B).



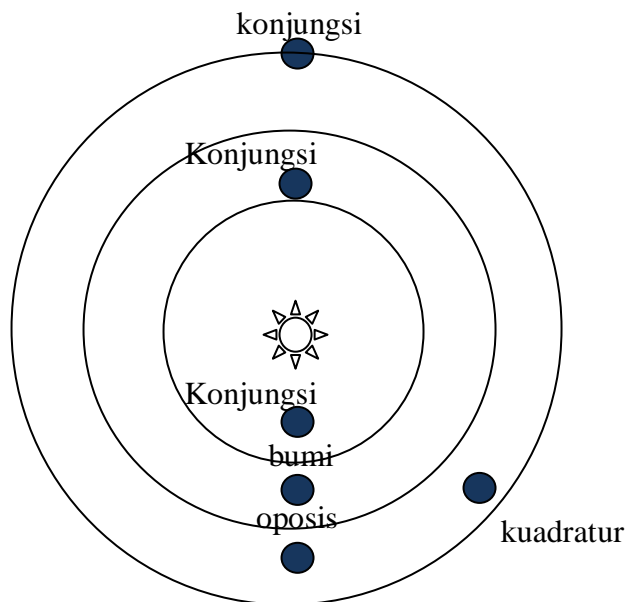
Gambar 4.3. Kedudukan Planet Superior saat O, K, B dan T

Sedangkan penggambaran kedudukan planet dalam atau planet bermassa kecil (planet interior) dapat diperlihatkan melalui gambar 4.4 berikut ini:



Gambar 4.4. Kedudukan Planet Interior saat konjungsi dan elongasi

Dalam mempelajari periode sinodis dan periode sideris planet, kita harus mengetahui terlebih dahulu istilah elongasi. Elongasi adalah sudut antara pusat-pusat dua benda langit di lihat dari pusat Bumi. Elongasi Planet adalah jarak sudut planet dengan matahari.



Gambar 4.5. Posisi planet

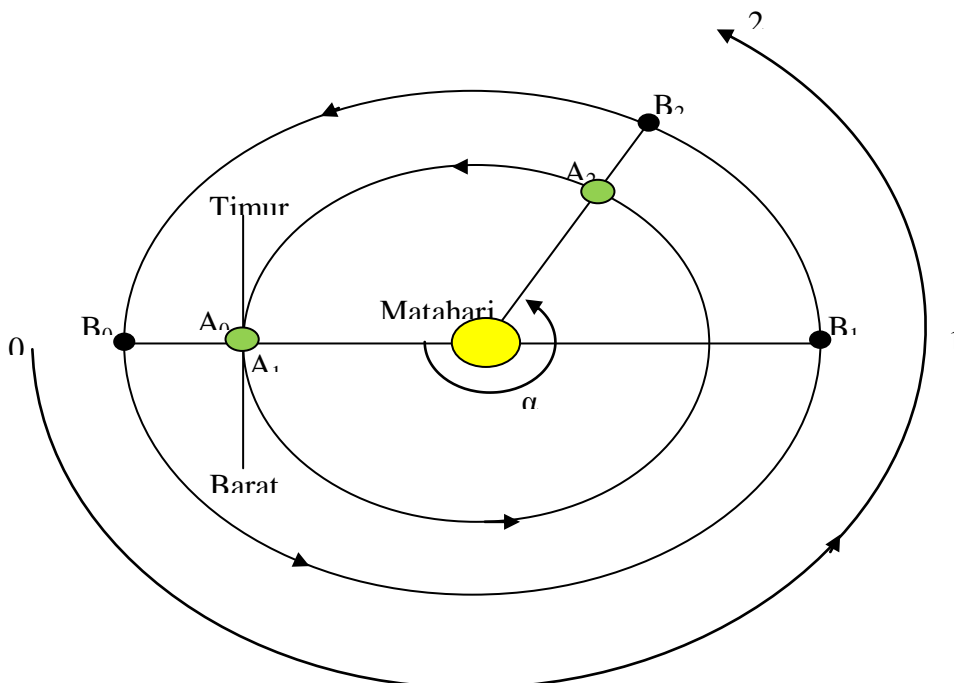
Elongasi = 90^0 disebut kuadratur
 180^0 disebut oposisi
 0^0 disebut konjungsi

Perhatikan bahwa planet dalam (Venus dan Merkurius) tidak pernah mengalami fase oposisi dan kuadratur.

4.5 Periode Sideris dan Sinodis Planet

Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu putaran mengelilingi matahari disebut periode sideris. Sedangkan panjang waktu antara dua konjungsi serupa yang berurutan atau dua oposisi yang berurutan disebut periode sinodis planet. Planet dalam akan unggul satu 'lap' terhadap bumi untuk konjungsi berikutnya. Bumi akan unggul satu 'lap' terhadap planet luar untuk konjungsi/oposisi berikutnya.

Berikut ini saya perlihatkan posisi planet saat mengalami periode sideris ataupun periode sinodisnya.

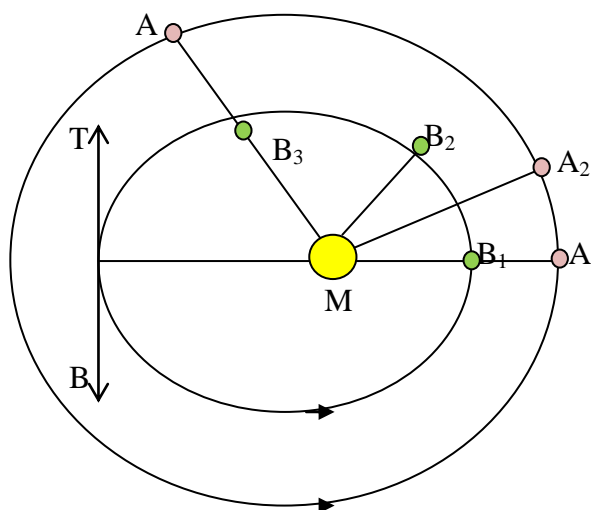


Gambar 4.6. Posisi Planet saat Periode Sideris dan Sinodis

Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa terdapat dua buah planet yaitu planet A dan planet B yang sedang mengorbit matahari. Planet A memiliki orbit yang lebih kecil dari pada planet B.

1. Pada posisi awal, yang saya anggap sebagai titik nol (0) planet A berada antara planet B dan matahari. Berarti planet berada pada **posisi oposisi** terhadap planet A, sedang A berada pada posisi **konjungsi bawah** terhadap B.
2. Planet mengorbit penuh dari A_0 kembali lagi namun menjadi A_1 , pada saat itu B baru mengorbit sampai B_1 . Pada suatu saat A bergerak dan B bergerak sehingga posisi A_2 dan B_2 . Pada kondisi seperti ini terjadi kembali **posisi Oposisi** B terhadap matahari dilihat dari A.
3. Jadi pada posisi 2 ini, planet A bergerak sejauh $360^\circ + \text{sudut}$ dari A_1 ke A_2 . Waktu yang diperlukan oleh planet A sampai kembali mencapai posisi bertindihan dengan planet B ini yang disebut **periode sinodis**.
4. Misalkan B adalah bumi dan A adalah planet lain, maka periode sinodis planet A merupakan waktu yang diperlukan oleh planet itu untuk kembali bertindihan dengan bumi sebesar $360^\circ + A_0MA_2$.
5. Misalkan A adalah bumi dan B adalah planet maka periode sinodis adalah waktu yang diperlukan bumi untuk bertindihan kembali dengan planet luar tersebut.
6. Apa yang teramati dari bumi adalah periode sinodis sebuah planet. **Bagaimana dengan periode siderisnya?** Yaitu dapat kita lakukan dengan menurunkan berdasarkan periode sinodisya

Untuk menghitung besarnya periode sideris sebuah planet maka kita dapat memahami gambar 4.7 yang menurunkan hubungan periode sideris, periode sinodis sebuah planet dan periode bumi.



Gambar 4.7 Kedudukan Planet luar pada periode sinodis dan

Berdasarkan gambar 4.7 diperlihatkan bahwa planet luar A berada pada oposisi A_1 terhadap matahari M jika anda lihat dari bumi B_1 . Dalam waktu sehari bumi menempuh sudut B_1MB_2 atau

$$\text{Sudut } B_1MB_2 = \frac{360^\circ}{P_\oplus} \quad (4.1)$$

Sedangkan untuk sudut yang ditempuh oleh planet adalah sebesar

$$\text{Sudut } A_1MA_2 = \frac{360^\circ}{P} \quad (4.2)$$

Jika beda sudut antara planet dengan bumi adalah selisih persamaan 4.1 terhadap persamaan 4.2 maka akan diperoleh

$$\text{Beda sudut} = \frac{360^\circ}{P_\oplus} - \frac{360^\circ}{P} \quad (4.3)$$

Setelah periode sinodis planet maka bumi dan planet saling beertindihan pada kondisi yang diperlihatkan di titik A_3 dan B_3 sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{360^\circ}{P_\oplus} - \frac{360^\circ}{P} \right) S = 360^\circ \\ &= \left(\frac{360^\circ}{P_\oplus} - \frac{360^\circ}{P} \right) = \frac{360^\circ}{S} \\ &\frac{1}{P_\oplus} - \frac{1}{P} = \frac{1}{S} \end{aligned}$$

Keterangan:

P_\oplus = Periode sideris bumi (1 tahun)

P = Periode sideris planet

S = Periode sinodis planet

Jika periode sideris bumi adalah 1 tahun maka kita dapati persamaan menjadi berikut:

$$\frac{1}{P_{\square}} - \frac{1}{P} = \frac{1}{S}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{P_{\square}} - \frac{1}{S}$$

$$\frac{1}{P} = 1 - \frac{1}{S}$$

Jadi persamaan yang digunakan dalam menentukan waktu sideris planet luar adalah

$$\frac{1}{P} = 1 - \frac{1}{S} \quad (4.4)$$

Lalu bagaimana dengan perhitungan periode sideris planet dalam seperti merkurius dan venus. Dapat kita lakukan dengan menggunakan cara penurunan yang sama yaitu menjadi:

$$= \left(\frac{360^0}{P} - \frac{360^0}{P_{\square}} \right) S = 360^0$$

$$= \left(\frac{360^0}{P} - \frac{360^0}{P_{\square}} \right) = \frac{360^0}{S}$$

$\frac{1}{P} - \frac{1}{P_{\square}} = \frac{1}{S}$ sehingga diperoleh waktu sideris untuk planet dalam adalah sebesar:

$\frac{1}{P} = \frac{1}{S} + \frac{1}{P_{\square}} = \frac{1}{S} + 1$ namun biasa dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{S} + 1 \text{ atau } \frac{1}{P} = 1 + \frac{1}{S} \quad (4.5)$$

4.6 Kajian Bumi Sebagai Tempat Tinggal Mahluk Hidup

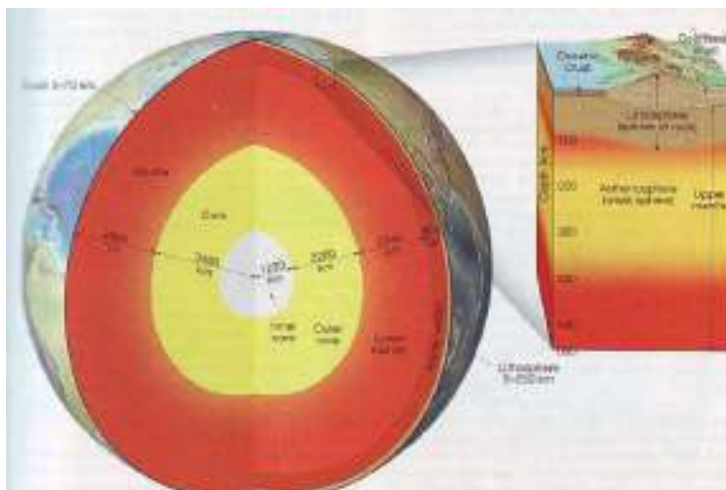
Hidrosfer adalah massa dinamis dari cairan yang terus berubah, menguap dari lautan ke atmosfer, dengan cepat ke darat, dan kembali ke laut lagi. Lautan secara keseluruhan hampir 71 % dari permukaan bumi. Hidrosfer juga mencakup air tawar yang ditemukan di sungai, danau, gletser, dan air bawah tanah.

Atmosfer adalah selimut gas yang memberi hidup sekitar bumi. Pertukaran energi yang terus-menerus terjadi antara atmosfer dan permukaan bumi dan antara atmosfer dan ruang menghasilkan efek yang kita sebut cuaca dan iklim .

Biosfer mencakup semua kehidupan di bumi. Kehidupan laut terkonsentrasi di perairan permukaan laut yang mendapat sinar matahari. Sebagian besar kehidupan berada di darat dan juga terkonsentrasi dekat permukaan laut. Berbagai variasi bentuk kehidupan juga disesuaikan dengan lingkungan ekstrim. Sebagai contoh, di dasar laut dan di air panas mendidih.

Diantara di bawah atmosfer dan laut adalah bumi padat atau geosfer. Tanah merupakan lapisan tipis bahan dari permukaan bumi yang mendukung pertumbuhan tanaman, sebagai bagian dari tempat bidang tumbuh tanaman. Di dalam tanah terdapat Campuran lapuk, batu debrus (geosfer) dan bahan organik (*Biosfer*). Kejadian membusuk dan hancur reruntuhan batu adalah produk dari proses pelapukan yang memerlukan udara (atmosfer) dan air (hidrosfer).

Struktur internal bumi merupakan bagian dalam bumi yang terdiri dari lapisan dengan komposisi: Kerak, mantel, dan inti



Gambar 4.8. Susunan Lapisan Bumi

1. Kerak :

Kerak samudera : 7 km tebal dan terdiri dari batuan beku, batuan basalt dan gabro

Kerak benua : 40 km tebal tapi dapat melebihi 70 km di beberapa daerah pegunungan. Rata-rata komposisi batu granit

Batu-batu dari kerak samudera memiliki kepadatan sekitar $3,0 \text{ g/cm}^3$ dan 180 juta tahun atau kurang. Batuan benua memiliki kepadatan rata-rata $2,7 \text{ g/cm}^3$, dan lebih dari 4 miliar tahun.

2. Mantel Bumi

Lebih dari 82 % volume bumi yang terkandung di dalam mantel bumi. Mantel bumi merupakan lapisan berbatu padat yang meluas ke kedalaman sekitar 2900 km. Dominan jenis batuan di dalam mantel teratas adalah peridotit, yang memiliki kerapatan $3,4 \text{ g/cm}^3$.

3. Inti Bumi

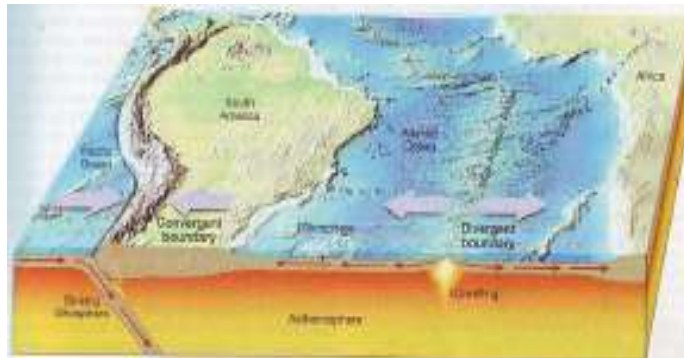
Inti adalah bola terutama terdiri dari paduan besi nikel. Pada tekanan yang ekstrim ditemukan di pusat inti, yang kaya zat besi bahan memiliki kepadatan rata-rata hampir 13 g/cm^3 .

Lapisan didefinisikan sebagai sifat fisik: *Litosfer*, *astenosfer*, Mantel Bawah, inti luar, dan Inti dalam. Dengan ciri-ciri keadaan fisiknya adalah sebagai berikut:

1. *Litosfer*: dingin, shell kaku, 100 km tebal mungkin 250 km tebal di bawah benua tertua.
2. *Astenosfer*: di bawah *Litosfer*, lembut, lapisan lemah. Sebagian besar padat batu tapi dekat dengan suhu leleh.
3. Mantel bawah: antara 660 km – 2.900 km lapisan lebih kaku, batuan panas dan mampu aliran bertahap.
4. Inti Luar: shell cair 2.260 km tebal. Aliran logam besi menghasilkan medan magnet bumi.
5. Inti dalam : radius 1.220 km, bahan dikompresi menjadi solid state oleh tekanan besar.

Pergeseran benua adalah pergerakan benua atau permukaan muka planet ini, hal ini didukung oleh teori lempeng tektonik. Kulit keras terluar Bumi (*Litosfer*) ini dibagi menjadi beberapa lempengan yang disebut lempeng, yang bergerak terus-menerus. Lempeng *Litosfer* bergerak relatif satu sama lain pada tingkat yang berkelanjutan rata-rata sekitar 5 cm per tahun. Mereka berinteraksi dengan

marginnya. Dimana dua lempeng bergerak bersama, yang disebut batas konvergen. Salah satu lempeng terjun di bawah yang lain dan turun ke dalam mantel. Lempeng *Litosfer* berhubungan dengan kerak samudera padat yang tenggelam ke dalam mantel. Anda dapat melihatnya melalui gambar 4.9 berikut ini:



Gambar 4.9. Pola Gerak Lempeng Bumi

Ketika dua lempeng kerak benua bertemu, terjadi tabrakan dari dua tepi benua. Hasilnya adalah pembentukan amjor daerah gunung, seperti yang dicontohkan oleh Himalaya dan bukit-bukit sekitar garis pantai. Batas divergen berada di posisi lempeng terpisah. Fraktur dibuat seperti pelat terpisah diisi dengan batuan cair yang memancar dari mantel. Bahan panas perlahan mendingin untuk membentuk *hard rock*, yang menghasilkan potongan baru dasar laut.

Pergerakan pelat ultimatley didorong oleh distribusi panas yang tidak merata dalam planet kita. Suhu di bagian dalam bumi melebihi 6700 C. Perbedaan suhu ini mendorong mekanisme konveksi di mana panas (kurang padat) bahan naik dan lebih dingin (lebih padat) menyebabkan material tenggelam. Peristiwa konvekksi yang mendorong gerak lempeng melibatkan mantel dan lempeng *Litosfer* sendiri. Gerakan *grinding* pelat *Litosfer* bumi menghasilkan gempa bumi, gunung berapi, merusak massa besar batu ke pegunungan.

Energi di dalam bumi didukung oleh energi interior bumi. Sedangkan proses Cuaca dan iklim, sirkulasi laut, dan proses erosi didorong oleh energi dari matahari. Panas Internal bumi ini diperoleh dari Panas yang tersisa ketika planet kita terbentuk, dan juga dari panas yang terus menerus yang dihasilkan oleh peluruhan unsur-unsur radioaktif dalam proses internal.

4.7 Sistem Keteraturan Gerak Planet

Sistem gerak planet erat kaitannya dengan beberapa penelitian yang dilakukan oleh beberapa ahli astronomi diantaranya yaitu:

- a. **Al Battani** merupakan ahli astronom Islam yang menghabiskan waktunya selama 42 Tahun untuk menghitung waktu bumi dalam mengitari matahari (revolusi) yaitu selama 365 hari, 5 jam, 46 menit dan 24 detik
- b. **Tyco Brahe** adalah ahli astronom yang mencatat mengenai posisi dan lintasan planet-planet. Tyco menganggap bahwa bintang yang tiba-tiba muncul di langit dan posisinya relatif tidak berubah terhadap bintang-bintang tetap.
- c. **Johannes Kepler** merupakan murid atau asisten dari Tyco Brahe, setelah Tyco meninggal kepler melanjutkan penelitian dari data-data yang diperoleh Tyco dan kemudian diperoleh rumusan tiga hukum yang dikenal dengan hukum Kepler.
- d. **Galileo Galilei**, dalam bidang astronomi galileo galilei sangat memberikan sumbangsih yang begitu besar atas penemuan teleskop. Dengan penemuan teleskop ini maka terpatahkanlah teori geosentris dan diakuinya teori heliosentris
- e. **Sir Isaac Newton** adalah orang yang berjasa dalam bidang fisika melalui hukum-hukum fisika newton dalam fisika klasik. Newton, dalam bidang astronomi sangat berjasa dalam penemuan hukum gravitasi.

Hukum gravitasi merupakan hukum yang paling diakui, sehingga penulis dalam menjelaskan sistem keteraturan planet mengambil prinsip hukum ini. Newton melangkah lebih lanjut dan melakukan penelitian mengenai analisis gravitasi, dia meneliti mengenai orbit-orbit planet dalam mengitari matahari yang telah dia dapatkan. Dari hasil ini dia mendapatkan bahwa gaya gravitasi yang dikerjakan matahari pada planet mampu menjaga planet tetap pada orbitnya mengitari matahari ternyata juga berkurang secara kuadrat terhadap jarak planet ke matahari. Oleh karena kesebandingan terbalik kuadrat jaraknya maka Newton menyimpulkan bahwa gaya gravitasi matahari terhadap planet yang menjaga planet tetap pada orbitnya. Maka dari kesimpulan ini lahirlah hukum Newton mengenai gravitasi yaitu *gaya gravitasi antara dua buah benda merupakan gaya tarik menarik yang besarnya berbanding lurus dengan massa masing-masing benda dan*

berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara keduanya. Dengan rumusan persamaannya adalah:

$$F_{12} = F_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4.6)$$

Keterangan:

- G = Tetapan umum gravitasi ($6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}$)
F = Besar gaya tarik menarik (N)
m = massa benda (Kg)
r = jarak antara dua buah benda (meter)

Terdapat 3 kaidah yang perlu diperhatikan dalam menggunakan persamaan di atas yaitu

1. Benda dianggap bola seragam, jadi r adalah jarak pisah antara kedua pusat benda
2. Garis kerja gaya gravitasi terletak pada garis hubung yang menghubungkan pusat benda massa 1 dan pusat benda massa 2
3. F_{12} merupakan gaya aksi dan F_{21} merupakan gaya reaksi dengan arah gaya antara F_{12} dan F_{21} selalu berlawanan arah.

Penentuan ketetapan nilai gravitasi dilakukan oleh *Henry Cavendish* menggunakan percobaan neraca torsi yang gerakannya sangat halus dan peka. Gaya gravitasi pada prinsipnya ada di setiap tempat dimana ada benda yang bermassa sehingga muncul istilah medan gravitasi. Medan ini menyebar walaupun kita tidak melihat adanya benda lain disekitarnya. Medan yang dikeluarkan oleh benda yang bermassa yang memenuhi suatu ruang disebut sebagai medan gravitasi. Seandainya benda bermassa **M** mengeluarkan medan gravitasi, maka ketika kita memasukan benda dengan massa **m** disekitarnya diperoleh bahwa benda yang massanya **m** akan dipengaruhi oleh medan gravitasinya yang ditimbulkan **M**. Sehingga dapat diambil sebuah pengertian bahwa **medan gravitasi adalah sebuah pengaruh gaya gravitasi yang diberikan kepada benda lain yang memasuki wilayah ruang gravitasi suatu benda.** Dapat dituliskan dalam sebuah persamaan sebagai berikut:

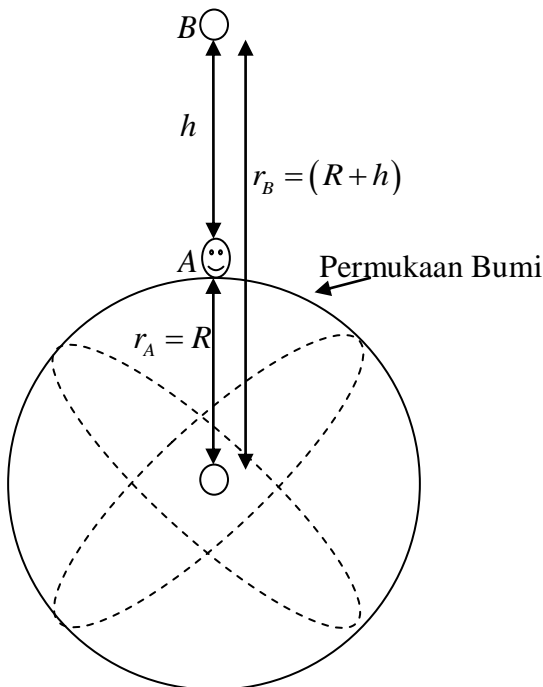
$$g = \frac{F}{m} \quad (4.7)$$

lakukan substitusi dari persamaan 4.3, maka diperoleh nilai dari **medan gravitasi** adalah:

$$g = \frac{G \frac{Mm}{R^2}}{m} = G \frac{M}{R^2} \quad (4.8)$$

Lalu apakah sama besarnya pengaruh gaya gravitasi sebuah benda yang berada di dalam permukaan bumi dengan yang berada di luar permukaan bumi?. jelas tidaklah sama karena kita mengetahui dari bentuk perbandingan yang dilakukan oleh Newton antara buah apel yang jatuh dari pohon dan kenapa bulan tidak ikut jatuh pula?. Maka jelas terdapat faktor beda ketinggian antara kedua fenomena yang di bandingkan oleh Newton.

4.7.1 Gravitasi di Permukaan Bumi



Keterangan:

h = Ketinggian benda terhadap permukaan bumi (m)

R = Jarak permukaan bumi terhadap pusat bumi/jari-jari bumi (m)

Gambar 4.10. Gravitasi dipermukaan bumi

Jika gambar 4.10 menjelaskan bahwa seorang dipermukaan bumi melemparkan benda setinggi h maka pengaruh gravitasinya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

$$\frac{g_B}{g_A} = \frac{G \frac{M}{R_B^2}}{G \frac{M}{R_A^2}} = G \frac{M}{R_B^2} * \frac{R_A^2}{GM} = \frac{R_A^2}{R_B^2}$$

Sehingga dapat diperoleh besarnya gravitasi pada benda **B** adalah

$$\frac{g_B}{g_A} = \frac{R_A^2}{R_B^2} = \frac{R^2}{(R+h)^2} = \frac{R^2}{R^2 + 2Rh + h^2} \quad (4.9)$$

Berdasarkan keadaan gambar 4.3, kita juga dapat meninjau besarnya gaya gravitasi Newton. Ketika benda B (dengan jarak $r_b = (R+h)$) berpindah posisi menjadi benda A (dengan jarak $r_A = R$) maka ketika berpindah benda memberikan gaya yang arahnya berlawanan dengan perubahan posisinya, sehingga dapat diperoleh sebuah persamaan sebagai berikut:

$$W_{1,2} = -F_{gravitasi} \Delta r \quad (4.10)$$

Dari persmaan ini kemudian kita melakukan substitusi dari persamaan 4.3 sehingga diperoleh keadaan integrasi karena kita menggunakan perubahan posisi.

$$\begin{aligned} W_{1,2} &= \int_{r_1}^{r_2} -F_{gravitasi} dr = \int_{r_1}^{r_2} -\frac{GMm}{r^2} dr \\ &= -GMm \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r^2} dr = -GMm \int_{r_1}^{r_2} r^{-2} \\ &= -GMm \left[-r^{-1} \right] = -GMm \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_1}^{r_2} \\ &= GMm \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \end{aligned}$$

Dari hasil perumusan di atas maka kita dapati bahwa besarnya usaha gravitasi benda oleh hukum Newton mengenai gravitasi adalah

$$W_{gravitasi} = GMm \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (4.11)$$

Seandainya kita hendak memindahkan sebuah benda sejauh X dari permukaan bumi, maka jika R adalah besarnya jari-jari bumi dan nilai X=R maka

kita dapat menghitung besarnya usaha yang perlu dilakukan terhadap benda yaitu dengan menggunakan persamaan 4.8.

$$W_{1,2} = GMm \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r} \right) \Rightarrow \text{maka } r_2 = 2R \text{ dan } r_1 = R$$

$$W_{1,2} = GMm \left(\frac{1}{2R} - \frac{1}{R} \right) = GMm \left(\frac{1-2}{2R} \right)$$

$$W_{1,2} = -GMm \frac{1}{2R}$$

Dari hasil substitusi nilai ke persamaan maka tanda negatif menunjukkan bahwa memang dibutuhkan usaha untuk memindahkan benda sejauh X menjauhi bumi. **Lalu bagaimana dengan pengaruh Energi Potensialnya?.** Kita mengetahui bahwa energi potensial dipengaruhi oleh ketinggian suatu benda terhadap permukaan bumi, maka besarnya energi potensial dapat dirumuskan menjadi:

$$W_{\text{gravitasi}} = -\frac{GMm}{r} \quad (4.12)$$

Misalkan kita sajikan sebuah fenomena, **Indonesia mengadakan penelitian ke bulan dengan mengirim ahli astronominya menggunakan sebuah roket.** Jika jarak roket terhadap pusat bumi dianggap sebagai jari-jari bumi dengan jarak R, dan jarak bulan ke bumi adalah 3R maka kita dapat menghitung besarnya energi yang dikeluarkan adalah:

$$W_{\text{gravitasi}} = -\Delta E_p = -(E_{p_2} - E_{p_1}) \quad \text{jika } E_p = -\frac{GMm}{r}$$

$$\text{jarak ke bulan } (R + 3R = 4R) \text{ sehingga } E_{p_2} = -\frac{GMm}{4R}$$

$$\text{jarak benda ke permukaan bumi sehingga } E_{p_1} = -\frac{GMm}{R}$$

$$W_{\text{gravitasi}} = -\left(-\frac{GMm}{4R} - \frac{GMm}{R} \right) = -\left(-\frac{GMm}{4R} - \left(-\frac{4GMm}{4R} \right) \right)$$

$$W_{\text{gravitasi}} = -\left(-\frac{GMm}{4R} + \frac{4GMm}{4R} \right) = -\left(\frac{3GMm}{4R} \right)$$

$$W_{\text{gravitasi}} = -\frac{3GMm}{4R}$$

Berdasarkan hasil di atas maka dengan melakukan substitusi persamaan 4.8 maka dapat diperoleh bahwa:

$$W_{\text{gravitasi}} = -\frac{3GMm}{4R} \text{ jika } g = \frac{GM}{R^2} \Rightarrow GM = gR^2$$

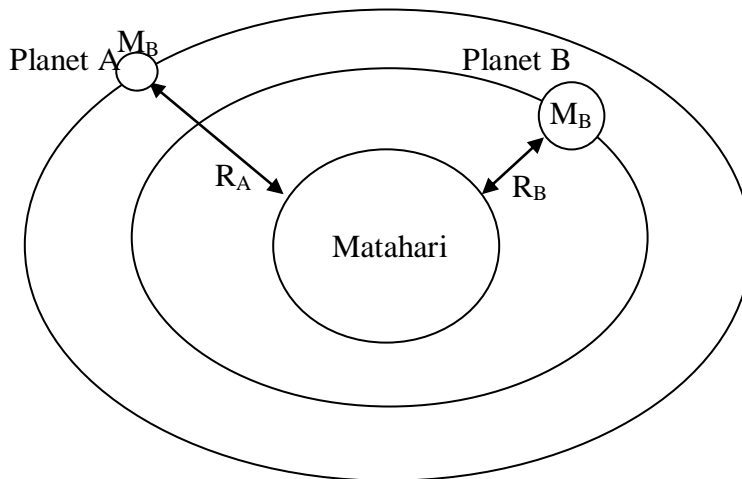
$$W_{\text{gravitasi}} = -\frac{3gR^2m}{4R} = -\frac{3}{4}mgR$$

Lalu bagaimana jika keberadaan benda yang teramat jauh dari bumi dengan jarak tak terhingga apakah masih memiliki pengaruh Energi potensial. Karena letaknya yang terlalu jauh dari permukaan bumi maka kita dapat mengatakan bahwa energi potensialnya adalah **nol atau tidak memiliki energi potensial**. Dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$E_p = -\frac{GMm}{r} = -\frac{GMm}{\infty} = 0$$

4.7.2 Benda Berada di Luar Permukaan Bumi

Benda berada di luar permukaan bumi artinya benda berada di luar atmosfer bumi dengan jarak R maka penentuan gaya gravitasinya dapat menggunakan persamaan 4.5. Namun untuk perbandingan besarnya gravitasi antara dua planet dapat kita hitung dengan langkah sebagai berikut:



Gambar 4.11 . Hubungan Jarak antar Planet

Dari ilustrasi gambar di atas maka kita akan mendapati bahwa hubungan gravitasi dari planet A terhadap planet B adalah:

$$\frac{g_A}{g_B} = \frac{\frac{GM_A}{R_A^2}}{\frac{GM_B}{R_B^2}} = \frac{\cancel{G}M_A}{R_A^2} \frac{R_B^2}{\cancel{G}M_B} = \frac{M_A}{R_A^2} \frac{R_B^2}{M_B}$$

$$\frac{g_A}{g_B} = \frac{M_A}{M_B} \frac{R_B^2}{R_A^2}$$

$$\frac{g_A}{g_B} = \frac{M_A}{M_B} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^2$$

Maka diperoleh bahwa hubungan antara dua planet yang berjarak R terhadap bumi

adalah $\frac{g_A}{g_B} = \frac{M_A}{M_B} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^2$

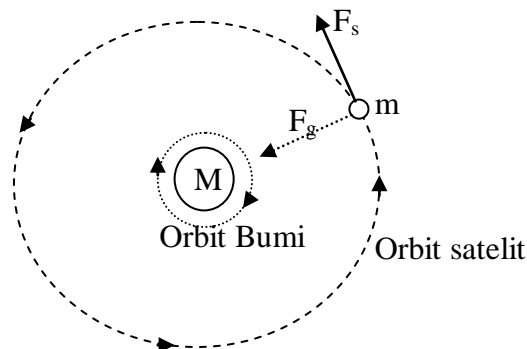
4.7.3 Kelajuan Benda Langit dalam Mengorbit Bumi

Marilah kita berangan-angan, membayangkan kita sedang melempar sebuah bola. Anggaplah bola ini adalah bola kasti, jika bola Anda lemparkan tentunya akan jatuh kembali ke permukaan bumi dengan lintasan membentuk parabola atau melengkung. Bola yang jatuh ke permukaan bumi itu terjadi karena gaya lempar yang kita berikan ke bola telah habis sehingga bola tertarik gaya gravitasi bumi.

Bagaimana jika bola kita tambahkan kecepatannya!!.

Maka jelas akan kita dapat bola akan bergerak melingkar memutar bumi. Begitulah prinsip sebuah satelit bekerja terhadap bumi. Satelit dapat beredar mengorbit bumi hanya jika satelit telah mampu menahan atau melawan dari pengaruh gaya gravitasi bumi seperti halnya bulan.

Kita dapat menurunkan persamaan untuk menghitung besarnya kecepatan orbit sebuah benda menggunakan persamaan gaya sentripetal dan gaya gravitasi bumi.



Gambar 4.11 Gaya Gravitasi pada benda bermasa m di permukaan bumi

$$\begin{aligned}
 F_{\text{gravitasi}} &= G \frac{Mm}{R^2} \quad \text{dan} \quad F_{\text{sentripetal}} = \frac{mv^2}{R} \\
 F_{\text{gravitasi}} &= F_{\text{sentripetal}} \\
 G \frac{Mm}{R^2} &= \frac{mv^2}{R} \\
 \frac{GM}{R^2} &= \frac{v^2}{R} \\
 v^2 &= \frac{GM R}{R^2} = \frac{GM}{R} \\
 v^2 &= \frac{GM}{R}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan ini kita dapat melakukan substitusi persamaan medan gravitasi 4.7 sehingga diperoleh kecepatan yang diperlukan untuk mengorbit bumi yakni

$$\begin{aligned}
 v^2 &= \frac{GM}{R} \quad \Rightarrow \quad g = \frac{GM}{R^2} \text{ sehingga } GM = gR^2 \\
 v^2 &= \frac{gR^2}{R} = gR \\
 v &= \sqrt{gR}
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

4.7.4 Penemuan Johannes Kepler Mengenai Bentuk Lintasan Planet

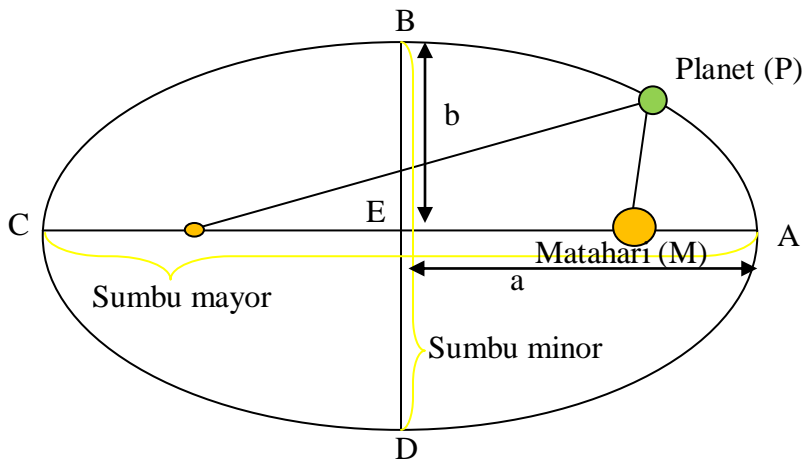
Kiprah seorang Johannes Kepler dalam dunia astronomi membahas mengenai lintasan dari sebuah orbit planet yang berbentuk elips. **Bagaimana hukumnya bagaimana perumusannya sehingga dikatakan elips.** Mari kita bahas dalam sub bab ini.

Seperti yang telah saya jelaskan sebelumnya bahwa kepler adalah seorang asisten dari tyco brahe. Kemudian kepler diwarisi laboratorium dan memanfaatkan data-data yang dimiliki oleh Tyco sehingga mengolahnya menjadi sebuah perumusan matematis. Sehingga diperoleh 3 hukum gerak planet yang dikenal sebagai hukum kepler yang dilakukan selama 20 tahun, dan hukum ini memperkuat teori heliosentris. Ketiga hukum kepler itu dapat di jelaskan sebagai berikut:

a. Hukum I Kepler

“Planet bergerak dalam sebuah bidang datar berbentuk elips dengan matahari berada pada salah satu titik fokusnya”

Pernyataan ini menunjukkan bahwa kedudukan planet terhadap matahari jelas akan selalu mengalami perubahan. Sehingga terdapat titik perihelium (titik terdekat) dan titik Aphelium (titik terjauhnya). Secara matematis unsur-unsur elips dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 4.12 Hukum 1 Kepler

Keterangan:

Planet P berada pada posisi perihelion dengan

$AC = \text{sumbu mayor}$ dan $AE = \frac{1}{2} \text{ sumbu mayor} = \text{sumbu semi mayor} (a)$

$BD = \text{sumbu minor}$ dan $BE = \frac{1}{2} \text{ sumbu minor} = \text{sumbu semi minor} (b)$

$EM/EA = e = \text{eksentrisitas}$

Sehingga terdapat rumusan persamaannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b^2 &= a^2(1 - e^2) \\ ME = r_p &= a(1 - e) \\ MC = r_a &= a(1 + e) \end{aligned} \tag{4.14}$$

Apabila $e = 0$ maka orbitnya berbentuk lingkaran

$0 < e < 1$, maka orbitnya elips

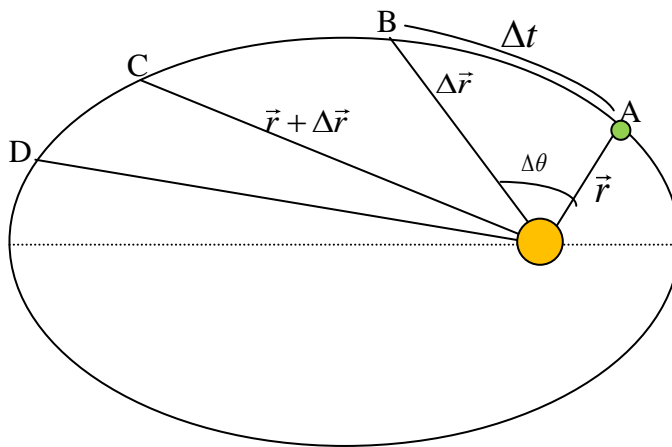
$e = 1$, maka orbitnya parabola

$e > 1$, maka orbitnya hiperbola

b. Hukum II Kepler

“Dalam sebuah selang waktu yang sama (Δt), vektor jejari ke matahari (r) meyapu luasan daerah yang sama” jika luasan selalu sama dalam waktu yang sama maka r akan selalu mengalami perubahan begitu juga (s) jarak tempuh lintasan planet pun akan berubah. Konsekuensinya berarti bahwa kecepatan planet adalah tidak sama pada setiap titiknya, artinya pada saat titik terdekat (perihelium) kecepatan akan lebih besar daripada saat titik terjauh (aphelium) terjadi.

Mari kita visualkan dalam bentuk gambar agar lebih mudah dipahami, perhatikan gambar 4.12 berikut ini:



Gambar 4.13 Analisis Orbit Planet

Dari visualisasi gambar 4.12 di atas saya ingin menunjukkan bahwa planet bergerak dari titik A ke B kemudian ke C sampai pada D pada setiap luasan terhadap matahari maka memiliki luasan yang sama “seperti yang dikatakan hukum II Kepler”. Hukum II Kepler merupakan konsekuensi dari hukum kekekalan momentum sudut dengan penurunan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L &= [r \times p] \\
 L &= [r \times m v] \\
 L &= r m v \sin \theta
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Jika perubahan kedudukan dari A ke B planet dalam selang waktu yang kecil

yaitu Δt maka kecepatannya menjadi $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ sehingga persamaan 4.15 menjadi

$$L = m r \left(\frac{|\Delta r| \sin \theta}{\Delta t} \right) \text{ jika } |\Delta r| \sin \theta = r \Delta \theta$$

seperti ini

$$L = m r \left(\frac{r \Delta \theta}{\Delta t} \right) \text{ karena limit } \Delta t \rightarrow 0 \text{ maka } \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \omega$$

$$L = m r (r \omega) = m r^2 \omega \quad (4.16)$$

OAB merupakan luasan segitiga maka kita dapat menghitung besarnya luasan yaitu

$$L_{OAB} = \frac{1}{2} \text{ alas } \times \text{tinggi} = \frac{1}{2} (r \Delta \theta) r$$

$$L_{OAB} = \frac{1}{2} r^2 \Delta \theta \quad (4.17)$$

Persamaan 4.17 dapat kita turunkan kembali dengan memasukan variabel momentum sudut sehingga menjadi sebuah persamaan berikut ini:

$$dL_{OAB} = \frac{1}{2} r^2 \frac{\Delta \theta}{dt} dt = \frac{1}{2} r^2 \omega dt$$

$$dL_{OAB} = \frac{1}{2} r^2 \omega dt$$

$$\frac{dL_{OAB}}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \omega \text{ karena } L_{\text{awal}} = m r^2 \omega \text{ sehingga } r^2 \omega = \frac{L_{\text{awal}}}{m}$$

$$\frac{dL_{OAB}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{L_{\text{awal}}}{m}$$

$$\frac{dL_{OAB}}{dt} = \frac{L_{\text{awal}}}{2m}$$

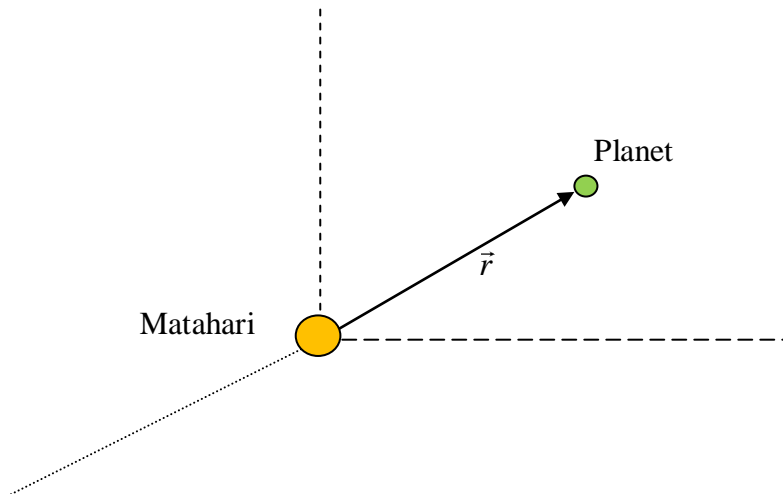
Hasil substitusi persamaan di atas menunjukkan kejadian fisis bahwa untuk ketika L dan m memunculkan harga yang tetap maka dalam selang waktu yang sama akan menempuh perluasan yang besarnya sama.

c. Hukum III Kepler

“Bila waktu edar planet mengelilingi matahari adalah T dan jarak setengah sumbu panjang elips R, maka $T^2/R^3 = C$ (konstan). C adalah konstanta yang harganya sama untuk semua planet”. Hukum kepler 3 banyak digunakna untuk menentukan besaran astronomis seperti jarak planet, periode,

ukuran dan lintasannya. Selain itu melalui hukum ini kita juga dapat menentukan kecepatan orbit sebuah benda langit dan kecepatan lepas dalam penerbangan pesawat antariksa.

Perumusan hukum III Kepler dapat divisualisasi dengan fenomena fisis pengaruh gaya terhadap sebuah benda yang bergerak.



Gambar 4.14. Visualisasi Hukum III Kepler

Sumber gaya yang bekerja terhadap planet berasal dari matahari. Sehingga planet yang bermassa **m** akan dikenai gaya, ini berarti bahwa vektor gaya adalah **r**. Maka gaya sentralnya menjadi:

$$F_{\text{central}} = k/r^2 \quad (4.18)$$

Dengan melakukan substitusi terhadap pengaruh gaya sentripetal maka kita dapatkan

$$F_{\text{central}} = \frac{k}{R^2} \text{ dan } F_{\text{sentripetal}} = \frac{mv^2}{R} \text{ sehingga} \quad (4.19)$$

$$F_{\text{central}} = F_{\text{sentripetal}}$$

$$\frac{k}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

$$mv^2 R^2 = kR$$

$$v^2 = \frac{kR}{mR^2} \quad \text{jika } v = \omega R \text{ dengan } \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ maka } v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\left(\frac{2\pi R}{T} \right)^2 = \frac{kR}{mR^2}$$

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{k}{mR}$$

$$kT^2 = 4m\pi^2 R^3$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4m\pi^2}{k} \quad \text{jika } \frac{4m\pi^2}{k} = C \text{ maka terbukti bahwa}$$

$$\frac{T^2}{R^3} = C$$

Maka dapat dibuktikan bahwa persamaan hukum kepler III adalah $\frac{T^2}{R^3} = C$ (4.20)

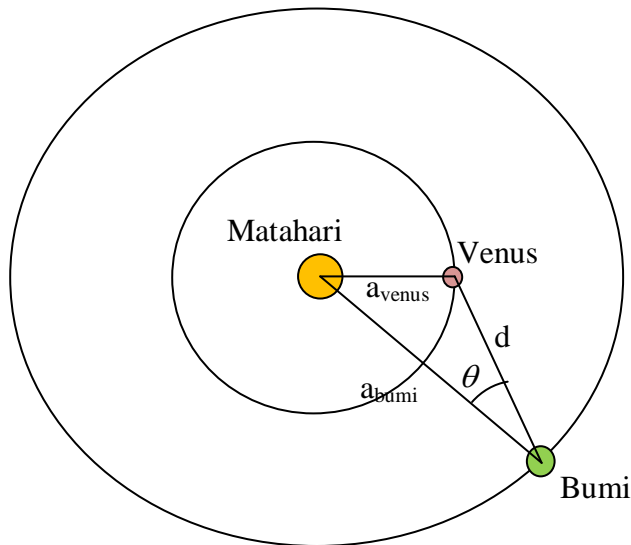
Anda juga dapat membuktikan persamaan di atas dengan melakukan substitusi dari persamaan hukum newton II dan gaya sentripetal.

4.7.5 Aplikasi Hukum Kepler dan Hukum Newton

a. Mengukur Jarak Bumi-Matahari

Dari beberapa persamaan yang telah saya tunjukan di atas dapat kita gunakan untuk menemukan besaran-besaaran fisis yang urgen dalam astronomi. Salah satu hal yang dapat kita lakukan yaitu menemukan dan menghitung besarnya jarak bumi ke matahari.

Cara terkini yang digunakan untuk mengukur jarak bumi ke matahari adalah menggunakan radar, namun radar tersebut digunakan untuk mengukur jarak venus. Jarak rerata bumi ke matahari adalah 1 SA/ 1 AU. Andaikan orbit venus dan bumi adalah berupa lingkaran, jika $T_{\text{bumi}} = 365,25$ hari dan $T_{\text{venus}} = 224,70$ hari. Maka dengan memanfaatkan hukum kepler III kita peroleh hasil (perhatikan gambar perhitungannya):



Gambar 4.15. Menghitung jarak bumi-matahari

Jika $a_v = R_v$ adalah jari-jari venus dan $a_b = R_b$ adalah jarak bumi ke matahari, maka dengan menggunakan persamaan hukum kepler III, jarak bumi ke matahari akan dengan mudah kita selesaikan.

$$\frac{T_v^2}{R_v^3} = \frac{T_b^2}{R_b^3} \text{ sehingga menjadi } \frac{T_v^2}{T_b^2} = \frac{R_v^3}{R_b^3}$$

$$\frac{T_v^2}{T_b^2} = \frac{R_v^3}{R_b^3} \text{ atau } \frac{R_v^3}{R_b^3} = \frac{T_v^2}{T_b^2}$$

$$\frac{R_v}{R_b} = \left(\frac{T_v^2}{T_b^2} \right)^{2/3} = f \text{ maka } f = \frac{R_v}{R_b} \text{ sehingga jika } R_v^2 = f R_b^2$$

Dari perumusan persamaan di atas maka kita akan diperoleh bahwa bidang yang dibentuk pada ilustrasi gambar 4.15 membentuk segitiga, maka apabila kita dengan menggunakan aturan vektor, maka diperoleh hasil berikut ini.

$$R_v^2 = R_b^2 + d^2 - 2 R_b d \cos \theta \text{ jika } R_v^2 = f R_b^2$$

$$f R_b^2 = R_b^2 + d^2 - 2 R_b d \cos \theta$$

Berdasarkan hasil perumusan persamaan di atas, maka kita tinggal menentukan besarnya nilai d dengan d adalah jarak venus ke bumi.

Panjangnya d telah dapat ditentukan menggunakan radar yang sebelumnya yang telah saya jelaskan di atas, dan dari hasil pengukuran radar diperoleh jarak bumi ke matahari adalah $149,59 \times 10^6$ km atau jika dibulatkan akan menjadi 150 juta Km.

b. Menentukan Massa Matahari

Target kita selanjutnya adalah menentukan massa matahari, **bagaimana ya caranya?,,,apakah kita harus membawa neraca untuk menimbang massa matahari?,,,tentu tidak.** Dengan menggunakan data-data awal yang sudah diperoleh dan konsep dari hukum kepler dan newton maka diperoleh gambaran massa matahari sebagai berikut:

Data awal yang kita miliki adalah $T_{\text{bumi}} = 3,16 \times 10^7$ s, $G = 6,67 \times 10^{-11}$ Nm^2/kg^2 dan Jarak bumi ke matahari adalah 150×10^6 km. Sehingga dari perumusan hukum kepler III diperoleh:

$$\begin{aligned}\frac{T^2}{R^3} &= \frac{4\pi^2}{GM} \\ GM T^2 &= 4\pi^2 R^3 \\ M &= \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}\end{aligned}$$

Maka dengan memasukan nilai-nilai yang telah di ketahui di atas kita dapat menghitung besarnya massa matahari.

$$\begin{aligned}M &= \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2} \\ M &= \frac{4(3,14)^2 (150 \times 10^6)^3}{(6,67 \times 10^{-11})(3,16 \times 10^7)^2} \\ M &= 2 \times 10^{30} \text{ kg}\end{aligned}$$

Jadi diperoleh massa matahari adalah 2×10^{30} Kg.

c. Menentukan Massa Bumi

Sama halnya dengan menghitung massa matahari, kita membutuhkan data-data awal untuk masuk dalam perhitungan sehingga memperoleh besarnya nilai dari massa bumi. persamaan yang digunakan adalah sama dengan persamaan yang digunakan dalam menghitung

besarnya massa matahari. Data awal yang kita miliki adalah mengacu pada bulan, $T = 2,36 \times 10^6$ s dan jarak bumi-bulan adalah $3,84 \times 10^8$ m

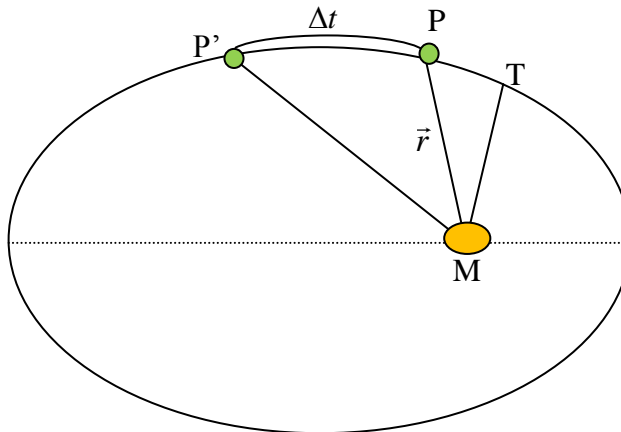
$$\begin{aligned}\frac{T^2}{R^3} &= \frac{4\pi^2}{GM} \\ GMT^2 &= 4\pi^2 R^3 \\ M &= \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2} \\ M &= \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2} \\ M &= \frac{4(3,14)^2 (3,84 \times 10^8)^3}{(6,67 \times 10^{-11})(2,36 \times 10^6)^2} \\ M &= 6,02 \times 10^{24} \text{ kg}\end{aligned}$$

Maka telah diperoleh besarnya massa bumi adalah $6,02 \times 10^{24}$ kg.

Silahkan coba gunakan intuisimu untuk menghitung besarnya massa bulan?

4.7.6 Orbit Lingkaran dan Kecepatan Lepas

Orbit lintasan sebuah planet yang berbentuk elips menerangkan kepada kita bagaimana cara yang dapat kita lakukan agar kita dapat mengitari sebuah planet dengan menggunakan pesawat antariksa misalnya. Langkah awal yang dapat kita lakukan yaitu dengan memahami hukum kepler II sebagai solusi agar kita dapat menerbangkan satelit dan mengirim astronot ke bulan. Mari bersama kita pahami!



Gambar 4.16. Analisis Kecepatan Lepas

Berdasarkan ilustrasi gambar 4.16 saya ingin memperlihatkan sebuah planet pada titik P yang berjarak vektor \vec{r} terhadap matahari. Sesuai dengan bunyi hukum kepler II “Dalam waktu yang sama orbit planet akan menyapu luasan bidang yang sama”. Luasan tersebut disebut sebagai **luasan areal** sehingga kecepatannya disebut **kecepatan areal**.

$$h = \frac{\text{luasan areal}}{\text{periode}} = \frac{\pi a b}{T} \quad (4.20)$$

Dengan **a** adalah sumbu semi mayor dan **b** adalah sumbu semi minor sedangkan **T** adalah periode.

Jika kita perhatikan gambar 4.15, planet bergerak dari P dan P' dalam waktu Δt sehingga kita dapat menentukan luasan segitiganya adalah dengan memisalkan ST tegak lurus terhadap PP' maka luas SPP' = $h \Delta t = \frac{1}{2} PP' \cdot ST$. Maka nilai **v=kecepatan orbitnya** adalah $v = PP' / \Delta t$, sehingga dapat diturunkan kecepatan areal dari P adalah:

$$\begin{aligned} h &= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\text{luasa segitiga}}{\Delta t} \\ h &= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{2} PP' ST}{\Delta t} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{2} v \Delta t ST}{\Delta t} \quad \text{karena } PP' = v \Delta t \\ h &= \frac{\frac{1}{2} v \Delta t ST}{\Delta t} = \frac{1}{2} v ST \end{aligned}$$

Dengan mematuhi dalil dari persamaan elips maka ketika $v = \frac{2h}{ST}$ ketika dikuadratkan diperoleh

$$v^2 = \frac{4h^2}{ST^2} \quad (4.21)$$

sehingga menjadi:

$$\frac{1}{ST} = \frac{a}{b^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \Rightarrow \text{dalil elips} \text{ sehingga dengan melakukan substitusi}$$

persamaan 4.21 maka akan diperoleh:

$$\frac{1}{ST} = \frac{a}{b^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \Rightarrow \text{dalil elips}$$

$$v^2 = \frac{4h^2}{ST^2} = 4h^2 \frac{a}{b^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \text{ dengan } h = \frac{\pi a b}{T}$$

$$v^2 = \frac{4h^2}{ST^2} = 4 \left(\frac{\pi a b}{T} \right)^2 \frac{a}{b^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

$$v^2 = 4 \frac{\pi^2 a^2 b^2}{T^2} \frac{a}{b^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \quad (4.22)$$

$$v^2 = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \text{ ingat bahwa } \frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

$$v^2 = 4\pi^2 \left(\frac{GM}{4\pi^2} \right) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Maka untuk menentukan besarnya kecepatan lepas sebuah pesawat antariksa, pesawat tersebut harus bergerak secara parabola. Bila orbit parabola memiliki nilai $a = \text{tak hingga}$ sehingga besarnya kecepatan lepas pesawat antariksa adalah:

$$v^2 = GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

$$v_{lpas}^2 = GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{\infty} \right)$$

(4.23)

$$v_{lpas}^2 = \frac{2GM}{r}$$

$$v_{lpas}^2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Jika $\sqrt{\frac{GM}{r}} = v_c$ maka besarnya kecepatan lepas dari pesawat antariksa yang diperlukan untuk lepas dari gravitasi bumi adalah sebesar

$$v_{\text{lepas}}^2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{2} v_c \quad (4.24)$$

Maka dengan demikian bentuk orbit suatu benda yang diluncurkan dari bumi ke luar angkasa seperti satelit atau pesawat antariksa akan sangat bergantung pada kecepatannya. Dengan memasukan data-data yang kita miliki, kita dapat menghitung kecepatan lepas yang diperlukan oleh satelit yang akan diluncurkan dari bumi.

Bila kita tinjau dari persamaan 4.23 terlihat bahwa besarnya massa mempengaruhi besarnya kecepatan lepas dan berada dalam daerah kesebandingan. Maka dapat kita katakan bahwa jelas kecepatan lepas di bumi akan lebih besar bila dibandingkan dengan kecepatan lepas di bulan.

Lalu apa pengaruhnya terhadap keadaan di bumi dan di bulan:

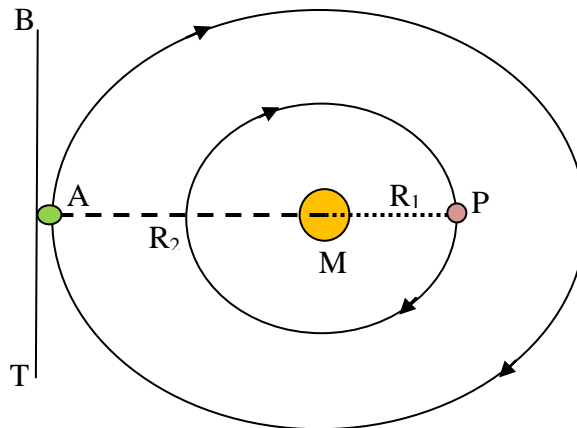
- 1) Karena kecepatan lepas di bulan lebih kecil maka bulan menjadi sukar untuk menangkap molekul-molekul udara, akibatnya udara di permukaan bulan akan mudah untuk lepas dan meninggalkan bulan.
- 2) Karena kecepatan lepas di bumi lebih besar sedangkan kecepatan molekul udara atau gas di permukaan bumi jauh lebih kecil. Maka bumi mampu mengikat molekul udara atau gas sehingga menjadikan bumi memiliki atmosfer.

4.7.7 Persamaan Energi

Kita dapat meninjau persamaan energinya dengan sedikit melakukan ilusi atau ilustrasi matematik pada persamaan 4.22 dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} v^2 &= GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \text{ dikali } \frac{1}{2}m \\ \frac{1}{2}v^2 &= \frac{1}{2}GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \\ \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} &= -\frac{GMm}{2a} \Rightarrow E_k + E_p = \text{konstan} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Persamaan energi dalam bidang astronomi banyak digunakan untuk memecahkan persoalan mengenai gerak sebuah benda.



Gambar 4.17. Analisis Persamaan Energi Planet

Terdapat dua planet yaitu planet **P** yang bermassa **m** dan Planet **A** yang bermassa **M**, keduanya saling mengorbit pada titik **M**. Maka kita dapat membuat hubungan antara kedua planet tersebut dengan menggunakan prinsip **gaya sentripetal** untuk benda yang bermassa **m** atau **Planet P**.

$$\frac{mv_1^2}{R_1} = \frac{GMm}{R^2} \quad (4.26)$$

$$\frac{v_1^2}{R_1} = \frac{GM}{R^2}$$

Untuk benda yang bermassa **M** besar gaya sentrifugal yaitu

$$\frac{Mv_2^2}{R_2} = \frac{GMm}{R^2} \quad (4.27)$$

$$\frac{v_2^2}{R_2} = \frac{Gm}{R^2}$$

Jika kita mengkombinasikan kedua persamaan 4.26 dan 4.27 maka kita akan mendapati hubungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{v_1^2}{R_1} + \frac{v_2^2}{R_2} &= \frac{GM}{R^2} + \frac{Gm}{R^2} \\
 \frac{v_1^2}{R_1} + \frac{v_2^2}{R_2} &= \frac{G}{R^2}(M+m) \text{ jika } v = \omega * R = \frac{2\pi R}{T} \\
 \frac{\left(\frac{2\pi R_1}{T}\right)^2}{R_1} + \frac{\left(\frac{2\pi R_2}{T}\right)^2}{R_2} &= \frac{G}{R^2}(M+m) \\
 \frac{4\pi^2 R_1^2}{T^2} + \frac{4\pi^2 R_2^2}{T^2} &= \frac{G}{R^2}(M+m) \\
 \frac{4\pi^2 R_1^2}{R_1 T^2} + \frac{4\pi^2 R_2^2}{R_2 T^2} &= \frac{G}{R^2}(M+m) \\
 4\pi^2 \left(\frac{R_1}{T^2} + \frac{R_2}{T^2} \right) &= \frac{G}{R^2}(M+m)
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

Ketika $R_1 = R_2$ maka substitusi penurunan persamaan di atas akan menjadi:

$$\begin{aligned}
 4\pi^2 \left(\frac{R}{T^2} \right) &= \frac{G}{R^2}(M+m) \\
 \left(\frac{R^3}{T^2} \right) &= \frac{G}{4\pi^2}(M+m) \text{ dengan } C = \frac{G}{4\pi^2}(M+m) \\
 \left(\frac{R^3}{T^2} \right) &= C
 \end{aligned} \tag{4.29}$$

Persamaan energi dari sebuah planet yang mengorbit juga dapat menunjukkan besarnya nilai kecepatan realnya melalui substitusi persamaan 4.29 kedalam persamaan 4.22 sehingga akan diperoleh persamaan baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 v^2 &= 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \text{ ingat bahwa } \frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \text{ bernilai sama dengan } \frac{G}{4\pi^2}(M+m) \\
 v^2 &= 4\pi^2 \left(\frac{G}{4\pi^2}(M+m) \right) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = G(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \\
 v^2 &= G(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \text{ ini penurunan persamaan energinya}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dituliskan bahwa hubungan kecepatan real terhadap persamaan energi planet adalah:

$$v^2 = G(M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \quad (4.30)$$

PERTANYAAN

1. Apa yang dimaksud dengan dwarf planet atau planet kerdil, mengapa disebut sebagai planet kerdil, sebutkan contohnya
2. Apakah yang menyebabkan setiap planet di alam semesta ini bergerak mengalami rotasi dan revolusi?
3. Sebutkan alasan mengapa merkurius dan venus tidak memiliki satelit yang mengorbit padanya?
4. Mengapa hanya bumi satu – satunya planet yang memiliki air sehingga memungkinkan untuk terjadinya proses kehidupan (jelaskan secara ilmiah)?
5. Jelaskan perbedaan geosfer, atmosfer dan *Litosfer* bumi?
6. Sebutkan lapisan-lapisan bumi beserta kandungannya?
7. Apakah yang menyebabkan langit nampak biru jika dilihat dari bumi dari keadaan yang tidak tertutup awan?
8. Mengapa lempeng – lempeng di bumi senantiasa bergerak setiap waktunya?
9. Apakah yang menyebabkan terjadinya gempa bumi dan gunung berapi di permukaan bumi?
10. Bagaimanakah sistem energi dari dalam bumi ?
11. Hitunglah besarnya arak perihelion dan aphelion pluto bila setengah sumbu panjang orbitnya 40 SA dan eksentrisitasnya 0,25?
12. Sebuah satelit mengorbit jupiter pada jarak 10^6 Km dari pusat jupiter dan satelit lain mengorbit bumi juga pada jarak 10^6 km dari pusat bumi. Satelit mana yang memiliki periode orbit lebih besar?
13. Komet Halley mengitari matahari dalam periode 76 tahun. Jarak terdekat yang dicapai komet itu terhadap matahari adalah $8,9 \times 10^{10}$ km.
 - a. Apa bentuk orbit komet itu
 - b. Hitunglah: setengah sumbu panjang, eksentrisitas, dan jarak aphelionnya.

14. Kecepatan lepas di mars hanya sedikit lebih besar dari pada di Mercurius. Mengapa Mars bisa memiliki atmosfer sedangkan Merkurius tidak?
15. Sebuah satelit mengorbit dalam bentuk lingkaran pada ketinggian 300 km di atas permukaan bumi. berapakah periode satelit?

BAB V

INTRUMENTASI ASTRONOMI

Muatan Isi Bab Ini. Dalam bab berikut ini memuat mengenai instrumentasi atau perlengkapan yang dibutuhkan dalam melakukan pengamatan benda-benda langit. Jadi dalam bab ini mengajarkan kepada Anda untuk mengetahui instrumentasi yang digunakan dalam pengamatan serta untuk membantu Anda dalam menentukan teleskop yang seharusnya yang baik Anda gunakan dalam melakukan sebuah pengamatan.

Arus Tujuan Bab Ini. Arus bab ini mengharapkan Anda agar dapat memahami proses kerja optik mata dalam proses pengamatan benda-benda langit. Memahami kegunaan teleskop beserta bagian-bagiannya. Mampu menggunakan teleskop diantaranya merakit, mengatur posisi teleskop pada posisi lintang tempat pengamatan, dan melakukan kalibrasi teleskop. Mampu memahami teknik dasar memilih teleskop sesuai dengan tujuan penggunaannya berdasarkan aspek fokus rasio teleskop. Menunjukkan perbedaan teleskop jenis reflektor, jenis refraktor dan jenis catadioptrik. Melakukan pengamatan bersama hal-hal apa saja mengenai bulan. Mengetahui observatorium-observatorium besar di dunia.

Materi yang Harus dikuasai. Untuk masuk dan memahami bab ini maka Anda dituntut untuk menguasai terlebih dahulu materi di bidang optik meliputi pembiasan cahaya, pemantulan cahaya, difraksi cahaya dan sifat-sifat cahaya yang lainnya.

Ketika berbicara mengenai instrumentasi astronomi maka kita akan tertuju kepada teleskop. Di Indonesia pusat instrumentasi berada di daerah Lembang Jawa Barat. Untuk mengetahui update mengenai informasinya kita bisa join ke fb “IMAH NOONG” yang artinya rumah untuk mengintip. Pusat pembuatan teleskop di Indonesia ini dilakukan seorang yang dulunya merupakan orang yang bekerja di observatorium BOSCHA Bandung.

5.1 Penyesuaian Mata dengan Keadaan Gelap

Dalam melakukan pengamatan bintang atau benda–benda langit, mata kita selalu melakukan adaptasi terhadap keadaan lingkungan dengan proses sebagai berikut:

- ❖ Pupil mata akan beradaptasi dengan melebar atau memipih (akomodasi) ketika sejumlah cahaya yang masuk ke dalam mata.
- ❖ Mekanisme atau proses adaptasi membutuhkan waktu 20 menit untuk penyesuaian mata dalam keadaan gelap.

Sinar yang masuk ke mata sebelum sampai di retina mengalami pembiasan lima kali yaitu waktu melalui konjungtiva, kornea, aqueus humor, lensa, dan vitreous humor. Pembiasan terbesar terjadi di kornea. Bagi mata normal, bayang-bayang benda akan jatuh pada bintik kuning, yaitu bagian yang paling peka terhadap sinar. Kuatnya cahaya putih dapat dengan cepat menerima perubahan ini, *ini mengapa dalam pengamatan sebaiknya kita menggunakan cahaya merah.*

Ada dua macam sel reseptor pada retina, yaitu *sel kerucut (sel konus)* dan *sel batang (sel basilus)*. Sel konus berisi pigmen lembayung dan sel batang berisi pigmen ungu. Kedua macam pigmen akan terurai bila terkena sinar, terutama pigmen ungu yang terdapat pada sel batang. Oleh karena itu, pigmen pada sel basilus berfungsi untuk situasi kurang terang, sedangkan pigmen dari sel konus berfungsi lebih pada suasana terang yaitu untuk membedakan warna, makin ke tengah maka jumlah sel batang makin berkurang sehingga di daerah bintik kuning hanya ada sel konus saja.

Pigmen ungu yang terdapat pada sel basilus disebut *rodopsin*, yaitu suatu senyawa protein dan vitamin A. Apabila terkena sinar, misalnya sinar matahari, maka rodopsin akan terurai menjadi protein dan vitamin A. Pembentukan kembali pigmen terjadi dalam keadaan gelap. Untuk pembentukan kembali memerlukan waktu yang disebut *adaptasi gelap* (disebut juga adaptasi rodopsin). Pada waktu adaptasi, mata sulit untuk melihat.

Pigmen lembayung dari sel konus merupakan senyawa *iodopsin* yang merupakan gabungan antara retinin dan opsin. Ada tiga macam sel konus, yaitu sel yang peka terhadap warna merah, hijau, dan biru. Dengan ketiga macam sel konus tersebut mata dapat menangkap spektrum warna. Kerusakan salah satu sel konus akan menyebabkan buta warna.

5.2 Pendukung Pengamatan Astronomi

Dalam kegiatan pengamatan astronomi diperlukan beberapa peralatan dan bahan pendukung sebagai berikut:

- a. Software: Stellarium, Celestia, Starry Night, Your Sky (instal di PC), Sky Map (instal di Smartphone Android)
- b. Weather: BMKG, Cleardarksky, Compass, Star Map, Flash Light
- c. Log Book: Laporan Observasi yang didukung dengan perlengkapan observasi seperti obat serangga (autan,sofwel), teh, kopi, makanan ringan, selimut dan jaket.

5.3 Kegunaan Teleskop

Kegunaan teleskop dalam pengamatan astronomi antara lain dapat dikemukakan sebagai berikut:

- a. Untuk mengumpulkan banyak cahaya sehingga objek redup dapat terlihat lebih jelas dari pada menggunakan mata telanjang.
- b. Untuk membantu kita agar dapat melihat lebih detail atau lebih jelas objek yang jauh.
- c. Penggunaan teleskop, dapat dilengkapi menggunakan binokuler untuk membantu kita dalam mengamati langit malam.

5.4 Jenis dan Pembagian Teleskop

- a. Jenis Refraktor, menggunakan lensa untuk mengumpulkan cahaya
- b. Jenis Reflektor, dengan menggunakan cermin
- c. Jenis sistem Catadioptrik, yang menggunakan gabungan dari lensa dan cermin

Terdapat dua lensa teleskop, yaitu lensa okuler dan Lensa objektif. Lensa okuler adalah lensa yang dekat terhadap mata pengamat sedangkan lensa objektif adalah cahaya utama untuk mengumpulkan komponen, wilayah cahaya yang luas dengan jumlah yang besar untuk menerima cahaya.

Fokus rasio adalah rasio penangkapan cahaya panjang fokus teleskop terhadap diameter teleskop.

- a. Fokus rasio dari 3 sampai 6: wilayah yang luas untuk melihat objek yang dekat tapi dengan gambar yang kecil.
- b. Fokus rasio dari 10 sampai 20: untuk melihat secara lebih detail bulan dan planet-planet lainnya.

c. Cara menghitung fokus rasio sebuah teleskop

$$\text{fokus rasio teleskop} = \frac{\text{fokus lensa objektif}}{\text{Diameter lensa}} = \frac{f}{D}$$

Contoh Soal Aplikasi:

Sebuah teleskop dengan celah objektif 150 mm dengan diameter 70 mm akan mengumpulkan waktu lebih bercahaya dari pada pupil dengan celah 7 mm. Ingin mengharapkan mampu melihat sebuah bintang 460 kali lebih redup dari mata kita sendiri ?

Jawab: Jadi besarnya bintang adalah $\Delta m = 2,5 \log(460) = 6,65$ dengan demikian kita dapat mengharapkan secara tepat 150 mm teleskop akan memungkinkan dapat melihat objek 6,6 magnitudes lebih redup dengan mata telanjang.

5.5 Gangguan dalam Pengamatan

Beberapa gangguan yang menyebabkan dalam pengamatan benda-benda langit adalah cuaca yang tidak bersahabat misalnya mendung menutupi langit, pengaruh distorsi cahaya oleh debu dan pengaruh difraksi cahaya. Batas mendasar untuk detail dalam gambar adalah pengaruh difraksi cahaya. Dengan asumsi bahwa teleskop memiliki celah/lubang melingkar, maka gambar dibentuk oleh sumber titik berupa cakram pusat yang dikelilingi oleh sejumlah cincin konsentris dengan cepat menurunkan tingkat kecerahan. Difraksi akan terjadi bila suatu muka gelombang dihalangi oleh benda kedap seperti keping logam atau layar yang berlubang.



Gambar 5.1. Difraksi oleh lubang berbentuk lingkaran.

Gambar tersebut memperlihatkan bayangan dari sebuah sumber cahaya titik yang jauh (bintang) pada film foto yang diletakkan pada bidang fokus dan lensa konvergen teleskop. Hasilnya ternyata bukan sebuah titik, seperti yang disarankan oleh (pendekatan) optika-geometris, melainkan suatu piringan bundar yang dikelilingi oleh beberapa cincin sekunder yang lebih lemah. Peristiwa ini disebut difraksi, tetapi dengan lubang berbentuk lingkaran, bukan celah garis yang sempit.

Contoh Soal:

- ❖ Jika kita mempertimbangkan 150 mm teleskop ketika mengamati cahaya hijau dengan panjang gelombang $5,5 \times 10^{-7}$ m, dalam lingkaran angan-angan ukurannya adalah:

$$\Delta\theta = \frac{1,22\lambda}{D}$$

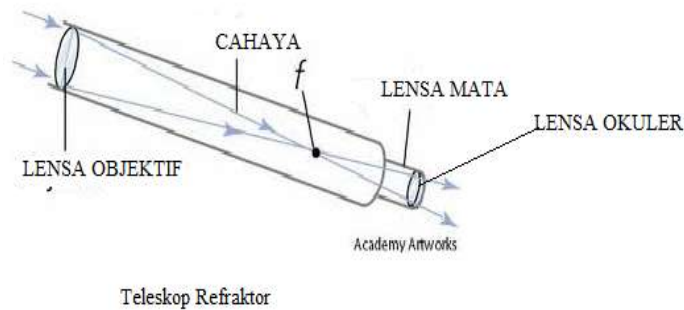
$$\Delta\theta = 1,22 \frac{5,5 \times 10^{-7}}{0,15} \text{ rad} = 4,4 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

$$\Delta\theta = 4,4 \times 10^{-6} \text{ rad} \times 57,3 \times 3600 \text{ arc sec} = 0,9 \text{ arc sec}$$

5.6 Teleskop Refraktor

Refraktor atau teleskop pembias merupakan tipe teleskop yang mungkin paling banyak dikenal oleh khalayak umum. Teleskop jenis ini menggunakan lensa sebagai objektifnya. Lensa ini biasanya terletak diujung atas tabung teleskop fungsinya yaitu mengumpulkan dan membiaskan cahaya menuju titik fokus di bagian bawah dalam tabung teleskop. Teleskop jenis ini biasanya harganya lebih mahal sebab untuk membuat lensa yang bermutu tinggi dan teliti lebih sulit dari pada membuat cermin dan harga baku yang bermutupun relatif sangat mahal.

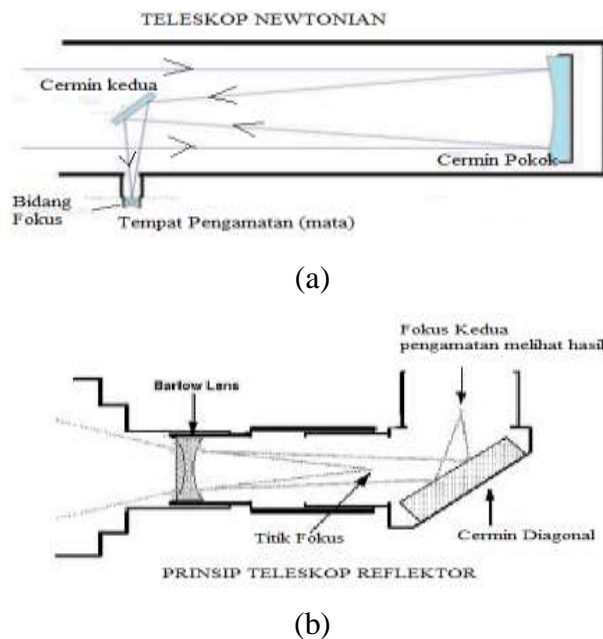
Dalam teleskop reflektor, objektifnya yaitu cermin (sebagai pokoknya), sedangkan yang kedua adalah cermin lain yang langsung memantulkan sinar dari lensa pokok (objektif) ke posisi yang lebih baik untuk dilihat.



Gambar 5.2. Bagian-bagian teleskop refraktor

5.7 Teleskop Reflektor

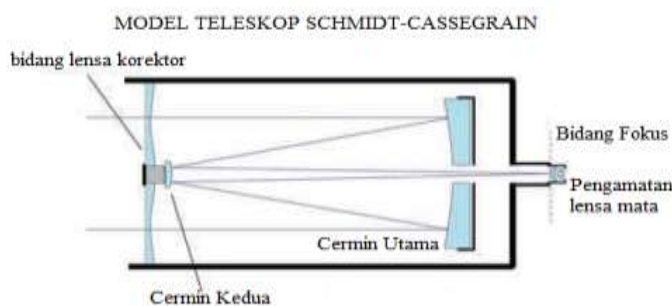
Teleskop reflektor atau pemantul yang paling terkenal dan populer adalah jenis Newtonian. Teleskop ini ditemukan oleh Sir Isaac Newton. Reflektor newtonian tidak mempergunakan lensa sebagai obyektifnya namun menggunakan cermin. Cara kerjanya yaitu satu cermin cekung atau sering disebut cermin primer diletakan di bagian bawah tabung teleskop kemudian cermin ini memantulkan cahaya yang memasuki tabung ke arah cermin datar yang berada di bagian atas tabung, cermin kedua ini berfungsi untuk mengarahkan cahaya dari obyektif ke fokus yang berada di sisi tabung. Teleskop ini sering dibuat oleh pembuat teleskop amatir. Umtuk lebih jelasnya lihat gambar 5.3 berikut ini.



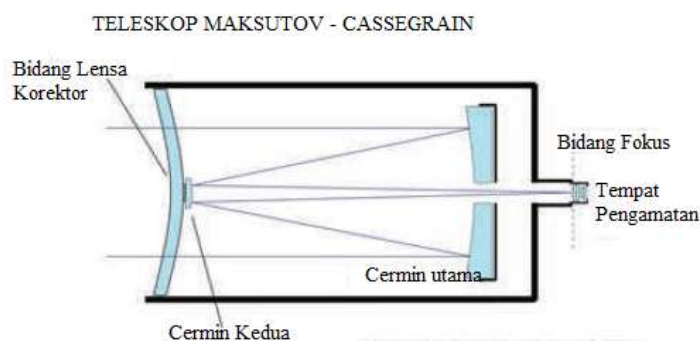
Gambar 5.3. (a) Teleskop pantul newtonian,
(b) Prinsip pantulan teleskop cahaya reflektor

5.8 Teleskop Catadioptrik

Teleskop katadioptrik merupakan perpaduan dari jenis pemantul dan pembias, Katadioptrik mempergunakan lensa korektor dan dua cermin, lensa korektor terletak pada bagian depan tabung dan cermin primer yang terletak pada bagian belakang tabung sedangkan cermin skunder terletak di tengah lensa korektor. Cermin cembung kemudian memantulan cahaya tadi ke fokus yang letaknya berada dibagian belakang tabung, dua jenis katadioptrik yang populer adalah Schmidt-Cassegrain dan Maksutov-Cassegrain.



Gambar 5.4. (a) Teleskop catadioptrik Schmidt – Cassegrain



Gambar 5.4. (b) Teleskop catadioptrik Maksutov – Cassegrain

5.9 Bagian- bagian Teleskop

Finder adalah teleskop kecil untuk membidik objek dengan teleskop untuk objek angkasa. Pada wilayah yang luas, mounting (penegak/trimpot) sebagai penopang untuk meluruskan dengan alat utama (tabung teleskop) atau secara sederhana dapat dijelaskan bahwa finder merupakan alat untuk mensinkronkan pembidik (finder) dengan objek yang hendak diamati melalui teleskop (secara kasar dapat dikatakan kalibrasi antara finder dan tabung teleskop pengamatan harus sesuai artinya ketika objek A terlihat pada finder maka pada tabung teleskop juga dapat terlihat benda A.

❖ Trimpot /cagak/penopang diperuntukan untuk:

1. Memegang teleskop
2. Menjaga teleskop dengan kokoh (tetap)
3. Memungkinkan pengamat untuk menjaga titik dari objek benda langit seperti rotasi bumi
4. Jenis mounting : Altazimut dan Equatorial
 - Altazimut terdiri dari bagian altitude dan Azimuth
 - Equatorial memiliki sebuah sumbu yaitu poros kutub yang disebut Right Ascension (RA) dan poros deklinasi
 - ✚ RA merupakan pengamatan terhadap objek angkasa yang disetting berdasarkan posisi bujur bumi
 - ✚ Deklinasi sama dengan posisi garis lintang daerah pengamatan.

❖ Binokular, ini merupakan jenis alat lain namun fungsinya juga dapat digunakan untuk mengamati benda langit namun, baik digunakan untuk pengamatan daerah yang luas dan lapang di langit dan melihat bulan. Hasil gambar yang didapat tegak lurus terhadap pengamatan kedua mata. Binokular memiliki sepasang prisma pada masing-masing jalan optik cahaya yang dikelompokkan dalam bentuk sepasang angka seperti contoh 15 x 70 => ini menunjukkan bahwa angka 15 merupakan perbesaran binokular dan angka 70 merupakan diameter masing-masing lensa obyektif.

❖ Perbesaran lensa

$$M = \frac{f_{\text{objektif}}}{f_{\text{okuler}}}$$

Untuk memperbesar hasil perbesaran, kami menggunakan barlow lensa. Lensa barlow, lensa konfok terletak sebelum lensa mata (okuler). Barlow lensa memberikan akibat cahaya yang menyebar menjadi kerucut/ terfokus dan memberi akibat lensa objektif memiliki panjang fokus yang lebih besar. Panjang fokus yang berlaku/ dihasilkan biasanya ganda.

5.10 Observatorium Dunia

- ❖ Observatorium gemini terdiri dari dua teleskop yaitu gemini utara yang berlokasi di Mauna Kena, Hawaii dengan tinggi 4214 m, sementara itu gemini selatan dengan tinggi 2737 m di Cerro Pachon, chili.
- ❖ Teleskop kembar yang berlokasi di ketinggian 4200 m di atas Mauna kea, Hawaii, merupakan pengamatan (optik) terbesar didunia dan teleskop infra merah. Teleskop ini memiliki cermin utama dengan diameter 10 m masing-masing disusun 36 bagian secara hexagonal dengan posisi pengamatan biasanya dengan satu cermin.
- ❖ Teleskop Besar Afrika selatan (South Africa Large Teleskop (SALT) adalah teleskop paling besar di hemisphere selatan dan teleskop ini merupakan desain inovatif.
- ❖ Afrika Selatan Large Telescope (SALT) adalah teleskop terbesar di belahan bumi selatan dan desain yang inovatif didasarkan pada Hobby- Eberly Telescope di The Observatory McDonald di Texas. Memiliki sebuah bola 10 m cermin terdiri dari 91 segmen heksagonal . Teleskop dimiringkan di sudut tetap 37 derajat dari senith danbergerak hanya dalam azimuth.
- ❖ The Very Large Telescope yang dioperasikan oleh Southern Observatory (ESO) dan terdiri dari empat teleskop 8,2 m yang bisa bekerja mandiri atau dalam mode gabungan ketika itu adalah setara dengan satu 16-m teleskop-making menjadikannya optik terbesar di dunia. Hal ini dapat mengamati pada rentang panjang gelombang dari dekat sinar UV hingga 25 μm dalam IR. VLT ini terletak di Paranal Observatory di Cerro Paranal di Gurun Atacama, Chile utara, pada ketinggian 2600 m.
- ❖ Hubble Space Telescope (HST) diluncurkan pada April 1990 untuk mengamati semesta selama rentang panjang gelombang yang memanjang dari UV melalui terlihat dekat inframerah (0.12 μm untuk 2.4 μm). Cermin primer HST adalah 2,4 m di sehingga dalam lampu hijau resolusi sudut diberikan oleh:

$$\Delta\theta = \frac{1,22\lambda}{D} = 1,22 \frac{5,1 \times 10^{-7}}{2,4} \text{ rad}$$

$$\Delta\theta = 0,053 \text{ arcsec}$$

5.11 Pengamatan Bersama

Dalam melakukan pengamatan ada beberapa hal yang perlu dilakukan oleh para astronom amatir yaitu membuat laporan dari hasil pengamatan dengan format.

- a. Waktu
- b. Tanggal
- c. Lokasi
- d. Jenis teleskop, panjang fokus, fokus rasio, binokuler (lensa untuk mata), perbesaran, tingkat kecemerlangan, dll
- e. Target pengamatan (bisa galaxy atau bulan), termasuk sketsa atau gambar
- f. Catatan cuaca setempat
- g. Penjelasan tentang alat dalam pengamatan langit, dll
- h. Apapun yang terjadi selama pengamatan berlangsung

PERTANYAAN

1. Dalam pengamatan benda-benda langit dapat kita lakukan pada malam hari, maka untuk membantu menyiapkan segala alat kebutuhan kita membutuhkan cahaya bantu. Mengapa cahaya bantu yang digunakan sebaiknya berwarna merah dan tidak berwarna putih ?
2. Pada sebuah keadaan Anda ditunjuk oleh pimpinan yayasan di tempat Anda mengajar, sebagai seorang guru fisika untuk membeli teleskop untuk melakukan pengamatan untuk mengamati bulan. Jelaskanlah teleskop yang seperti apa yang seharusnya ada cari?
3. Sebutkan 3 jenis teleskop yang Anda ketahui dan jelaskan prinsip kerjanya secara singkat dan jelas?
4. Langkah awal sebelum melakukan pengamatan menggunakan teleskop yaitu mengarahkan teleskop ke arah selatan bumi dan kemudian mengkalibrasikan finder terhadap tabung teleskop, jelaskan bagaimana cara melakukan kalibrasi teleskop?
5. Apakah yang Anda ketahui mengenai altazimuth dan equatorial ?
6. Sebuah teleskop memiliki alat pendukung untuk mempermudah observer dalam mengamati bintang-bintang langit. Sebutkan alat-alat yang digunakan sebagai pendukung dalam penggunaan teleskop?
7. Jelaskan perbedaan yang Anda ketahui antara binokuler dan teleskop?
8. Di dunia internasional, ilmu astronomi berkembang pesat sehingga banyak negara-negara berlomba membangun observatorium atau tempat pengamatan yang sangat canggih. Sebutkan observatorium dunia yang Anda ketahui dan fungsi khususnya?

BAB VI

PROPERTI PLANET

Muatan Isi Bab VI ini. Bab ini membahas secara singkat mengenai peristiwa yang pada umumnya terjadi di planet, menjelaskan mengenai bagaimana perubahan suhu pada sebuah planet.

Arus Tujuan Bab VI ini. Dalam bab ini penulis ingin mengantarkan Anda untuk menjemput pengetahuan mengenai teknik perhitungan massa sebuah planet dan berikut memberikan contoh perhitungannya. Memahami Teknik perkiraan suhu planet dan contoh konkritnya. Menjelaskan proses *green house efect* dan dampaknya bagi kehidupan *Biosfer* di bumi.

Materi Prasyarat yang Harus dikuasai. Hal-hal yang harus Anda kuasai dalam bab ini yaitu mengenai hukum gravitasi Newton dan hukum III Kepler tepatnya mengenai gerak sebuah planet.

6.1 Teknik Menghitung Massa Sebuah Planet

Dalam pembahasan materi tata surya, saya menyingung cara yang dapat digunakan dalam menentukan massa bumi dan massa matahari. Namun, pada pembahasan kali ini saya coba menarik beberapa poin penting yang harus dipahami sebelum kita menghitung besarnya massa dari sebuah planet. Walaupun pada dasarnya cara yang digunakan relatif sama. Beberapa poin yang dimungkinkan untuk menemukan massa planet jika :

1. Planet tersebut memiliki satu atau lebih satelit di orbit alam sekitarnya.
2. Telah mengakuisisi sebuah satelit buatan seperti dalam kasus Magellan yang mengorbit sekitar Venus.
3. Telah disahkan oleh satelit buatan seperti yang terjadi ketika Mariner 10 terbang oleh Mercury

Sebagai contoh misalnya kita hendak menentukan besarnya massa planet Mars. Maka data-data awal yang kita butuhkan adalah mengenai benda yang mengorbit sekitar mars. Dalam artian dapat menggunakan satelit buatan manusia misalkan *curiosity* yang dikirim ke mars atau menggunakan satelit alami dari mars itu sendiri. Mars memiliki dua buah satelit yaitu *phobos* dan *deimos*. Disini kita menggunakan *phobos*, jika diketahui periode *Phobos* adalah 7h 39,2 menit (27 552 s) memiliki sumbu semi-major 9377,2 km. Maka besarnya massa dari planet mars dapat Anda coba hitung.

$$G \frac{Mm}{a^2} = m \frac{v^2}{a} \quad (6.1)$$

Dengan keterangan bahwa M , m , G , adalah massa Mars, massa Phobos, semi-sumbu utama orbit Phobos dan konstanta universal gravitasi, masing-masing. V adalah kecepatan sentripetal pada *Phobos*. Kita juga tahu bahwa $v = 2\pi a/T$, maka

$$M = 4\pi^2 a^3 / GT^2 \quad (6.2)$$

Hasilnya adalah 6.43×10^{23} kg diterima nilai massa Mars 6.42×10^{23} kg kepadatan atau kerapatan atau densitas sebuah planet dapat dihitung dengan asumsi bahwa planet berbentuk lingkaran yang memiliki volume v dengan besarnya volume lingkaran adalah $v = \frac{4}{3}\pi r^3$ sehingga kita dapat menentukan besarnya kerapatan atau densitas sebuah planet adalah $\rho = \frac{M}{v}$. Oleh karena itu, dapat digunakan persamaan berikut ini

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad (6.3)$$

6.2 Teknik Menghitung Suhu Planet

Dalam mengukur dan memperkirakan suhu permukaan planet terdapat banyak cara yang dapat kita gunakan, berikut ini beberapa cara yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Dalam kasus Venus dan Mars, pesawat ruang angkasa di permukaan telah membuat pengukuran langsung
- Suhu Merkurius diperkirakan dari intensitas yang emisi radio dengan asumsi itu bertindak sebagai benda hitam. Planet luar Suhu diperkirakan dari emisi inframerah mereka.
- Harus ada keseimbangan antara energi yang diserap dari matahari dan dipancarkan oleh planet.

Lalu bagaimana cara mengukur besarnya bumi, dapat kita lakukan di permukaan bumi dengan melakukan pengukuran dengan melakukan rata-rata suhu permukaan bumi. Besarnya tenaga surya per square meter (SC) : 1368 W, Jika SC adalah nilai konstanta surya, maka total energi yang akan jatuh pada bumi

$$\pi R^2 SC \quad (6.4)$$

Kita dapat mengasumsikan bahwa planet bertindak sebagai benda hitam, maka energi yang dikeluarkan adalah

$$4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (6.5)$$

Dengan menggunakan asumsi prinsip keseimbangan, oleh karena itu suhu planet ini dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\pi R^2 SC = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (6.6)$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat diperoleh bahwa besarnya suhu bumi permukaan bumi adalah 278 K.

Namun, selain dari hasil perhitungan terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya suhu permukaan bumi. Beberapa faktor masalah yang dapat mempengaruhi besarnya suhu permukaan bumi adalah:

1. Awan memiliki cakupan rata-rata adalah 50 % dan menyerap 77 % kejadian radiasi matahari dari matahari. Oleh karena itu, T_{earth} akan 260 K
2. Greenhouse efek yang dihasilkan oleh CO₂, metana dan uap air di atmosfer membuat bumi menjadi benda hitam sempurna.

Kedua efek di atas sifatnya dapat menambah dan juga mengurangi, namun sayangnya sifat yang kedua ternyata lebih dominan. Oleh karena itu, T_{earth} adalah

288 K. Kemudian yang jadi pertanyaan, **Lalu apakah kita perlu gas rumah kaca, untuk menghangatkan bumi ini?**

6.3 Pemanasan Global

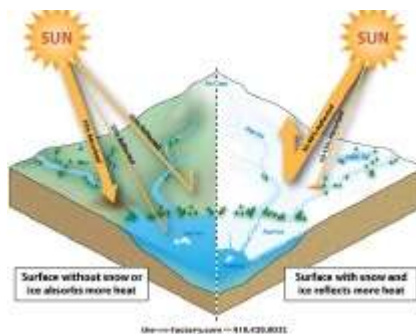
Kita ketahui bersama bahwa sumber energi terbesar di bumi ini adalah matahari. Matahari memiliki peranan yang begitu penting dalam menunjang kelangsungan hidup mahluk hidup. Berikut adalah proses energi matahari, yang masuk ke dalam permukaan bumi.

1. Energi tersebut berbentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak.
2. Energi sampai ke permukaan Bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi.
3. Kemudian permukaan bumi menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya.
4. Sebagian dari panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar.
5. Sebagian panas lain tetap terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca antara lain uap air, karbon dioksida, sulfur dioksida dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi ini.
6. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi dan akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi.
7. Keadaan ini terjadi terus menerus sehingga mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat.

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat 0.74 ± 0.18 °C (1.33 ± 0.32 °F) selama seratus tahun terakhir. Model iklim merupakan model yang digunakan oleh IPCC untuk menentukan besarnya suhu permukaan bumi. Kita selalu berasumsi bahwa CO₂ adalah penyebab dari timbulnya efek rumah kaca, namun menurut hasil penelitian gas-gas yang menyebabkan timbulnya efek rumah kaca adalah:

1. Metana adalah 20 kali lebih efisien dalam menahan panas daripada CO₂ dan sumber itu adalah ternak, pertambangan batu bara, pengeboran minyak dan gas alami, budidaya padi, dan sampah membusuk di tempat pembuangan sampah.
2. Nitrous oksida ditambahkan ke atmosfer dari penggunaan nitrogen pupuk berbasis, yang membuang limbah manusia dan hewan dalam limbah perawatan tanaman dan knalpot mobil.

Sudah dijelaskan bahwa energi dari matahari masuk ke bumi dengan melalui beberapa tahapan. Banyaknya energi matahari yang masuk kemudian dipantulkan kembali ke ruang Bumi disebut dengan Albedo. Albedonya adalah 0,37. Ini berarti bumi mencerminkan 37 % dari energi matahari.



Gambar 6.1. Prinsip Albedo

Pemanasan global memberikan dampak yang sangat berarti pada hampir seluruh bagian atau lapisan kehidupan, berikut adalah dampak yang ditimbulkannya:

1. *Mejadikan iklim menjadi tidak stabil*, tidak stabilnya iklim akan menjadikan beberapa daerah mengalami perubahan misalnya beberapa daerah akan memiliki musim tanam yang lebih lama, daerah yang awalnya mengalami hujan salju ringan menjadi tidak lagi, angin akan bertiup lebih cepat di beberapa daerah, dan musim kemarau di beberapa daerah juga akan lebih panjang.
2. *Meningkatnya permukaan laut*, ini dapat terjadi karena ketika suhu atmosfer mengalami peningkatan maka suhu permukaan laut juga akan meningkat sehingga volumenya akan membesar. Selain itu peningkatan suhu atmosfer akan mengakibatkan peningkatan mencairnya es di daerah kutub bumi.

3. *Terganggunya sistem ekologis*, terganggunya sistem ini sebagai akibat dari penyesuaian keadaan lingkungan oleh makhluk hidup baik hewan atau tumbuhan. Sehingga memaksa mereka untuk beradaptasi secara maksimal atau bermigrasi ke daerah baru. Beberapa makhluk hidup yang tidak mampu, pasti akan musnah.
4. *Dampak Sosial dan Politik*, pemanasan global akan memicu munculnya bencana-bencana dahsyat seperti banjir bandang, topan dll. Dari keadaan ini maka memaksa manusia untuk mengungsi sehingga menimbulkan masalah baru yaitu munculnya banyak penyakit yang berhubungan dengan lingkungan seperti diare, malaria, demam, penyakit kulit, kelaparan dll.

Mari kita coba bertindak sebagai seorang yang cerdas, ketika kita sudah melek permasalahan maka kita harus memikirkan solusi yang dapat kita lakukan agar kita dapat mengurangi atau memperlambat pemanasan global.

- a. Mengurangi pemakaian bahan bakar dari fosil, **apa itu bahan bakar fosil** (bahan bakar yang berasal dari fosil seperti bensin, solar, minyak tanah, bensol,dll) caranya yaitu mengurangi produksi kendaraan yang berlebih. Di beberapa negara sudah memberlakukan pemakaian sepeda dan mengurangi produksi sepeda motor.
- b. Menjaga kelestarian daerah pantai dengan menanam tanaman bakau untuk mengurangi abrasi oleh pantai.
- c. Mengurangi gas karbondioksida dengan lebih giat menanam tanaman, penanaman lahan karet ataupun kepala sawit juga sedikit memberikan peranan bila dibandingkan dengan ketela atau padi. Khususnya daerah perladangan.
- d. Mencegah penebangan hutan secara liar dan perluasan penanaman tanaman di daerah hutan. Hutan adalah “paru-paru dunia” , pelajaran ini dulu sering sekali saya dapat ketika masih di bangku SD. Bagaimana sekarang!! Masihkah ada?

6.4 Gelombang Gempa

Seperti halnya bumi, planet lain juga mengalami gempa akibat pergerakan lempengnya. Terdapat beberapa jenis gelombang gempa yaitu Gelombang Primer (P), Gelombang Skunder (S), Gelombang love (L), dan gelombang Rayleigh (R). Gelombang P bergerak membujur dan cepat. Gelombang ini dikenal sebagai gelombang kompresi atau gelombang dilatasi atau gelombang longitudinal. Gelombang jenis ini dapat merambat pada medium padat maupun cair. Gelombang

S bergerak melintang dan lambat. Gelombang ini dikenal sebagai gelombang distorsi atau gelombang geser atau gelombang transversal. Gelombang jenis ini tidak dapat merambat pada medium cair. Gelombang Love adalah gelombang yang merambat di sepanjang batas antara dua medium berbeda. Sedangkan gelombang Rayleigh adalah gelombang permukaan yang merambat sepanjang permukaan medium padat yang homogen dan tercatat sebagai komponen tegak pada Seismograf.

Gelombang P dan S pada perekam seismik tiba dalam waktu yang berbeda. Perbedaan waktu tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta t = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p} \quad (6.7)$$

Gelombang L memiliki panjang gelombang terpanjang. Gelombang ini yang paling merusak. Lalu bagaimana jika campuran gelombang longitudinal dan transversal di permukaan bumi, maka kecepatannya akan menjadi :

$$v = \sqrt{gh} \quad (6.8)$$

Masing-masing g dan h adalah percepatan gravitasi dan ke dalaman laut. Maka jika gelombang gempa berpadu antara longitudinal dan transversal yang terjadi pada permukaan laut akan timbul *tsunami*. Sifat gelombang *tsunami* yaitu ketika gelombang mendekati pantai, gelombang tsunami melambat, namun amplitudo meningkat. Yaitu dengan perumusan sebagai berikut:

$$A \propto \frac{1}{h^4} \quad (6.9)$$

PERTANYAAN:

1. Planet merkurius bermassa M dengan jari-jari r , dikirimkan sebuah satelit yang mengorbit terhadap planet merkurius dengan massa satelit m dan jari-jari r . Planet dan satelit berjarak R , maka tentukanlah kecepatan orbit satelit buatan terhadap planet dan berapa lamakah periodenya?
2. Efek dari pemanasan global (*green house effect*) dapat mengakibatkan mencairnya es di kutub selatan, jelaskan prinsip kejadiannya dan apakah yang menyebabkan terjadinya pemanasan global?
3. Arus tsunami gelombang tsunami di Aceh beberapa tahun silam memiliki ketinggian 30 meter, maka perkirakanlah kecepatan dan amplitudo gelombang tsunami tersebut?
4. Berikan contoh dari gelombang P, gelombang S dan Gelombang L?
5. Berikan solusi dan langkah-langkah yang dapat Anda lakukan sebagai seorang pelajar yang cerdas dan terdidik untuk mengurangi dampak dari *global warming*!

BAB VII

METEORID, KOMET DAN ASTEROID

Muatan Isi Bab VII ini. Bagian bab ini menjelaskan mengenai benda-benda langit di alam semesta ini di luar sistem tata surya yang meliputi meteoroid, komet dan asteroid secara rinci, padat dan jelas.

Arus Tujuan Bab VII ini. Bab ini memberikan Anda ilmu untuk memahami proses gerak dari meteorid, komet dan Asteroid. Menghitung posisi sebuah bintang. Memahami karakteristik dari meteorit, komet dan asteroid. Memahami aplikasi hukum kepler 1, 2 dan 3. Mengetahui hubungan antara persamaan newton dan kepler tentang gerak planet.

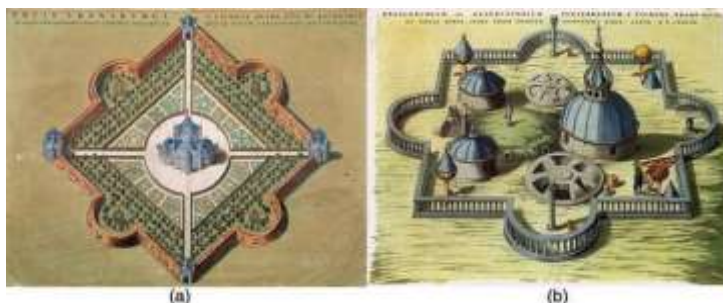
Materi Prasyarat yang harus dikuasai. Untuk mempermudah cara Anda memahami materi ini maka Anda harus menguasai prinsip hukum gerak lintasan planet oleh kepler meliputi hukum I, II, dan III Kepler.

7.1. Gerak Meteorid, Komet, dan Asteroid

1. Tycho Brahe

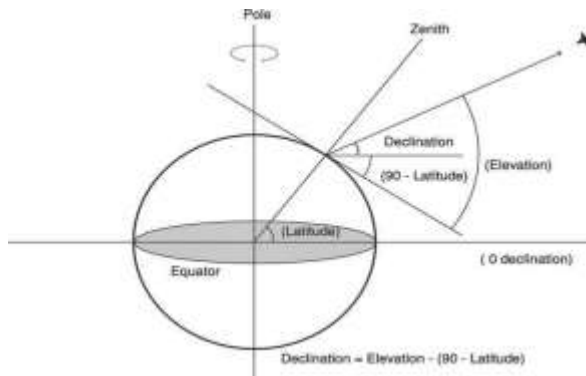
Tycho Brahe, seorang bangsawan muda Denmark, membangun sebuah istana yang ia sebut *Uraniborg*. Di daerah istana, ia membangun sebuah semi-ground, observatorium yang disebut *Stjerneborg*.

- 1) Dia mampu menunjukkan kepada asistennya kapan bintang melintasi/melewati meridian.
- 2) Dia mampu mengukur ketinggian bintang itu pada saat transit. (Posisi elevasi terhadap horizon).



Gambar 7.1. Obsevatorium Tyco Brahe

Waktu transit menghasilkan RA (*Right Ascension*rekta). RA diukur dalam satuan waktu dan terjadi kenaikan ke timur. Tidak hanya itu, Tycho juga menghasilkan katalog bintang 10 kali lebih tepat daripada astronom sebelumnya, ia juga memetakan pergerakan planet-planet selama periode 20 tahun pengamatan.

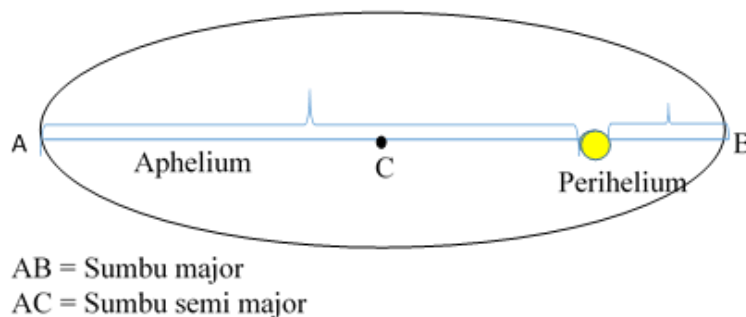


Gambar 7.2. Gerakan bintang yang dilihat dari bumi oleh Tycho

Semakin tinggi lintang semakin dekat ke arah kutub. Di atas kepala itu zenith → tepat di atas kepala pengamat. Maka **Deklinasi = elevasi – (90^0 - latitude)**.

2. Johannes Kepler

Johannes Kepler, seorang matematikawan muda datang untuk bekerja dengan Tycho. Tycho memberinya tugas memecahkan orbit planet Mars. Kepler menyadari bahwa setiap 687 hari Mars akan kembali ke lokasi yang sama persis dalam sistem surya (ke tempat semula). Artinya: periode mars mengelilingi matahari selama 687 hari. Seperti yang saya jelaskan sebelumnya pada sistem tata surya maka setelah sepeninggalan Tycho brahe Kepler mendapatkan 3 hukum gerak planet. Dimana hukumnya berlaku untuk semua sistem benda langit yang bergerak. Namun dalam BAB ini saya hanya akan membahas mengenai gerak terkhusus untuk komet.



Gambar 7.3 Gerak Planet Menurut Kepler

Catatan :

Komet A memiliki E_p dan E_k . E_p berhubungan dengan jarak dari Matahari, akan mengalami penurunan jika planetnya mendekati Matahari. E_k berkaitan dengan kecepatan. Jumlah antara E_p dan E_k harus tetap konstan.

$$T^2 \propto a^3 \quad (7.1)$$

Jadi : $T^2 = ka^3$ dengan k adalah konstanta proporsionalitas. Jika T dalam satuan tahun bumi, di sumbu semi mayor bumi di AU sehingga k adalah 1.

Contoh Soal:

1. Ceres periode = 4,6 tahun bumi

Hitung a (AU)

$$T^2 = ka^3$$

$$(4,6)^2 = 1a^3$$

$$21,16 = a^3$$

$$a = 2,67 \text{ AU}$$

2. Jari-jari orbit bulan = 384.400km

Periode bulan (sinodis) = 27,32 hari



$$k = \frac{T^2}{a^3} = \frac{(27,32)^2}{(384.400)^3} = 1,54 \times 10^{-14}$$

3. Isac Newton

Kisah Newton sedang duduk di bawah pohon apel. Dia bertanya-tanya mengapa Bulan tidak jatuh ke arah bumi. Logikanya adalah daya tarik gravitasi antara Bumi dan Bulan menyebabkannya jatuh dengan jumlah yang tepat, juga akan tetap berada di orbit sekitar Bumi. Kemudian dia menghitung g di Bulan. Hal ini menyebabkan Newton memunculkan hukum kuadrat terbalik yang terkenal: gaya tarik gravitasi antara dua benda menurun dengan meningkatnya jarak antara dua benda sebagai kebalikan dari kuadrat jarak itu .

$$F_g = G \frac{Mm}{R^2} \quad (7.2)$$

7.2 Meteoroid

Terdapat banyak istilah untuk menyebutnya, terkadang orang awam ada yang mengatakan itu bintang jatuh, yang lebih parahnya dia mengatakan bahwa dengan bintang jatuh dia bisa mengajukan permohonan. Dan yang lebih mengerikan jika Anda percaya itu **benar** padahal jelas bahwa itu **salah besar**. Berikut ini saya berikan beberapa istilah yang Anda dapat pahami mengenai pengertian di dalamnya.

1. Meteorid: bisa berupa batuan atau logam berkeliling-keliling angkasa. Bisa pecahan komet, bisa juga terdiri dari asteroid. Jika sudah masuk ke atmosfer bumi disebut meteor.
2. Meteor: bisa melihat cahaya dari Meteoroid atau micrometeoroid, karena panas sekali dan kelihatan menyala ketika memasuki atmosfer bumi.
3. Meteorid: bagian dari Meteoroid atau asteroid yang bertahan melewati atmosfer dan menumbuk tanah tanpa hancur.
4. Fireball: lebih terang dari meteor biasa, sebuah meteor yang mempunyai magnitude -3 atau lebih terang ketika terlihat di zenit
5. Bolides: bola api yang memiliki magnitudo -14 ataulebih terang.

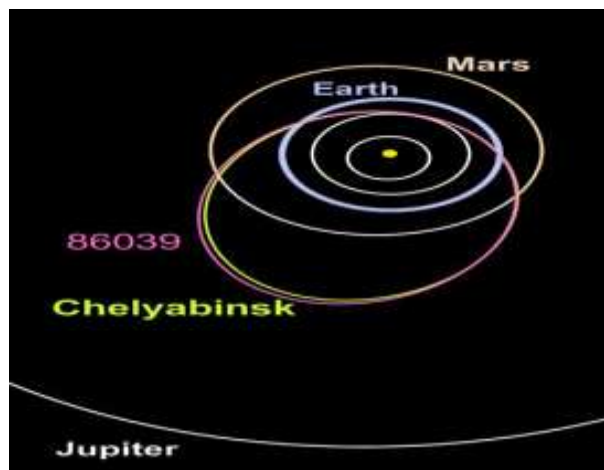
7.2.1 Meteorid Chelyabinsk

Pada tanggal 15 Februari 2013, Siapa pun yang tinggal di Chelyabinsk melihat bola api meteor pada 09:20:32 waktu setempat. Bola Itu pecah 30 sampai 45 km. Setelah 88 detik kemudian, gelombang kejutan yang melukai lebih dari 1000 orang dan jendela hancur dalam hampir setengah dari gedung apartemen kota.



Gambar 7.4. Meteorid Chelyabinsk

Menurut beberapa pandangan ilmiah, awalnya objek datang dengan lintasan sangat elips. Orbit kecenderungannya rendah yang mirip dengan orbit dengan benda langit yang dekat yang tidak mempunyai nama, namun kemudian dinamai asteroid 86039.



Gambar 7.5. Lintasan Meteorid Chelyabinsk

Bila ditinjau dari sudut datang dan kecepatannya dapat disimulasikan dari mana meteor fireball. Menurut pandangan ilmiah meteorid ini dulunya berasal dari asteroid (86039) yang merupakan bagian pecahan asteroid sehingga masuk ke orbit bumi.

7.2.2 Energi Meteorid

Berapakah besarnya energi meteorit yang dikeluarkan ketika telah sampai di permukaan bumi. Sebelum sampai ke permukaan bumi meteorid bergesekan dengan atmosfer bumi sehingga menghasilkan gelombang kejut yang dapat merusak gendang telinga. Ketika telah sampai pada permukaan bumi maka meteorit akan menghantam tanah dengan sekuat-kuatnya. Menurut beberapa hasil kajian ilmiah besarnya energi meteorid adalah:

- ❖ Peter Brown (U of Western Ontario) menggunakan emisi cahaya tampak menyiratkan ledakan minimal 470 kiloton TNT
- ❖ Gelombang seismic: 430 kiloton TNT

- ❖ Sensor satelit militer menunjukkan 530 kiloton TNT
- ❖ CTBTO itu (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) infrasonik newtork hasil dari 600 kiloton TNT.

Bandingkan dengan bom Hiroshima, yang setara dengan 12,5 kiloton TNT. Menurut para ilmuwan meteor yang bertanggung jawab atas kepunahan massal diperkirakan sekitar 1 miliar kali energi dari bom Hiroshima. **Maka dari itu apakah Anda merasa aman dari kekuasaan dan kehendak Allah Yang Maha Esa?**

7.3 Komet

Tycho membuat pengamatan yang cermat dari komet pada tahun 1577, dengan mengukur posisi dari lokasi yang dipisahkan, Tycho mampu menunjukkan bahwa komet berada setidaknya empat kali lebih jauh dari bulan. Kemudian Isaac Newton pada tahun 1687, mampu menunjukkan bahwa lintasan dari sebuah komet terang diamati melalui musim dingin 1680/1681 dapat dicocokkan ke orbit parabola dengan matahari pada satu fokus.

Komet yang memiliki periode lama adalah puing-puing yang tersisa dari kondensasi dari nebula matahari dan berasal dari daerah terluar Tata Surya, sampai satu tahun cahaya jauh dari Matahari, yang biasanya disebut *Awan Oort*. Kadang-kadang orbit komet tersebut akan cukup terganggu oleh Jupiter atau Saturnus yang berada di bagian dalam Tata Surya dengan waktu relatif singkat. Bagaimanapun juga, sebagian besar komet periode pendek diperkirakan berasal (cenderung tinggal) di Sabuk Kuiper. Sabuk Kuiper adalah sabuk yang berada di sekitar orbit neptunus dengan jarak 30 SA sampai 50 SA sering juga disebut sebagai *objek trans neptunus*.

Komet memiliki tingkat albedo rendah karena sebagian besar senyawa yang terkandung di dalamnya adalah senyawa organik. Besarnya tingkat albedo komet adalah sebagai berikut:

- ❖ Inti komet Halley merefleksikan hanya 4 %
- ❖ Comet Borrelly hanya merefleksikan 2,6 %

Komet memiliki ukuran Inti dengan berbagai variasi ukuran komet yaitu 0,5-50 km. Komposisi penyusun komet diantaranya adalah:

1. Batu
2. Debu
3. es
4. Gas beku (CO₂, CO, metana dan amonia).

5. Senyawa organik (metanol, formaldehida, etanol dan etana, asam amino).

Komet tidak dapat dilihat dalam sistem surya luar karena ukurannya yang kecil dan pengaruh albedo. Komet hanya dapat dilihat ketika mereka mendekati Matahari yang panas radiasinya menguapkan air es dan bahan yang mudah menguap.

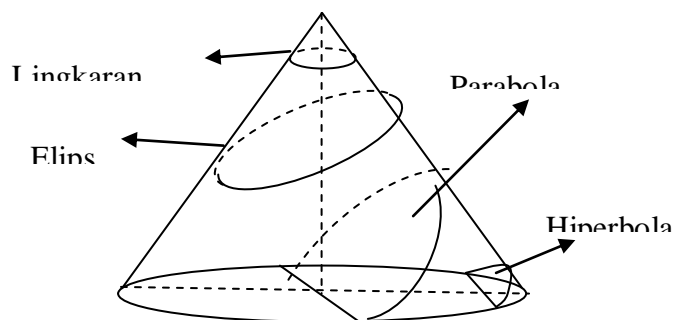
7.3.1 Ekor Komet

Komet memiliki ekor yang panjang, ekor komet selalu bergerak menjauhi matahari hal ini dikarenakan pengaruh dari radiasi angin matahari. Warna ekor komet bermacam-macam sesuai dengan keadaan material atau senyawa yang dimiliki komet. Biasanya komet yang berasal dari tempat yang begitu jauh misal di luar sistem tata surya atau di luar sabuk kuiper memiliki kandungan es yang lebih banyak. Berikut ini adalah pancaran warna ekor komet yang dihasilkan yaitu:

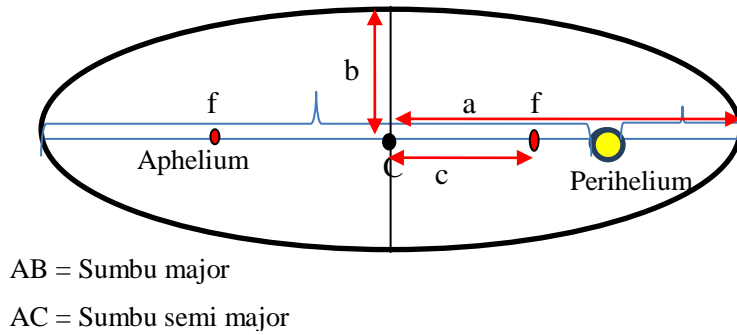
1. Gas-gas (ion), titik langsung menjauh dari matahari. Muncul kebiruan akibat emisi dari $(CN)_2$.
2. Debu, muncul kekuningan, cenderung terdapat di sepanjang orbit.

7.3.2 Lintasan Komet

Elips merupakan salah satu dari 4 irisan kerucut. Keempat irisan kerucut adalah lingkaran ($e = 0$), elips ($0 < e < 1$), parabola ($e = 1$), hiperbola ($e > 1$). Karena kebanyakan lintasan benda-benda langit berbentuk elips, maka akan banyak menyinggung tentang elips saja. Untuk irisan kerucut yang lainnya begitu juga selanjutnya (tentunya lingkaran tidak termasuk). Untuk itu, perhatikan gambar irisan kerucut dan lintasan elips berikut di bawah ini :



Gambar 7.6. Irisan Kerucut



Gambar 7.7. Lintasan Komet

Keterangan :

- a = setengah sumbu panjang elips (semi-major axis)
- b = setengah sumbu pendek elips (semi-minor axis)
- c = jarak fokus elips (focal length)
- f = titik fokus elips (foci)

Perhatikan bahwa elips mempunyai 2 buah titik fokus. Hubungan-hubungan yang berlaku di antara besaran-besaran di atas adalah

$$e = \frac{c}{a} \Rightarrow a^2 = b^2 + c^2 \quad (7.2)$$

di mana : e = eksentrisitas elips. Eksentrisitas adalah ukuran kelengkungan sebuah elips. Dengan nilai ada di antara 0 dan 1 ($0 < e < 1$).

7.4 Asteroid

Asteroid merupakan bagian dari planet minor. Pada tahun 1768, Johann Bode Elert menyarankan bahwa mungkin ada planet di orbit antara Mars dan Jupiter. Argumennya berdasarkan hukum Titius-Bode. Hal ini memberi jarak relatif orbital planet-planet dari matahari. Beberapa planet minor, yang disebut sabuk asteroid utama yang berada di antara planet mars dan jupiter.

Dahulu ditemukan ceres oleh Piazzzi, awalnya ceres dianggap sebagai salah satu dari asteroid. Namun saat ini dikabarkan bahwa ternyata ceres bukanlah termasuk asteroid namun lebih menyerupai planet kerdil (*dwarf*). Selain itu juga

banyak dimuat dan artikel bahwa ceres menyemburkan uap air, yang mungkin diprediksi oleh ilmuwan astronomi akan adanya kehidupan di sana.

Contoh-contoh soal.

1. Buktikan bahwa dengan menggunakan hukum Newton II, Hukum Gravitasi, dan Gaya sentripetal, kita dapat mencari hukum Kepler III

hukum newton II $F = m a$

hukum gravitasi $F_g = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$

maka

$$F = m a \Rightarrow F = m \frac{v^2}{R}$$

$$G \frac{m_1 m_2}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

$$G \frac{m_1}{R^2} = \frac{v^2}{R} \quad \text{karena } v = 2\pi R f \text{ atau } \frac{2\pi R}{T}$$

$$G \frac{m_1}{R^2} = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} \Rightarrow G \frac{m_1}{R^2} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} \Rightarrow G \frac{m_1}{R^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

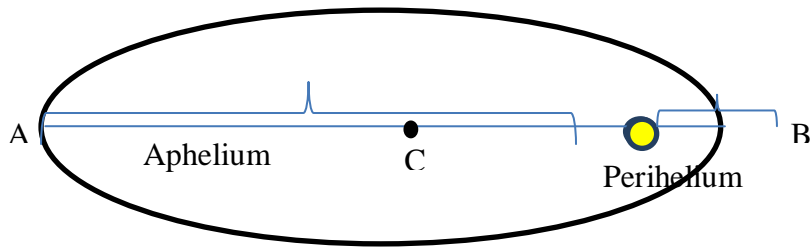
$$G \frac{m_1}{R^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \Rightarrow 4\pi^2 R^3 = G m T^2 \Rightarrow$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G m} \quad \text{karena } \left(\frac{4\pi^2}{G m} = C\right) \text{ maka } \frac{T^2}{R^3} = C$$

sehingga

$$T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{G m}$$

2. Sebuah komet mempunyai periode revolusinya 64 tahun, hitunglah besar sumbu semi major (semi major axis) nya dari Matahari (dalam AU)! Sumbu semi major adalah 1/2 kali jarak sumbu major (jarak antara perihelion dan aphelion). Hitung jarak komet dari matahari pada saat aphelium dan perihelium, bila komet berasal dari suatu tempat yang jauhnya 31,5 AU dari matahari.



AB = Sumbu major

AC = Sumbu semi major

Jawab :

Periode (T) = 64 tahun, dengan C anggap 1

Aphelium = 31,5 AU

$$\frac{T^2}{R^3} = C \text{ maka } R^3 = T^2 \cdot C = T^2 \cdot 1$$

$$R = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{(64)^2} = \sqrt[3]{4096} = 16 \text{ AU}$$

sehingga didapat jarak sumbu semi major ($a = 16 \text{ AU}$)

jika jarak apheliumnya adalah 31,5 AU maka

Aphelium = $a + c$

maka $c = 31,5 \text{ AU} - 16 \text{ AU}$

$$= 15,5 \text{ AU}$$

sedangkan Perihelion = $a - c$

$$= 16 \text{ AU} - 15,5 \text{ AU}$$

$$= 0,5 \text{ AU}$$

$$\text{dengan eksentrisitas (e)} = \frac{c}{a} = \frac{15,5 \text{ AU}}{16 \text{ AU}} = 0,96875 \Rightarrow$$

artinya lintasan komet nyaris parabola

pembuktian

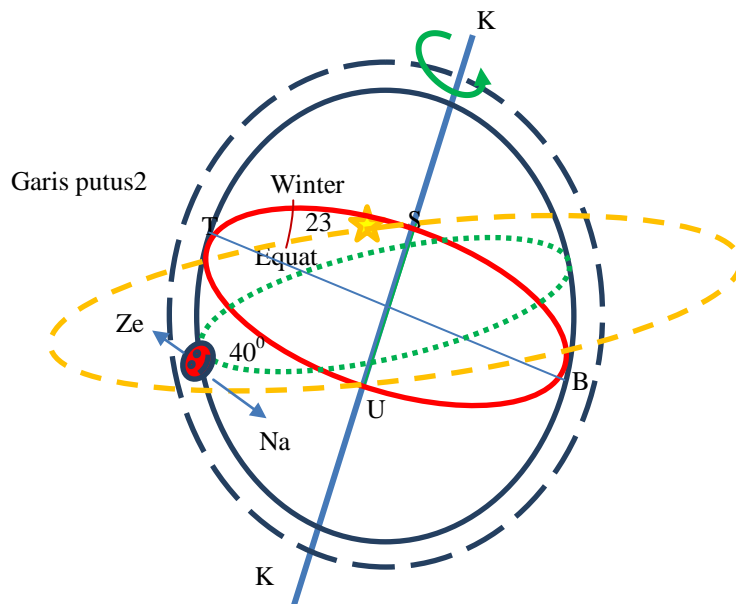
$$\text{bahwa perihelion} = a(1 - e) = 16 \text{ AU}(1 - 0,96875) = 16 \text{ AU} \cdot 0,03125 = 0,5 \text{ AU} \text{ (terbukti)}$$

$$\text{untuk aphelium} = a(1 + e) = 16 \text{ AU}(1 + 0,96875) = 16 \text{ AU} \cdot 1,96875 = 31,5 \text{ AU} \text{ (terbukti)}$$

3. Pada saat *winter solstice*, matahari berada 23,5 derajat ke selatan dari ekuator. Suatu pengamat A berada di 40 derajat lintang utara. Berapa derajat matahari dari zenit pada saat tengah hari?

Jawab:

Dalam menentukan posisi matahari terhadap zenit, maka kita harus memahami sistem koordinat ekuatorial. Seperti yang jelaskan pada bagian sistem koordinat bola langit bab 4, kita dapat menggunakan sistem koordinat miring ke arah lintang utara. *Winter solstice* merupakan musim dingin yang terjadi pada tanggal 22 desember.



Maka derajat dari zenit saat tengah hari adalah $23,5^0 + 40^0 = 63,5^0$ dengan prinsip bahwa zenit berada tepat di horizontal pengamat maka sudut adalah $90 - 63,5 = 26,5^0$.

PERTANYAAN:

1. Peristiwa punahnya hewan-hewan purbakala sering dikaitkan dengan hancurnya permukaan bumi sebagai akibat karena adanya meteorid yang jatuh sampai ke permukaan bumi, jelaskan mengapa meteorid dapat sampai ke permukaan bumi, bukankah ada atmosfer yang melindungi bumi?
2. Diketahui bahwa terdapat sabuk asteroid memanjang di antara planet mars dan jupiter. Apakah yang Anda ketahui mengenai sabuk asteroid, jelaskan secara singkat dan jelas?
3. Apakah yang menyebabkan munculnya warna kebiruan dan warna kekuningan pada komet ketika bergerak mendekati bumi ?
4. Pada tahun 2013 muncul sebuah komet yang disebut bernama komet ISON, diberitakan bahwa komet tersebut akhirnya *survive* atau termakan matahari. Apakah yang menyebabkan komet tersebut termakan matahari, buatlah sebuah pengandaian bagaimanakah cara yang dapat dilakukan agar komet tersebut tidak termakan matahari?
5. Hitunglah berapakah besarnya sumbu semi mayor dan semi minor komet *halley* yang muncul setiap 76 tahun sekali?

BAB VIII

BULAN, GERHANA DAN TRANSIT

Muatan Isi Bab Ini. Bab ini mencoba membawa Anda untuk memahami lebih dalam mengenai fenomena yang sering kita amati yaitu gerhana. Selain itu, terdapat juga peristiwa-peristiwa lain yang menyerupai yaitu okultasi dan transit.

Arus Tujuan Bab Ini. Tujuan dalam bab ini yaitu untuk memberikan pengetahuan kepada Anda mengenai satelit dari planet kita bumi yaitu bulan, menjelaskan bagaimana peristiwa gerhana terjadi, menjelaskan terjadinya peristiwa transit venus, menjelaskan okultasi oleh benda langit, dan memahami lebih dalam mengenai seluk beluk dari bulan, meliuti fase-fasenya, dan jenis-jenis bulannya.

Materi Prasyarat yang harus dikuasai. untuk memahami materi ini secara mudah maka materi prasyaratnya adalah pemahaman mengenai sistem koordinat benda langit dan sistem gerak benda langit sesuai dengan hukum gerak planet Kepler.

Peristiwa gerhana telah diterangkan dalam Al Quran dalam beberapa surah di antaranya yaitu

1. Dalam Surat Yasin: 37, “Matahari itu beredar di tempat ketetapannya”.
2. Qur’an Surat Yasin: 38, “Bagi bulan itu kami telah tetapkan beberapa tempat (peredarannya)”.
3. Surat Yasin: 40, “Tiap-tiap sesuatu beredar melayang (di udara) dengan perhitungan.”
4. Surah Ar-Rahman: 5, “Matahari dan bulan itu (beredar) dengan perhitungan”.
5. Firman Allah dalam Al-Qur’an Surah Az-Zumar: 5, “(Allah) menggulingkan malam atas siang dan menggulingkan siang atas malam”.
6. Fiman Allah dalam Al-Qur’an surah Yunus: 5, “Ialah (Tuhan) yang menjadikan matahari itu terang dan bulan itu bercahaya dan Ia telah tentukan beberapa

tempat (peredarannya) supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan”.

Sesungguhnya sebagian rahasia langit dan bumi telah dijelaskan dalam Al-Quran dan kita sebagai manusia wajib mempelajari dan mempercayainya. Selain itu sebagai muslim yang baik marilah bersama kita buktian kajian Al-Quran secara ilmiah agar semakin meyakinkan iman kita serta menjadikan umat Islam selalu berada di garda terdepan dalam dunia sains.

8.1 Bulan

Bulan adalah sebagai satelit planet bumi yang selalu bergerak mengelilingi bumi. Ukuran dan data tentang bulan dikemukakan pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Data Bulan

Massa	$3,3477 \times 10^{23}$ Kg
Jari –jari	1737,1 Km
Periode Rotasi	27,32 hari
Semi major axis	384 399 km
Peride sinodik	29,5306 hari (dari bulan baru ke bulan baru)
Sudut orbit	$5,145^0$

Kita biasanya melihat setengah permukaan bulan. Tapi ini tidak sepenuhnya benar. Kita bisa mengamati total 59 % dari permukaan bulan pada satu waktu atau yang lain karena *libration* (gerak osilasi). Tiga jenis *libration* bulan :

- *Libration* dalam bujur, karena esentrisitasnya orbit Bulan mengelilingi Bumi
- *Libration* dalam lintang, dari kecondongan sedikit antara sumbu Bulan rotasi dan normal terhadap bidang orbitnya mengelilingi Bumi.
- *Libration diurnal*, adalah osilasi harian kecil karena Rotasi Bumi.

Sisi permukaan bulan yang menghadap bumi disebut sisi dekat, dan sisi yang berlawanan sisi jauh.

Ada 2 jenis permukaan di sisi dekat :

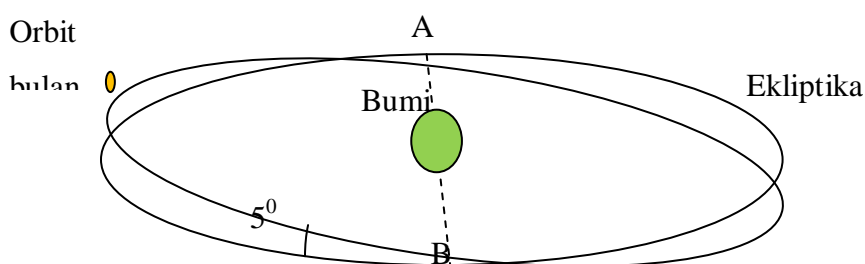
- Daerah terang, dataran tinggi
- Daerah gelap, maria, mereka dianggap laut dan samudra.

Pada gambar 8.1, Gelap dan terang bulan akibat ketinggian. Pada sisi dekat, jumlah maria mencakup sekitar 32% dari permukaan, tapi sisi yang jauh hanya 2%. Kawah bulan terbentuk ketika asteroid dan komet bertabrakan dengan permukaan bulan. Kawah terbesar adalah beberapa 2.240 km dengan diameter dan 13 km secara mendalam. Namun ini sebenarnya bukanlah kawah, hanya berupa cekungan saja.



Gambar 8.1 Permukaan gelap dan terang bulan

Karena kenyataan bahwa orbit Bulan condong sekitar 5 derajat, Bulan sering lewat di atas atau di bawah garis matahari-bumi, sehingga gerhana tidak terjadi setiap bulan. Cahaya yang tersebar melalui atmosfer bumi jatuh di Bulan sehingga Bulan masih bisa dilihat saat gerhana. Bulan mendapat rona kemerahan totalitas dengan kecerahan dan warna sangat tergantung pada jumlah debu di atmosfer bumi. Pada daerah yang memiliki tingkat atmosfer yang bersih, bulan dapat muncul dengan warna merah oranye cantik.

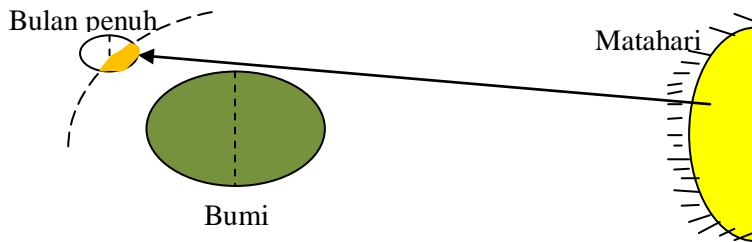


Gambar 8.2 Orbit Bulan

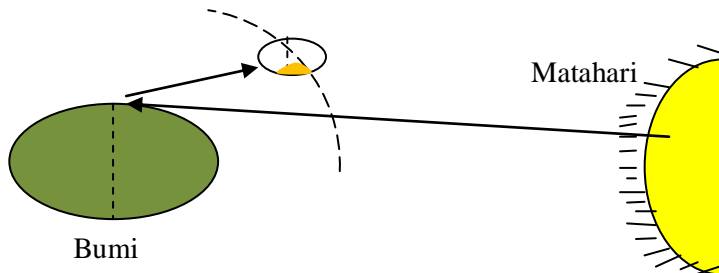
8.1.1 Fase-fase Bulan

Bulan selain berotasi juga mengalami revolusi mengitari bumi, karena cahaya bulan hanya merupakan pantulan dari cahaya matahari, maka ketika bulan mengitari bumi, bulan hanya memiliki beberapa pantulan cahaya sesuai dengan posisinya terhadap matahari. Perubahan bentuk dan rupa bulan dalam

memantulkan cahaya matahari ke bumi disebut sebagai fase bulan. Berikut gambar yang dapat digunakan untuk menjelaskan prosesnya.

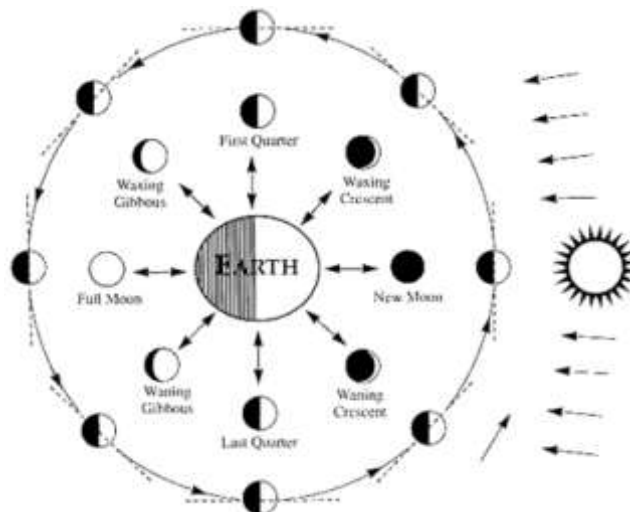


Gambar 8.3 bulan dan matahari berada pada posisi berlawanan



Gambar 8.4 bulan dan matahari berada pada posisi sama terhadap bumi

Gambar 8.3 dan 8.4 menggambarkan dua buah fase bulan, namun sebenarnya fase bulan secara utuh dapat digambarkan pada gambar 8.5. Dalam bahasa indonesia fase bulan dimulai dari *bulan baru*, *bulan sabit awal*, *bulan kuartil pertama*, *bulan sabit kedua*, *bulan purnama*, *bulan sabit ketiga*, *bulan kuartil kedua*, *bulan sabit akhir*. Sedangkan dalam bahasa inggris fase bulan dimulai dari *new moon*, *waxing crescent*, *first quarter*, *waxing gibbous*, *full moon*, *waxing gibbous*, *last kuartil*, *waxing crescent*. Terjadinya gerhana yaitu pada saat bulan berada pada fase bulan baru (gerhana matahari) dan fase bulan purnama (gerhana bulan).



Gambar 8.5. Fase-fase bulan

Lama bulan mengitari bumi sebesar 360 derajat membutuhkan waktu 27,3 hari maka setiap harinya bulan bergerak 13 derajat terhadap bumi dari timur ke barat (karena bumi berputar dari barat ke timur). Matahari juga bergerak sebesar 1° dari timur ke barat maka bulan akan nampak bergerak terhadap bumi akan menjadi 12° . Waktu ini setara dengan 50 menit yang artinya bahwa bulan akan terbit lebih lambat 50 menit setelah matahari, namun terdapat pula teori yang mengatakan keterlambatan bulan bervariasi yaitu antara 38 sampai 66 menit.

Telah dibahas sebelumnya bahwa orbit bulan terhadap terhadap ekliptika membentuk sudut 5° . Maka orbit bulan terhadap ekuator langit akan membentuk sudut $23,5 + 5 = 28,5^{\circ}$ atau $23,5 - 5 = 18,5^{\circ}$.

8.1.2 Periode Sinodis dan Sideris Bulan

Periode sinodis bulan merupakan lama waktu yang dibutuhkan bulan untuk memulai fase dari fase awal sampai fase akhir atau dari bulan baru sampai kebulan baru lagi membutuhkan waktu 29,5 hari. Fase bulan yang dimaksud telah ditunjukkan pada gambar 8.5 pada umumnya menjadi perdebatan umat muslim saat ini adalah mengenai fase bulan yaitu waktu kemunculan bulan baru sebagai dimulainya kalender bulan Islam. Pada saat konjungsi atau ijtima menurut beberapa ahli itu dikatakan belum masuk bulan baru, namun dikatakan bulan baru jika posisi bulan sudah beberapa derajat dari posisi konjungsi.

Sedangkan periode sideris adalah waktu yang dibutuhkan oleh bulan untuk berevolusi (satu orbital penuh sebesar 360^0) yaitu selama 27,3 hari. Waktu sideris biasa kita gunakan dalam menentukan lama waktu edar bulan persecond atau kecepatan bulan mengitari bumi.

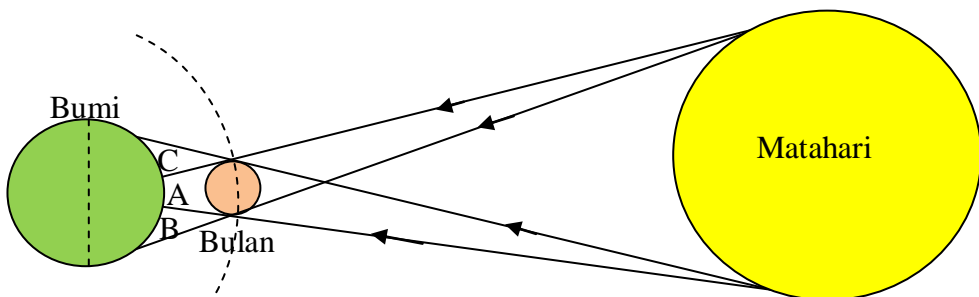
8.2 Gerhana

Gerhana merupakan peristiwa yang paling menonjol dan menarik untuk kita pahami. Gerhana dapat terjadi jika posisi bumi, bulan, dan matahari berada pada satu garis lurus. Sehingga keadaan yang memungkinkan yaitu ketika saat bulan baru atau bulan penuh. Namun tidak setiap bulan dapat terjadi gerhana, hal itu disebabkan karena bulan orbit bulan menyimpang 5^0 terhadap ekliptika. Terjadinya gerhana yaitu ketika bulan tepat berada pada simpul perpotongan antara orbit matahari terhadap ekliptika.

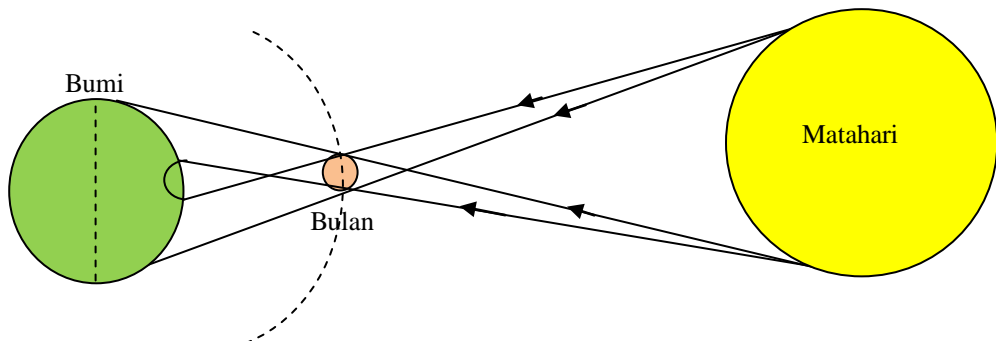
8.2.1 Gerhana Matahari

Peristiwa gerhana matahari dapat terjadi jika posisi bulan berada di antara bumi dan matahari, yaitu pada saat bulan baru muncul gerhana matahari memiliki 3 macam yaitu gerhana matahari total, gerhana matahari sebagian, dan gerhana matahari cincin.

1. Untuk gerhana matahari total, bulan harus terletak pada bidang tata surya, dan bulan berada pada keadaan *perigee* (titik terdekat terhadap bumi) dan memiliki ukuran sudut lebih besar dari Matahari.
2. Gerhana matahari sebagian, jika posisi bumi paling dekat dengan matahari maka bulan tidak dapat menutupi matahari sepenuhnya dan kita mendapatkan apa yang disebut gerhana *annular* (sebagian).
3. Gerhana matahari cincin, terjadi jika posisi bulan berada pada keadaan *apogee* sedangkan bumi berada pada posisi *perihelion*. Lebih jelas dapat ditunjukkan melalui gambar 8.6, sebagai berikut:

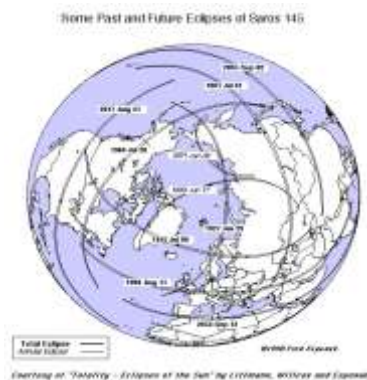


Gambar 8.6 Gerhana matahari sebagian (B, C) dan Gerhana matahari total (A)



Gambar 8.7 Gerhana matahari cincin

Selama gerhana matahari total, bayangan bulan pertama akan menyentuh permukaan bumi pada tahap awal yang disebut jalur gerhana. Total gerhana terpanjang adalah sekitar 7 menit 30 detik lama. Ini akan dapat diamati di khatulistiwa saat bumi berada pada *aphelion* dan Bulan berada di *perigee*. Manusia dahulu mengamati bahwa set gerhana, matahari dan bulan, terjadi setiap 18 tahun 11 hari 8 jam. Jangka waktu ini yang disebut Saros (pengelompokan gerhana matahari dan gerhana bulan).



Gambar 8.8. Pemetaan wilayah Gerhana matahari

Hal yang dapat kita amati di bumi jika terjadi gerhana matahari

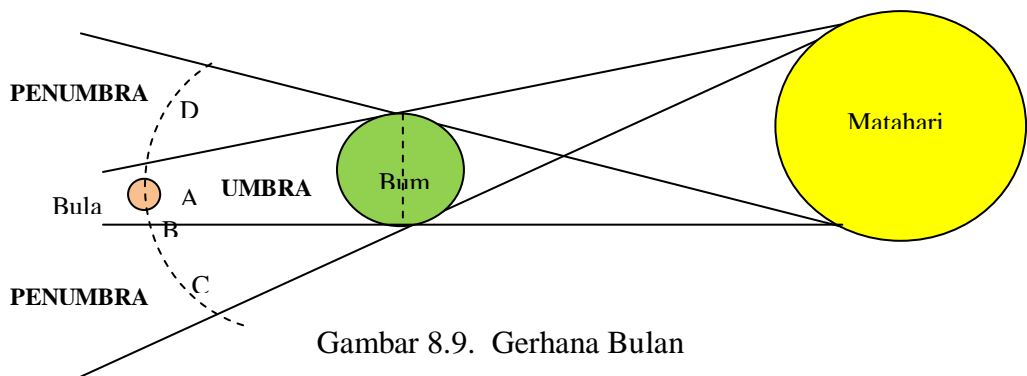
1. Kita akan melihat dan mengamati bahwa bayangan daun akan membentuk seperti sabit.
2. Pada saat gerhana matahari total kita akan dapat melihat karena dari matahari lebih jelas dan lebih indah.

Catatan:

“Gerhana matahari dapat terjadi karena ukuran bulan dan bumi bila dilihat dari bumi tidak memiliki perbedaan yang begitu jauh”.

8.2.2 Gerhana Bulan

Banyak mitos atau cerita rakyat yang mengaitkan peristiwa gerhana bulan dengan cerita-cerita rakyat, misalnya yaitu gerhana bulan terjadi karena bulan dimakan oleh Sang Batara Kala, dan untuk membantu agar bulan dimuntahkan kembali maka masyarakat memukul pohon, atau benda apapun. Namun ini adalah cerita mitos yang kebenaran masih di pertanyakan. Secara ilmiah gerhana bulan dapat terjadi pada saat bulan berada pada fase bulan penuh (purnama). Sehingga posisi bumi berada di antara bulan dan matahari. Terdapat tiga jenis gerhana bulan yaitu gerhana bulan total, gerhana bulan sebagian dan gerhana bulan penumbra. Lebih jelasnya tergambar pada gambar 8.9.



Gambar 8.9. Gerhana Bulan

Pada posisi titik A menunjukkan gerhana bulan total karena bulan berada pada daerah *umbra*, pada posisi C menunjukkan bahwa terjadi gerhana bulan sebagian yaitu bulan berada pada antara daerah *umbra* dan *penumbra* (atau sebagian permukaan bulan berada pada daerah *umbra* dan sebagiannya tidak). Pada titik B dan D menunjukkan terjadinya gerhana matahari *penumbra* yaitu posisi bulan yang berada pada daerah *penumbra*.

Gerhana bulan hampir dapat diamati oleh seluruh permukaan bumi yang mengalami kelam pada saat terjadinya gerhana, bahkan perubahan wajah bulannya pun dapat teramati. Gerhana bulan terjadi dalam waktu 1 jam 40 menit. Lebih lama bila dibandingkan dengan gerhana matahari, itu terjadi karena bayangan *umbra* atau bayangan kerucut yang dibentuk lebih luas.

8.2.3 Frekuensi dan Perulangan Gerhana

Frekuensi gerhana merupakan banyaknya gerhana yang terjadi setiap tahunnya. Telah dijelaskan pada bagian sebelum mengenai orbit bulan yang membentuk sudut 5° terhadap ekliptika yang menghasilkan simpul (titik perpotongan). Selama revolusinya bumi mengitari matahari, arah orbit bulan atau simpulnya relatif selalu sejajar. Posisinya hanya dua titik simpul selama satu tahun jadi ini menunjukkan bahwa hanya akan terjadi 2 kali gerhana dalam satu tahun yaitu setiap 6 bulan sekali terjadi.

Pada tahun-tahun yang lalu orang mencatat bahwa terjadi gerhana yang sama pada selang waktu yang teratur. Jika hal ini dikaji secara ilmiah, mungkin saja bisa terjadi namun harus memenuhi beberapa syarat berikut ini:

1. Bulan harus berada pada fase yang sama
2. Bulan harus pada kedudukan yang sama terhadap garis simpulnya
3. Kedudukan matahari dan bulan harus berada pada jarak yang sama terhadap bumi.
4. Harus terjadi pada waktu yang sama dalam setahun

Untuk memahami syarat-syarat di atas maka kita harus memahami tiga jenis bulan berdasarkan waktunya yaitu:

1. Bulan *sinodis* yaitu bulan dari fase ke fase yang sama membutuhkan waktu 29,5306 hari.
2. Bulan *draconis* yaitu waktu dari satu kedudukan ke kedudukan yang sama dengan tolak ukur garis simpul dalam waktu 27,2122 hari.
3. Bulan *anomalistik* waktu bulan dari kedudukan yang sama terhadap perigee (titik terdekat terhadap bumi) dalam waktu 27,55455 hari.

Ketiga waktu di atas masing-masing menjawab syarat-syarat yang dibutuhkan agar terjadi perulangan gerhana yang sama maka dengan menggunakan KPK bilangan kita akan memperoleh 6585 hari, maka jumlah hari tersebut jika dikonversikan dalam tahun akan kita dapati kurang lebih 18,5 tahun.

8.3 Transit

Transit atau bagian dari sebuah planet melintasi piringan matahari dapat dianggap sebagai gerhana jenis khusus. Hanya planet dalam (*merkurius* dan *venus*) yang mungkin seperti yang terlihat dari Bumi. Ada 13 transit *Merkurius* setiap abad. Transit *Venus* biasanya terjadi pada pasangan dengan delapan tahun

memisahkan dua peristiwa. Namun, kadang lebih dari satu abad berlalu terjadi antara pasangan transit. Transit *Venus* terjadi jika *Venus* berada antara bumi dan matahari dalam satu garis lurus. Sebetulnya, *Venus* berada antara bumi dan matahari setiap 584 hari, tapi posisinya tidak segaris lurus dengan bumi dan matahari, biasanya *Venus* melintas di bawah atau di atas matahari. Soalnya, lintasan orbit *Venus* agak sedikit miring. Posisi segaris lurus hanya terjadi menurut deret 8, 105, 8, 122, dan seterusnya. Artinya, setelah 2004 peristiwa yang sama akan terulang pada 2012, lalu pada 2117, pada 2125, dan pada 2247.



Gambar 8.10. Transit planet venus

Fenomena transit terjadi apabila planet *venus* bergerak melintasi matahari sebagai titik kecil dan hitam yang dilihat dari bumi dengan bantuan teleskop (menggunakan filter matahari) atau kaca mata filter matahari. Bentuknya dapat berupa titik kecil hitam namun lebih besar dari sun spot matahari. Peristiwa ini berlangsung sekitar 6 jam. Transit *venus* terjadi dalam berbagai interval pada rentang waktu 243 tahun, dengan pasangan transit dipisahkan dengan renggang panjang 121,5 tahun dan 105,5 tahun.

8.4 Okultasi

Okultasi merupakan suatu peristiwa tertutupnya suatu benda langit oleh benda langit lainnya yang berukuran lebih besar (dilihat dari pengamat di bumi). Akibatnya, benda langit yang tertutupi menjadi tidak terlihat sama sekali karena tersembunyi di belakang benda lainnya. Secara sepintas, definisi ini mirip dengan definisi gerhana. Namun tentunya ada perbedaan yang mudah dipahami di antara keduanya, yaitu gerhana hanya terjadi pada bulan dan matahari, sedangkan okultasi terjadi secara umum pada semua benda langit. Suatu benda langit dikatakan

mengalami okultasi apabila jarak antara kedua objek tersebut lebih kecil daripada jari-jari objek yang menghalanginya.

Contoh kasus terjadinya okultasi Venus oleh Bulan atau okultasi Mars oleh Bulan. Dan yang menarik, selama abad 21 terjadi 37 kali okultasi Venus oleh Bulan, dengan peristiwa paling menarik adalah okultasi yang akan terjadi pada tanggal 26 Desember 2057 pada saat okultasi Venus oleh Bulan yang terjadi bersamaan dengan Gerhana Matahari sebagian yang dapat dilihat dari benua Antartika



Gambar 8.10. Okultasi benda langit

Kita dapat mengatakan suatu benda langit mengalami okultasi apabila jarak antara kedua objek tersebut lebih kecil daripada jari-jari objek yang menghalanginya. Contoh okultasi adalah kasus okultasi Venus-Bulan, jarak kedua objek langit tersebut lebih kecil dari jari-jari bulan. Jarak yang dimaksud bukanlah jarak antara bulan dan Venus. Akan tetapi jarak yang dimaksud adalah jarak yang dibentuk dari pengamatan yang dilihat dari bumi sebagai titik acuan. Contoh okultasi lainnya adalah tertutupnya planet (Jupiter, dll), bintang atau gugus bintang (Antares, Pleiades, dll), dan asteroid oleh Bulan. Biasa juga kita katakan juga okultasi oleh planet terhadap bintang atau planet lainnya.

Contoh soal

1. Berapa waktu yang diperlukan oleh bulan untuk menempuh 0.5 derajat pada orbitnya mengelilingi bumi?

Jawab:

Menggunakan prinsip dari waktu sideris bulan (perputaran bulan mengelilingi matahari pada keadaan 360° namun bukan pada fasenya)

dengan waktu sideris bulan adalah 27,3 hari maka waktu yang dibutuhkan oleh bulan adalah

putaran penuh : 360^0

putaran pada keadaan $0,5^0$

maka $27,3 \text{ hari} \times \frac{0,5^0}{360^0} = 0,0379 \text{ hari} = 0,91 \text{ jam}$

2. *Blue Moon* adalah fenomena terjadinya 2 bulan purnama dalam satu bulan Masehi. Namun, fenomena *Blue Moon* tidak terjadi pada bulan Masehi tertentu. Bulan Masehi apakah itu?

Jawab:

*Fenomena blue moon (bulan biru) dapat terjadi karena penanggalan gregorian day (masehi) dalam 1 tahun terdapat 365 hari dengan rata2 perbulan antara 30-31 hari sedangkan untuk penanggalan bulan Islam melihat waktu sinodik bulan yaitu 29,5 hari maka untuk 1 tahun ada 354 hari dengan rata-rata bulan 29-30, maka dari perbedaan ini mengakibatkan pada kurun waktu 3 tahun (karena selisih tahun 11 hari maka setelah 3 tahun akan menjadi 33 hari atau 1 bulan) sehingga pada kalender masehi akan terjadi bulan purnama 2 kali dalam 1 bulan, maka saya dapat mengartikan bahwa pada **bulan februari** tidak akan pernah mengalami blue moon karena pada bulan masehi ini jumlah hari relatif lebih pendek dari waktu sinodik bulan.*

PERTANYAAN

1. Bila diameter Bulan 2 kali lebih besar daripada diameternya sekarang, apakah kita masih dapat mengamati gerhana matahari? Prediksikan juga bagaimana bila diameter bulan 2 kali lebih kecil daripada diameternya sekarang? *Catatan: Yang dipandang terjadi adalah gerhana matahari total bukan sebagian (jadi tidak meninjau posisi bulan saat aphelium terhadap bumi atau saat perihelium bumi terhadap matahari)*
2. Jelaskan perbedaan waktu sinodis dan waktu siderik bulan ?
3. Mengapa pengamatan bulan hasilnya dianggap kurang baik jika dilakukan pada saat bulan purnama dan lebih baik jika dilakukan pada quarter bulan awal?
4. Apakah perbedaan antara transit dengan gerhana, dan sebutkan contoh peristiwanya masing-masing?
5. Apakah seorang astronot yang sedang bepergian ke luar angkasa dapat mengamati peristiwa gerhana, bagaimanakah cara yang dapat dia lakukan untuk mengetahui bahwa pada wilayah tertentu di bumi sedang mengalami gerhana?

BAB IX

MEKANIKA BINTANG

Muatan Isi Bab Ini. Dalam bagian bab ini menerangkan secara rinci mengenai mekanika bintang meliputi: gerak paralaks bintang, penentuan jarak bintang dalam tahun cahaya, jarak dalam *parsec*. Menceritakan mengenai warna dan suhu bintang terkait dengan hukum pergeseran wien dan bintang bekerja sebagai radiasi benda hitam.

Arus Tujuan Bab ini. Tujuan pada bab ini, mencoba membantu Anda untuk memahami besaran-besaran astronomi jarak stellar meliputi *parallax*, *Parsec*, Tahun Cahaya, Gerak tepat, skala magnitudo mutlak dan skala magnitudo semu. Memahami warna dan permukaan bintang. Memahami *Stellar fotometri* dan *stellar Spectra*. Memahami bintang pada H-R Diagram. Menghitung magnitudo dan ukuran sebuah bintang

Materi Prasyarat yang Harus dikuasai. Untuk mempermudah anda dalam mempelajari bab ini maka sebaiknya anda mempertajam pemahaman pemahaman matematis anda mengenai algoritma

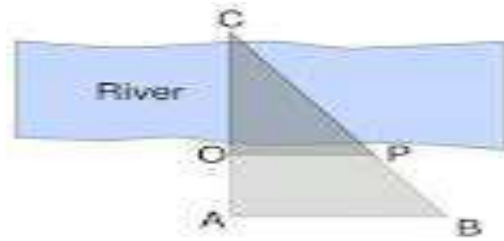
9.1. Jarak Bintang

9.1.1 Parallax

Bila pada malam hari kita hendak mengamati bintang maka kita akan melihat bintang dengan variasi ukuran yang berbeda-beda. Perbedaan variasi ukuran itu bisa terjadi karena pengaruh jarak bintang terhadap pengamat. Hal yang dapat menjadi analogi kita adalah ketika kita melihat lampu pada jarak lebih dekat maka lampu akan terlihat lebih terang sedangkan bila kita melihat lampu pada jarak lebih jauh maka lampu akan terlihat lebih redup.

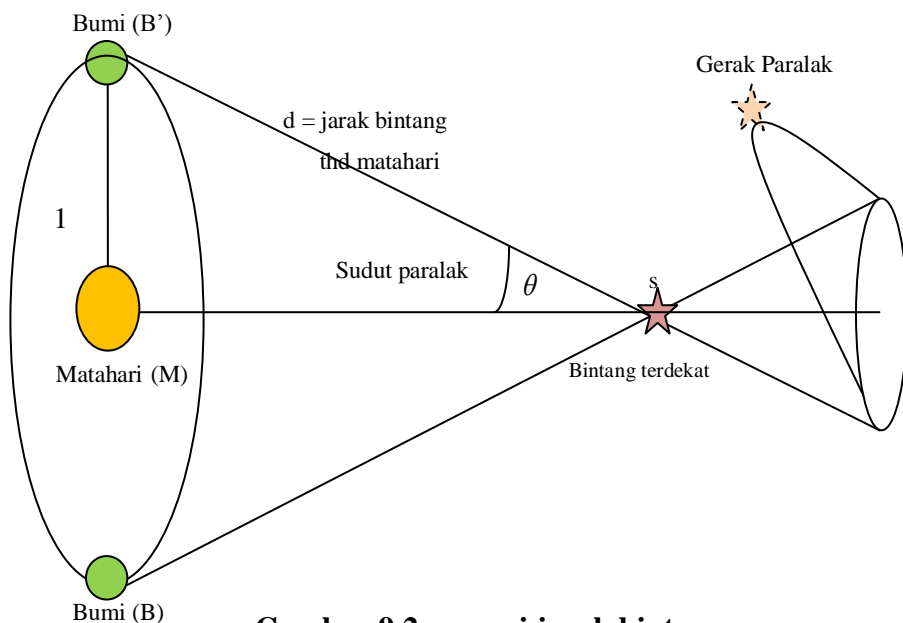
Cara yang dapat kita gunakan untuk menentukan jarak suatu bintang adalah dengan mengukur paralaks bintang tersebut, yaitu perubahan arah penampakan bintang dari satu sisi terhadap sisi orbit yang lain. Paralaks

(pengamatan) dapat memiliki ralat yang besar namun ini adalah salah satu jalan yang mungkin dapat dilakukan untuk menentukan jarak bintang.



Gambar 9.1 *Persepsi parallax*

Dengan sudut 45 derajat, panjang OP adalah sama dengan panjang OC. Kita dapat mengasumsikan bahwa segitiga pada gambar 9.1 merupakan segitiga kongruen antara segitiga ABC dan segitiga POC. Jika OC adalah jarak bintang, jika OP dari bumi, maka dengan prinsip segitiga memiliki sudut 180° , kita akan dapati bahwa sudut P harus 45° sehingga dengan begitu kita peroleh bahwa panjang $OC = OP$.



Gambar 9.2 *asumsi jarak bintang*

Bila kita perhatikan gambar 9.2, maka kita dapat melihat bintang seakan-akan mengalami perubahan kedudukan di langit dari sisi antar orbit yang satu sisi dan orbit yang lainnya. Inilah yang disebut paralaks bintang.

Setengah sumbu panjang orbit paralaks bintang dinamakan paralaks heliosentrik yaitu sudut θ . Maka kita dapat menurunkan perhitungan paralaksnya sebagai berikut:

$$\sin \theta = \frac{MB}{BS} = \frac{a}{d}$$

$$\text{jadi } \sin \theta = \frac{a}{d}$$

$$\text{Maka } \theta = A/d \quad (9.1)$$

Dengan θ adalah sudut paralaks (radian), A adalah jarak bumi-matahari, d adalah jarak bintang dari matahari. Karena sudut masih dalam satuan *arcsecond* maka kita dapat mengubahnya menjadi satuan rad dengan alasan bahwa lintasan benda langit adalah berbentuk mendekati lingkaran (*elips*).

$$1^0 = 60'' = 3600 \text{ arcsecond}$$

$$1 \text{ arcsec} = \frac{1}{3600^0} = \frac{1}{3600^0} \times \frac{\pi}{180} \frac{\text{rad}}{\text{derajat}}$$

$$1 \text{ arcsec} = 4,85 \text{ rad}$$

$$1 \text{ derajat} \times \frac{\pi}{180} = 0,017 \text{ rad}$$

$$1 \text{ AU} = 1,49598 \times 10^8 \text{ km} = 1,49598 \times 10^{12} \text{ m}$$

$$\theta = \frac{1}{10} \text{ arc sec} = \frac{1}{10} \times \frac{1}{3600^0} \times \frac{\pi}{180} = 4,85 \cdot 10^{-7}$$

$$\theta = 4,85 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$$

Sehingga nilai d dalam satuan umum astronomi (AU) dapat diperoleh nilainya adalah

$$d = ?$$

$$d = \frac{A}{\theta} = \frac{1,496 \cdot 10^8 \text{ km}}{4,85 \cdot 10^{-7} \text{ rad}} = 3,084 \cdot 10^{14} \text{ km}$$

$$d = \frac{3,084 \cdot 10^{14}}{1,496} = 2,06 \cdot 10^{14} \text{ AU}$$

$$\text{Jika } 1 \text{ tahun cahaya} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} \quad (9.2)$$

Catatan:

1 Tahun = 365 hari x 24 jam = 8760 jam x 3600 sekon = 31 536 000 sekon, jika kecepatan cahaya adalah 3×10^8 m/s maka 1 tahun cahaya bernilai 94608000×10^8 m atau $9,46 \times 10^{12}$ km.

9.1.2 Parsec

Sebagai sudut dan jarak berbanding terbalik, adalah mungkin untuk menentukan satuan jarak sedemikian rupa sehingga sebuah bintang yang terletak pada jarak ini akan memiliki paralaks dari 1 arcsec. Jika kita mengasumsikan bahwa θ sebagai p . P adalah paralaks dan A bernilai 1 maka besarnya menjadi

$$d = 1 / p \quad \text{atau} \quad p = 1/d \quad (9.3)$$

dimana p adalah paralaks bintang dalam detik busur dan d dalam parsec. 1 *parsec* jarak dari matahari kesuatu tempat yang mempunyai paralax 1 detik busur.

$$P = 1 \text{ arcsecond} \Rightarrow d = 1 \text{ parc second} = 1 \text{ pc}$$

$$p = \frac{1}{10} \text{ arc sec} \Rightarrow d = 10 \text{ pc}$$

Dari hasil pengamatan ternyata paralaks bintang lebih kecil dari satu detik busur ($1''$), dan yang terbesar paralaksnya adalah $0,76$ detik busur ($0'',76$). Maka jika

$$1 \text{ paralaks} = 1'' \text{ maka } d = 1 \text{ pc (parsec)}.$$

Karena satuan jarak bintang pada umumnya digunakan adalah tahun cahaya (TC) maka kita dapat mengkonversika satuan parsec ke dalam satuan TC dengan cara:

$$1^0 = 60'' = 3600 \text{ arcsecond}$$

$$\pi \text{ radian} = 180^0 \text{ sehingga } 1 \text{ radian} = \frac{180}{3,14} = 57,29578^0$$

$$1 \text{ rad} = 57,29578 \text{ sehingga } 1 \text{ rad} = 57,29578 * 3600 = 206264,8 \text{ detik busur}$$

Jika dibulatkan maka diperoleh $1 \text{ rad} = 206265 \text{ detik busur}$

$$1 \text{ rad} = 206265'' \text{ atau } 1'' = \frac{1}{206265} \text{ rad}$$

Sehingga dapat dihitung bahwa besarnya 1 pc adalah

$$d = \frac{1}{p} \text{ atau } p = \frac{1}{d} \quad \text{jika } d = 1 \text{ pc maka}$$

$$1 \text{ pc (par sec)} = \frac{1}{\frac{1}{206265}} \text{ SA} = 206265 \text{ SA} \quad (9.4)$$

$$\text{jadi } d = \frac{1}{p} (\text{par sec})$$

Sesuai dengan perhitungan 9.2 dengan memasukan besarnya jarak 1 tahun cahaya maka kita dapat mengkonversi 1 TC dalam SA menjadi

$$1 \text{ TC} = \frac{9,46 \times 10^{15} \text{ m}}{1,49598 \times 10^{11} \text{ m/SA}} = 63236,1395 \text{ SA} \quad (9.5)$$

Dari persamaan 9.4 kita sudah peroleh besarnya 1 parsec dalam satuan SA maka kita dapat menentukan besarnya 1 parces dalam TC (tahun cahaya):

$$1 \text{ pc} = \frac{206265 \text{ SA}}{63236,1395 \text{ SA/TC}} = 3,26 \text{ SA}$$

$$1 \text{ pc (par sec)} = 3,26 \text{ TC} \quad (9.6)$$

Dalam menentukan besarnya paralaks sebuah bintang memang pekerjaan yang tidak mudah mengingat besarnya paralaks bintang jauh lebih kecil dari satu detik busur. Jika diketahui paralaks sebuah bintang adalah $0'',75$ (bintang alpha centauri) maka berapakah jarak bintang ini.

diketahui $p = 0,75$

$$d = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \text{ pc}$$

$$d = 1,33 \text{ pc} = 1,33 \left(3,26 \frac{\text{TC}}{\text{pc}} \right) = 4,3 \text{ TC}$$

Contoh lain:

Diketahui bintang sirius paralaksnya $0'',38$ maka berpakah jaraknya dalam TC (tahun cahaya)?

diketahui $p = 0,38$

$$d = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,38} = 2,6 \text{ pc}$$

$$d = 2,6 \text{ pc} = 2,6 \left(3,26 \frac{TC}{pc} \right) = 8,5 TC$$

Dari hasil kedua contoh di atas kita dapat melakukan perbandingan bahwa semakin besar paralaks sebuah bintang jaraknya semakin dekat dan semakin kecil paralaksnya maka jarak bintang semakin jauh.

9.1.3 Gerak Tepat

Semua bintang di galaksi bergerak di sekitar pusat galaksi, kecuali mereka bergerak baik secara langsung pergi atau ke arah bumi, maka akan perlahan melintasi langit, ini adalah gerak (detik busur per tahun). Untuk memisahkan gerak paralaks dan gerak tepat, kita perlu mengamati bintang lagi setelah satu tahun penuh ketika bumi kembali ke posisi aslinya. Keadaan gerak tepat dapat diperoleh dengan menggunakan syarat-syarat berikut ini:

- Tanah pengamatan: batas akurasi memberi jarak batas sebesar 40 pc (130 tahun cahaya) .
- Keluar dari ruang obs: Hipparcos (High Precision Parallax Collecting Satellite) mampu mengukur dengan akurasi semilliarsecond. Itu yang mampu sehingga mengukur jarak dan gerakan yang tepat dari 118000 stars untuk jarak 90 pc (300 tahun cahaya).

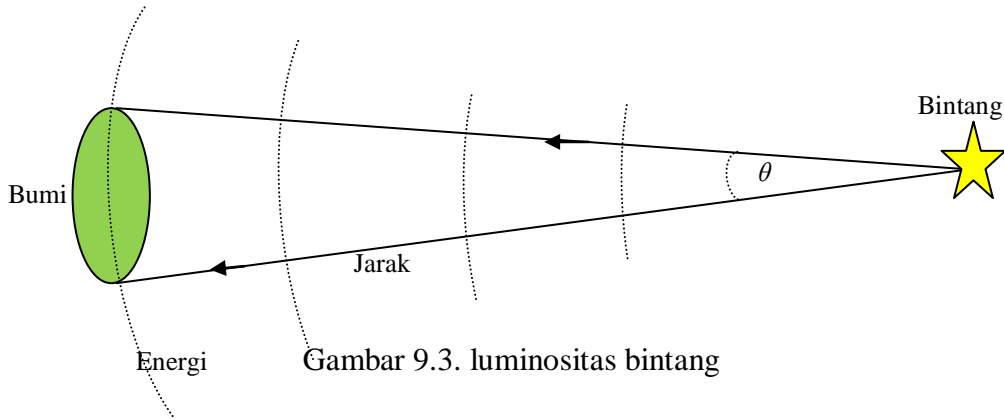
9.2 Luminositas Bintang

Seperti yang telah saya terangkan di awal tadi, bahwa terangnya bintang itu bergantung pada jarak bintang terhadap pengamat. Terang bintang yang tampak oleh mata di bumi sebenarnya adalah energi dari bintang yang diterima oleh mata kita tiap waktu per satuan luas yang biasa disebut dengan **fluks energi** yang dinyatakan dalam satuan joule/s.m^2 .

Sedangkan pengetahuan **luminositas** adalah besarnya energi bintang yang dipancarkan oleh bintang ke ruang angkasa per satuan waktu. Hubungan antara luminositas dan energi bintang di rumuskan pada persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (9.7)$$

Maka jika kita visualisasikan dalam sebuah gambar kita akan mendapatkan bahwa energi memancar berasal dari sumbernya menempuh jarak tertentu.



Gambar 9.3. luminositas bintang

Jika fluks energi matahari yang tiba sampai di bumi adalah $1,95 \text{ kalori/cm}^2$ per menit ini merupakan **tetapan matahari** E_{\square} maka jika satuannya dikonversi akan menjadi:

$$\begin{aligned} E_{\square} &= 1,95 \text{ kal} / \text{cm}^2 \text{ per menit} \\ &= 1,37 \times 10^3 \text{ J} / \text{m}^2 \text{ s} \end{aligned}$$

Jika diketahui 1 AU atau 1 SA = $149.59 \times 10^6 \text{ km} = 1,49 \times 10^{11} \text{ km}$, maka besarnya luminositas yang dipancarkan oleh matahari adalah:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L}{4\pi d^2} \\ L_{\square} &= E_{\square} \cdot 4\pi d^2 \\ &= 1,37 \times 10^3 \text{ J} / \text{m}^2 \text{ s} * 4(3,14)(1,49 \times 10^{11}) \\ &= 3,82 \times 10^{26} \text{ watt} = 3,9 \times 10^{20} \text{ Megawatt} \end{aligned}$$

9.3 Magnitudo Benda-benda Langit

Magnitude atau perbesaran bintang yang kita lihat dari bumi merupakan *Garis Magnitude Stellar* dan *Celestial Coordinate Time* yang pertama diketahui dari katalog bintang yang dibuat oleh astronom Yunani Hipparchos di sekitar 130-160 SM. Dia membagi kelompok bintang yang terlihat dengan mata telanjang

menjadi enam kelompok besar, dengan **bintang paling terang diberi angka 1** **sedangkan bintang yang paling redup diberikan angka 6**. Sekitar tahun 1830 william herschel berkesimpulan bahwa **bintang yang magnitudonya 1 terangnya 100 kali lebih terang dari bintang yang bermagnitudo 6**.

Pada 1854, Norman Pogson menempatkan skala magnitudo secara kuantitatif dengan mendefinisikan perbedaan besarnya lima (antara 1 dan 6 besaran). Jika kita mendefinisikan rasio kecerahan satu perbedaan besarnya sebagai R , maka besarnya bintang 5 akan R kali lebih terang dari 6 bintang besar. Oleh karena itu, besarnya bintang 1 akan $R \times R \times R \times R \times R$ lebih terang dari magnitudo bintang 6. Ini harus sama dengan 100. Oleh karena itu, Kecerahan Rasio antara dua bintang yang magnitudo tampak berbeda oleh salah satu besarnya adalah 2,512.

Sebuah bintang yang muncul di langit cerah baik bisa menjadi bintang samar yang terjadi sangat dekat dengan matahari atau bintang jauh lebih terang pada jarak yang lebih besar. Rasio kecerahan, R , dari dua benda yang berbeda magnitudo tampak dengan nilai Δm dikenal

$$R = 2,512^{\Delta m} \quad (9.8)$$

$$\Delta m = 2,5 \times \log_{10} R \quad (9.9)$$

Contoh soal:

Jika Magnitudo bulan purnama adalah -14.5 Berapa kali lebih terangkah matahari daripada bulan purnama?

$$m_{\text{bulan purnama}} = -14,5$$

$$m_{\text{matahari (lihat tabel)}} = -26,7$$

$$\Delta m = |m_{\text{matahari}} - m_{\text{bulan purnama}}| = |-26,7 - (-14,5)| = |-26,7 + 14,5| = |-12,24| = 12,24$$

sehingga tingkat kecerahan matahari adalah

$$R = 2,512^{\Delta m} = 2,512^{12,24} = 78748,15 \text{ kali lebih terang dari bulan purnama}$$

Karena kecerahan suatu bintang memiliki hubungan yang erat terhadap besarnya energi yang dikeluarkan oleh bintang maka kita dapat menghasilkan sebuah persamaan yang menunjukan hubungan tersebut yaitu:

penginderaan manusia (mrt weber dan fechner)

$$S = c \log R$$

$$\text{jika } c = -2,5 = -\frac{1}{0,4} = \frac{1}{\log 2,512} \quad (9.10)$$

$$m_2 - m_1 = -2,512 \log \frac{E_2}{E_1}$$

Berikut ini disajikan tabel data beberapa magnitudo bintang dan benda langit lainnya:

Tabel 9.1 Data Magnitudo Bintang dan Benda Langit Lainnya

No	Benda Langit	Magnitudo
1	Matahari	-26,8
2	Bulan Purnama	-12,7
3	Jupiter	-2,7
4	Venus	-4,4
5	Mars	-2,0
6	Sirius	-1,5
7	Aldebaran	0,8
8	Betelgeuse	0,4
9	Antares	0,98
10	Vega	0,04

9.4 Magnitudo mutlak dan Magnitudo Semu Bintang

Kecerahan bintang yang tampak oleh mata kita dianggap sebagai **mangitudo semu yang dilambangkan dengan m**. Hal ini karena mata kita sifatnya relatif terhadap apa yang kita lihat, maka untuk membandingkan terang sebenarnya bintang satu dengan yang lainnya maka bintang haruslah berada pada kedudukan atau jarak yang sama dari pengamat. Untuk itu diambil magnitudo bintang pada jarak 10 parsec ini yang dinamakan **dengan magnitudo Mutlak dengan simbol M**.

Hubungan antara magnitudo mutlak dengan magnitudo semu dapat diturunkan dari persamaan pogson, dimana besarnya jarak 10 parsec dianggap sebagai fluks energi E_0 sehingga persamaan yang diperoleh adalah:

$$m - M = -2,5 \log \frac{E}{E_0} \text{ dengan } E = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$m - M = -2,5 \log \frac{\frac{L}{4\pi d^2}}{\frac{L_0}{4\pi d_0^2}}$$

$$m - M = -2,5 \log \frac{L}{4\pi d^2} \frac{4\pi d_0^2}{L_0} \text{ karena } L = L_0$$

$$m - M = -2,5 \log \frac{d_0^2}{d^2}$$

$$m - M = -2,5 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

$$m - M = -5 \log \left(\frac{10}{d} \right)$$

$$m - M = -5 (\log 10 - \log d)$$

$$m - M = -5 (1 - \log d)$$

Maka diperoleh

$$m - M = -5 + 5 \log d \quad (9.11)$$

Sehingga besarnya magnitudo mutlak bintang dapat diturunkan dari persamaan 9.11, sehingga kemudian menjadi:

$$M = m + 5 - 5 \log d \quad (9.12)$$

Dengan menggunakan proses penurunan yang sama untuk mendapatkan persamaan 9.12, kita juga menurunkan persamaan untuk mendapatkan hubungan antara dua buah bintang yang memiliki magnitudo mutlak yang berbeda yaitu:

$$M_2 - M_1 = -2,5 \log \frac{E_{02}}{E_{01}} \text{ dengan } E = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$M_2 - M_1 = -2,5 \log \frac{\frac{L_1}{4\pi d^2}}{\frac{L_2}{4\pi d_0^2}}$$

$$M - M = -2,5 \log \frac{L_2}{4\pi d^2} \frac{4\pi d^2}{L_1} \text{ karena } d_1 = d_2 = d$$

$$M_2 - M_1 = -2,5 \log \frac{L_2}{L_1}$$

$$M_2 - M_1 = -2,5 \log \frac{L_2}{L_1}$$

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

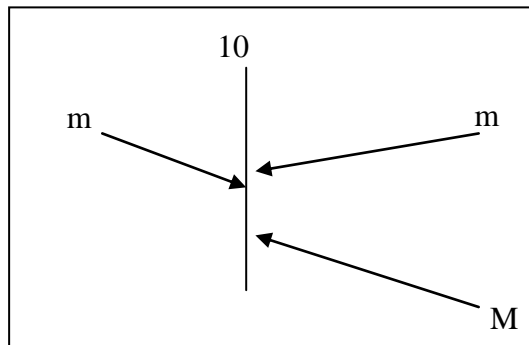
Sehingga diperoleh persamaan yang menunjukkan hubungan antara kedua magnitudo mutlak (M) bintang tersebut adalah

$$\begin{aligned} M_2 - M_1 &= -2,5 (\log L_2 - \log L_1) \\ \Delta M &= -2,5 (\log L_2 - \log L_1) \end{aligned} \quad (9.13)$$

Skala magnitudo mutlak adalah besarnya mutlak bintang yang setara dengan magnitudo tampak yaitu jika berbaring pada jarak 10 parsec. **Salah satu masalah dalam mengukur besaran magnitudo bintang adalah hilangnya cahaya melalui penyerapan debu (distorsi cahaya oleh debu).** Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M = m - 2,5 \log_{10}(R) \quad (9.14)$$

M adalah magnitudo mutlak bintang, m adalah magnitudo semu bintang, R adalah $(d/10)^2$. Berikut ini di gambarkan dalam bentuk garis kedudukan bintang yang berada pada jarak 10 parsec pada gambar 9.4, nilai $(d/10)^2$ merupakan kuadrat perbandingan jarak antara bintang mangitudo semu dengan mangnitudo mutlak bintang. Dengan mengasumsikan bahwa salah satu pengamat tepat berada pada jarak 10 parsec sedangkan pengamatan yang lainnya tidak (bisa kurang atau lebih dari 10 parsec).



Gambar 9.4. Asumsi bintang tampak pada jarak 10 parsec

Contoh Soal !

Bintang *RIGEL* yang berjarak 237 pc dengan magnitudo tampak sebesar 0,12, berapakah magnitudo mutlaknya dan berapa kalikah bintang *rigel* lebih terang dari matahari ?

$$R = \left(\frac{d}{10} \right)^2$$

$$M = 0,12 - 2,5 \log_{10} \left(\frac{237}{10} \right)^2$$

$$M = 0,12 - 25 \log(562)$$

$$M = -6,7$$

Matahari Magnitudo tampak, $m = -26,75$

$$d = \frac{1,496 \cdot 10^8 \text{ km}}{3,08 \cdot 10^{13} \text{ km/pc}} = 4,86 \cdot 10^{-6} \text{ pc}$$

$$m = -26,75 - 2,5 \log \left(\frac{4,86 \cdot 10^{-6}}{10} \right)^2 = +4,8$$

RIGEL dan matahari

$$\Delta m = |-6,7 - (+4,8)| = 11,52$$

$$R = 2,512^{\Delta m} = 2,512^{11,52} = 40571$$

Jadi diperoleh bahwa bintang *rigel* 40571 kali lebih terang daripada matahari.

9.5 Warna dan Permukaan Bintang

Secara teori fisika kita dapat menjelaskan bahwa warna cahaya memiliki hubungan dengan suhunya. Teori ini muncul akibat adanya radiasi benda hitam (benda yang menyerap segala macam bentuk radiasi contohnya adalah fenomena *black hole / lubang hitam*). Ketika benda hitam ini kita panaskan maka akan muncul berbagai radiasi dengan kerapatan energi dan panjang gelombang yang berbeda.

Berikut ini disajikan hubungan antara panjang gelombang dengan warna dan tingkat suhu yang disajikan.

1. Bila suhunya rendah maka akan memancarkan cahaya berwarna kemerahan.
2. Bila suhunya tinggi maka radiasi yang dipancarkan makin menguning.
3. Bila suhunya cukup tinggi maka radiasi yang dipancar berwarna putih atau kebiruan.

Jika kita menganggap bintang sebagai sumber radiasi yang dipandang sebagai benda hitam sempurna. Maka sifat radiasinya dapat kita pelajari dari hukum radiasi benda hitam yaitu:

1. Setiap benda hitam memancarkan radiasi pada seluruh panjang gelombang.
2. Makin tinggi suhu benda maka makin banyak energi yang dipancarkan.
3. Panjang gelombang maximum merupakan radiasi pada tiap suhu tertentu terdapat pula panjang gelombang yang membawa energi maksimum.

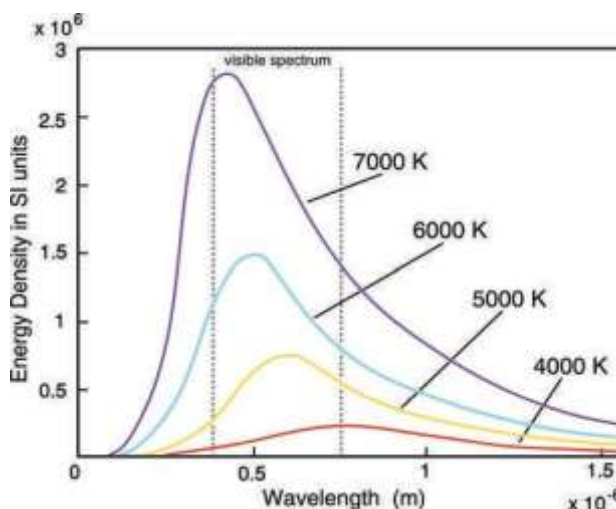
Maka berdasarkan hukum *pergeseran wien* yang menyatakan bahwa **panjang gelombang maksimum suatu radiasi benda hitam berbanding terbalik dengan suhu mutlaknya**. Dituliskan pada persamaan:

$$\lambda_{maks} = \frac{b}{T} = \frac{2,9 \times 10^{-3} m.K}{T} \text{ maka } b = 2,9 \times 10^{-3} mK \quad (9.15)$$

Warna yang kita rasakan adalah fungsi atau hasil dari suhu permukaan bintang. Bintang bertindak sebagai radiator benda hitam, baik puncak panjang gelombang dan total output daya dari sebuah benda hitam yang berkaitan dengan suhunya. Luminositas *Proxima centaury* adalah sekitar 19000 kali lebih kecil dari Matahari. Jika luminositas Matahari adalah $4.10^{26}W$ sedangkan Luminositas *Prima centaury* adalah $4.10^{26}W/19000 = 2.1.10^{22}W$. Jadi dapat dikatakan bahwa warna bintang adalah petunjuk suhu permukaan bintang.

Berikut ini disajikan grafik hubungan suhu terhadap panjang gelombang warna pada sebuah benda. Ini merupakan grafik yang didasarkan oleh Stephan-Boltzmann

$$L = \sigma AT^4 \quad (9.16)$$



Gambar 9.5 Hubungan panjang gelombang (warna) terhadap suhu

Secara eksperimental stefan—boltzman mendapatkan bahwa energi total yang dipancarkan benda hitam per satuan luas per satuan waktu sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya.

$$W = \sigma T^4 \quad (9.17)$$

Keterangan :

W = rapat radiasi

T = suhu mutlak

σ = konstanta stefan—boltzman ($5,6 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^2$).

Persamaan ini dapat 9.17 dan 9.18 kita gunakan untuk menentukan besarnya suhu permukaan sebuah bintang. Jika diketahui besarnya luminositas bintang adalah $3,9 \times 10^{20}$ MegaWeber dan jari-jari bintang adalah $6,98 \times 10^8$ m, maka dengan menggunakan persamaan 9.17 dan 9.18, hitunglah suhu permukaan matahari:

$$L = \sigma AT^4 \quad \text{jika } A = 4\pi R^2$$

$$T^4 = \frac{L}{\sigma A}$$

$$T^4 = \frac{L}{4\pi\sigma R^2}$$

$$T = \left(\frac{L}{4\pi\sigma R^2} \right)^{1/4} \quad (9.18)$$

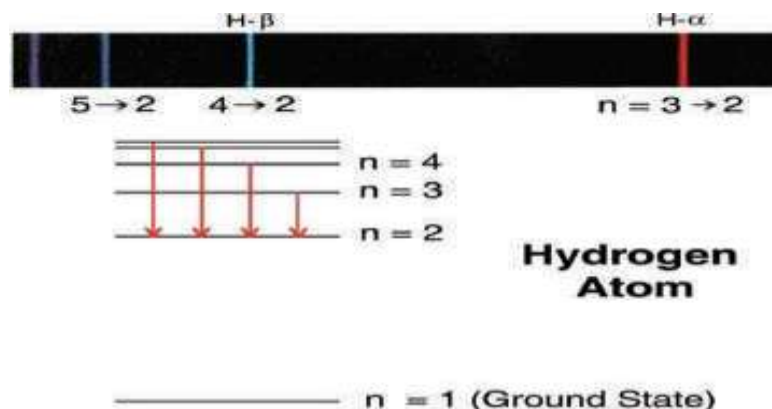
9.6 UBV Fotometri

Satu set standar filter telah didefinisikan untuk digunakan observatorium di seluruh dunia.

- U besarnya: UV Band
- B besarnya: Blue Band
- V besarnya: Band kuning (kira-kira sesuai dengan sensitivitas spektral mata)
- R besarnya: pita merah.

Perbedaan antara besaran di B dan V band disebut indeks warna. Sebuah bintang yang sangat panas cerah biru daripada di bagian kuning dari spektrum, sehingga besarnya V akan lebih tinggi dan dengan demikian indeks warna akan negatif. Suhu Bintang 10000 K = zero warna index

Garis penyerapan *Fraunhofer* yang terlihat di spektrum bintang sangat terkait erat dengan suhu gas melalui cahaya mana yang diteruskan bergerak dari permukaan terlihat. Seperti suhu dinaikkan dari nol, pertama beberapa elektron akan meningkat dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi **pertamanya** dan kemudian ke keadaan tereksitasi yang **lebih tinggi**. Elektron dapat lolos dari atomnya (terionisasi) pada suhu yang cukup tinggi. H I merupakan atom hidrogen netral dan H II merupakan hidrogen terionisasi atom yang telah kehilangan satu elektronnya.



Gambar 9.6. Eksitasi atom hidrogen

Mata kita tidak peka terhadap garis *H α* tapi jauh lebih sensitif terhadap *H β* . Sebagai contoh, kita mengamati *Dumbell Planetary Nebula* melalui teleskop dari 16in, kita akan melihat objek hijau cerah. Spektrum serapan yang kita amati adalah campuran dari semua lini dari berbagai atom dan sangat bergantung pada suhu.

Kemudian *Hydrogen Balmer* muncul terkuat ketika atmosfer bintang adalah 9000 K. Pada suhu yang sangat tinggi bintang, hampir semua hidrogen atom terionisasi sehingga garis *Balmer* yang **sangat lemah**.

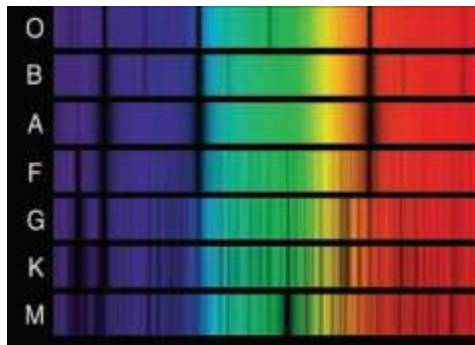
9.7 Diagram Bintang

Bintang-bintang dibagi menjadi 7 jenis spektral: O, B, A, F, G, K dan M di urutan penurunan suhu. Setiap jenis dibagi menjadi persepuluh. Sebagai contoh, bintang terpanas di tipe G adalah G0 dan paling rendah adalah G9. Matahari adalah bintang G2.

*Catatan : untuk mengingat diagram ini kita dapat menggunakan cara mengingat mudah menggunakan singkatan menjadi **Oh Be a Fine Girl so Kiss Me***

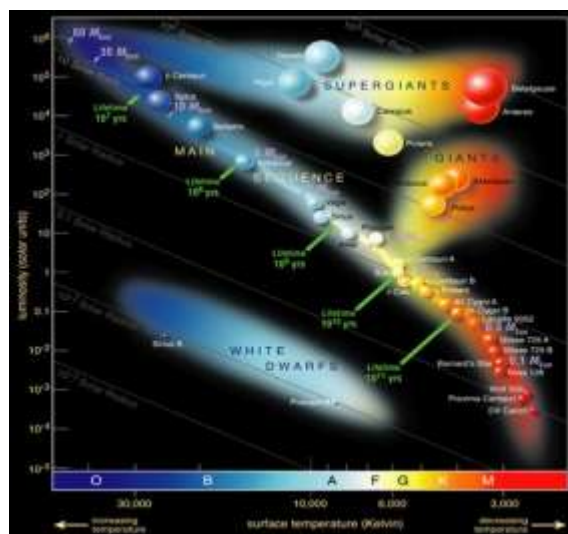
❖ Jenis O : 60.000-30.000 K. Umur hidup Sangat pendek. Baris He II.

- ❖ Jenis B : 30.000-10.000 K. Hidrogen garis Balmer lebih kuat dan He I terlihat .
- ❖ Jenis A : 10000-7500 K. Hidrogen Balmer yang terkuat. Garis elemen terionisasi tunggal (Mg dan Cl) yang muncul.
- ❖ Jenis F : 7500-6000 K. Ca II menjadi menonjol, Hidrogen Balmer lebih lemah .
Jenis G : 6000-5000 K. H dan K garis kalsium terionisasi tunggal adalah terkuat.
- ❖ Jenis K : 5000-3500 K. spektral dari logam netral seperti besi dan sodium.
- ❖ Jenis M : kurang dari 3500 K. Spectra menunjukkan banyak baris molekuler.



Gambar 9.7 Diagram warna bintang

Ejnar Hertzsprung di Denmark dan *Henry Russell* di Princeton University (Amerika Serikat) pada awal 1900-an membuat diagram yang memetakan hubungan magnitudo dan kelas spektrum bintang. Diagram ini menggunakan dasar hubungan magnitudo mutlak yang dikenal dengan diagram H-R.



Gambar 9.8. Distribusi Bintang Diagram H-R

9.8 Gerak Bintang

Apakah bintang juga bergerak?, itulah pertanyaan yang mungkin pernah muncul dalam benak kita. Maka jawablah iya benar, bintang memang bergerak dengan kecepatan hingga beberapa km/s. Orang pertama yang menyatakan bahwa bintang bergerak adalah *edmund halley*. Selain menemukan komet halley yang muncul setiap 76 tahun sekali. Halley juga mengungkapkan bahwa bintang bergerak, namun tidak dapat diamati oleh mata telanjang karena letak bintang yang teramat jauh sehingga sekalipun bergerak butuh pengamatan yang sangat lama. Pengamatannya bisa melebihi usia manusia itu sendiri.

Bukti bahwa bintang bergerak:

Berpedoman pada katalog yang dibuat oleh Hipparcus. Terdapat perbedaan posisi bintang saat ini dengan bintang pada katalog hipparcus yang menunjukkan bahwa bintang memang bergerak. Bahkan gerakanya diprediksi lebih besar dari diameter bulan.

Dengan melakukan analogi sifat antara gelombang bunyi dengan gelombang cahaya maka kita dapat memperoleh perhitungan yang menunjukkan pergerakan bintang.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{1 + \frac{v}{c}}}{\sqrt{1 - \frac{v}{c}}} - 1 \quad (9.19)$$

Keterangan

- $\Delta\lambda$ = perubahan panjang gelombang yang diukur pengamat
- λ = panjang gelombang yang dipancarkan oleh sumber
- c = laju cahaya
- v = kecepatan relatif sumber

Jika sumber cahaya relatif mendekati pengamat, frekwensi yang teramati akan lebih tinggi dari frekwensi cahaya sumber. Sehingga terjadi (blue-shift) atau pergeseran ke spectrum biru, besar frekwensi yang diamati adalah:

$$f = f_o \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

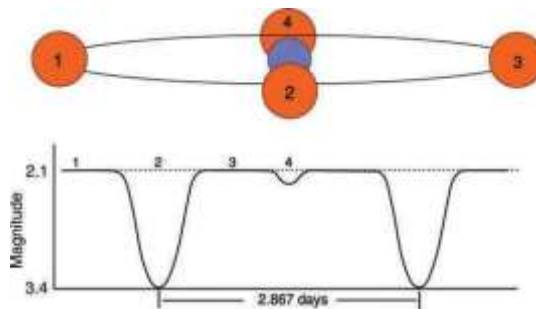
Jika sebaliknya : sumber cahaya menjauhin pengamat , frekwensi yang teramati akan lebih rendah dari frekwensi cahaya sumber sehingga terjadi (red-shift) pergeseran ke spektrum merah.

Mekanika Bintang

$$f = f_o \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$$

9.9 Sistem Bintang Biner

Gerhana biner terjadi jika bidang orbit pasang biner dekat dengan saling berhadapan, masing-masing bintang akan okultisme (menutupi) terhadap yang lain pada gilirannya dan kecerahan sistem akan terlihat menurun. Sebagai contoh: bintang *Beta Persei (Algol)*.



Gambar 9.8. Kurva Magnitudo Bintang Biner

Poin-poin penting:

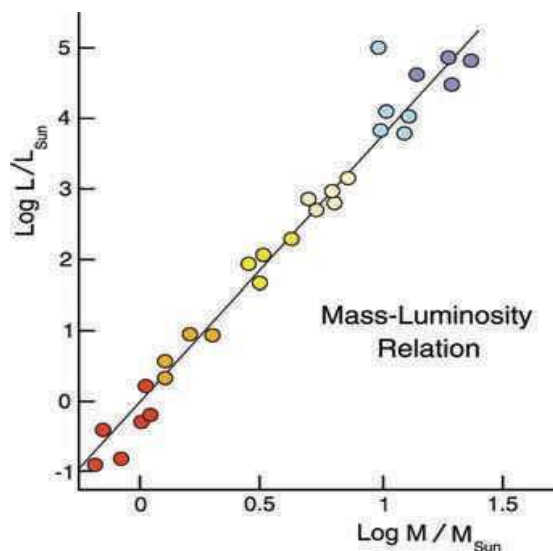
1. Jumlah hari antara kurva besar untuk menentukan orbital periode sistem biner.
2. Durasi kurva besar ke kurva besar lainnya untuk menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan bintang-bintang untuk menyeberang.
3. Jika ketika transit tidak menunjukkan ukuran kurva sama, berarti satu bintang lebih besar dari yang lain.
4. Putaran minimum memberi kita informasi mengenai gerhana parsial.

Penjelasan mengenai besaran-besaran pada sistem bintang algol (bintang biner). Yaitu misalnya kedua bintang dari *Algol* dipisahkan oleh jarak 9.275.000

km. Oleh karena itu, orbit lingkaran adalah 29.100.000 km. Gerhana terjadi selama 10 jam terakhir, yang 14,5% dari periode 68,8. Oleh karena itu, diameter sekitar $(29,1 \times 14,5) / 100 = 4,2$ juta km. Ini adalah sekitar 3 kali dari diameter Matahari.

9.10 Massa dan Luminositas

Luminositas meningkat tajam dengan massa. Tekanan (karenanya suhu) dari sebuah inti bintang meningkat dengan meningkatnya massa bintang.



Gambar 9.9 Hubungan massa bintang terhadap luminositasnya

Misalnya bintang *rigel* dengan M dari *Rigel* adalah -6.7 dan M Sun adalah +4,83. Oleh karena itu, ΔM adalah 11,53.

$$2.512^{11,53} = 41000$$

Ini berarti bahwa Rigel adalah 41000 lebih terang dari Matahari. Dari H-R diagram kita bisa menemukan bahwa temperature permukaan Rigel adalah sekitar 10700 K atau 1,84 kali Matahari. **Berdasarkan Stephan-Boltzman**, setiap meter persegi permukaan Rigel yang akan memancarkan $1,84^4$ atau 11,5 kali dari matahari. Oleh karena itu, luas permukaan 41000 / 11,5 atau 3500 kali dari matahari. Diameternya adalah $3500^{1/2}$ atau 59 kali dari Matahari.

Kita dapat menggunakan generalisasi Hukum Ketiga Kepler yang diperoleh Isaac Newton untuk menghitung massa bintang.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)} a^3 \quad (9.20)$$

Massa matahari sebagai titik awal untuk menghitung bintang massa didasarkan pada jenis bintang (**OBAFGKM**). Tingkat fusi nuklir meningkat dengan cepat dengan temperatur sehingga bintang masif membakar bahan bakar hidrogen mereka jauh lebih cepat daripada bintang yang kurang masif. **Oleh karena itu, bintang yang lebih masif akan memiliki kehidupan yang lebih pendek pada deret utama.**

Sebagai contohnya *Rigel* 41000 kali lebih terang dari matahari kita dan 17 kali lebih besar daripada Matahari. Oleh karena itu, ia akan tetap berada di urutan utama 17/41000 dari masa matahari kita. Contoh Lainnya adalah bintang katai Merah: 1/10000 kali lebih terang dari matahari kita, massa 1/5th bahwa dari Matahari. Oleh karena itu, ia akan tetap pada urutan utama 2000 kali dari Matahari.

PERTANYAAN:

1. Dalam sebuah pengamatan bintang yang letaknya jauh hingga, maka untuk menghitung jaraknya kita menggunakan perhitungan parsec dan juga paralaks, maka hitunglah berapa jarak bintang yang memiliki sudut 1/100 arcsecond jika diketahui 1 AU = 150 juta Km.
2. Bintang *centauri* yang berjarak 131 pc dengan magnitudo tampak sebesar 0,05, berapakah magnitudo mutlaknya dan berapa kalikah bintang *rigel* lebih terang dari matahari ?
3. Jelaskan apakah hubungan antara massa yang dimiliki sebuah planet dengan tingkat luminositasnya dan tunjukan grafiknya?
4. Warna sebuah bintang mengikuti hubungan tetapan Stephan Boltzman, hubungan apakah yang dimaksud, jelaskan?
5. Dalam Diagram warna bintang terurut adalah OBAFGKM yang mewakili suhu tiap-tiap pengelompokan bintang, jelaskan karakteristiknya masing-masing dari O samapai pada M?
6. Berapa kali terangnya sebuah bintang dibandingkan dengan terangnya semula apabila jaraknya dijauhkan 4 kali dari jarak semula?
7. Misal bumi menerima energi dari matahari 400 W/m². Berapa besar energi tersebut yang diterima oleh Pluto yang berjarak 40 satuan astronomi?
8. Dalam tabel di bawah ada data magnitudo (m) dari 5 buah bintang.

Bintang	m
1	7,0
2	5,5
3	6,5
4	- 2,0
5	2,0

- Yang bisa dilihat mata telanjang bintang nomor?
 - Yang paling terang?
 - Yang paling redup?
- Diketahui magnitudo absolut bintang (M) besarnya 10 dan magnitudo semu (m) 15. Tentukan jarak bintang tersebut!
 - Empat bintang diamati magnitudonya dalam panjang gelombang λ visual (V) dan biru (B). Hasilnya:

Bintang	B	V
1	8,65	8,45
2	7,55	7,30
3	7,45	6,95
4	8,45	8,75

- Tentukan bintang paling terang! Uraikan alasannya!
 - Pilihan pada jawaban a membuktikan bahwa bintang itu kecerlangan sejatinya adalah paling terang. Apakah benar demikian? Uraikan alasannya!
 - Bintang mana yang paling panas dan yang paling dingin? Uraikan alasannya!
- Diketahui bintang A kelas G2 II dan bintang B kelas G2 V. Apa persamaan dan perbedaan keduanya?
 - Panjang gelombang maksimum spektrum sebuah bintang adalah $0,7245 \times 10^{-5}$ cm. Berapa temperatur bintang tersebut? Perkirakanlah bintang ini termasuk kelas spektrum mana? (ingat urutan kelas spektrum dari yang panas hingga yang dingin).

13. Magnitudo absolut suatu bintang menunjukkan magnitudo semu bintang yang bersangkutan andaikata bintang itu berada pada jarak?
14. Tunjukkan bagaimana 1 parsec didefinisikan?
15. Sebuah bintang memiliki paralaks 0,04 detik busur, berapa jarak bintang tersebut?

BAB X

EVOLUSI BINTANG

Muatan Isi Bab Ini. Bab ini berisi mengenai proses terbentuknya sebuah bintang yang sering kita lihat dan amati pada malam hari di langit yang begitu luas. Dan juga menceritakan tahap demi tahap proses matinya sebuah bintang. Proses dari lahir hingga matinya bintang ini yang kita kenal sebagai proses evolusi bintang. Dalam bab evolusi bintang juga mengenalkan beberapa tahap-tahap proses terbentuknya bintang dan produk akhir dari hasil bintang yang telah mati terkait dengan massanya.

Arus Tujuan Bab ini. Target yang hendak dicapai agar setelah membaca bab ini, pembaca diharapkan dapat menjelaskan dan mengingat kembali proses terbentuknya bintang, mengenal bintang variabel yang mengalami fluktuasi luminositas, mengingat dan menjelaskan proses matinya sebuah bintang, menjelaskan apa yang terbentuk ketika bintang telah mati, mengapa bintang mati, dan bagaimana mendeteksi keberadaan bintang yang telah mati dan tak bersinar kembali.

Apa yang perlu dikuasai terlebih dahulu. Untuk memperlancar proses pemahaman Anda pada bab ini, maka beberapa hal yang perlu Anda kuasai yaitu mengenai diagram suhu bintang terhadap luminositas (diagram H-R). Menegal perhitungan bintang menggunakan variabel cepheid.

10.1 Proses Terbentuknya Bintang

Segala yang diciptakan oleh yang Maha Kuasa tentu memiliki proses dan pasti akan menemui kehancuran pada masanya. Sebuah bintang memiliki usia yang bergantung pada massanya artinya bahwa bintang dengan massa yang lebih besar maka akan memiliki reaksi nuklir yang lebih cepat dari pada bintang yang massanya kecil. Berikut tahapan evolusi bintang:

1. Bermula dengan pemampatan dan pengerut awan (nebula) yang disebut kondensasi awan nebula.

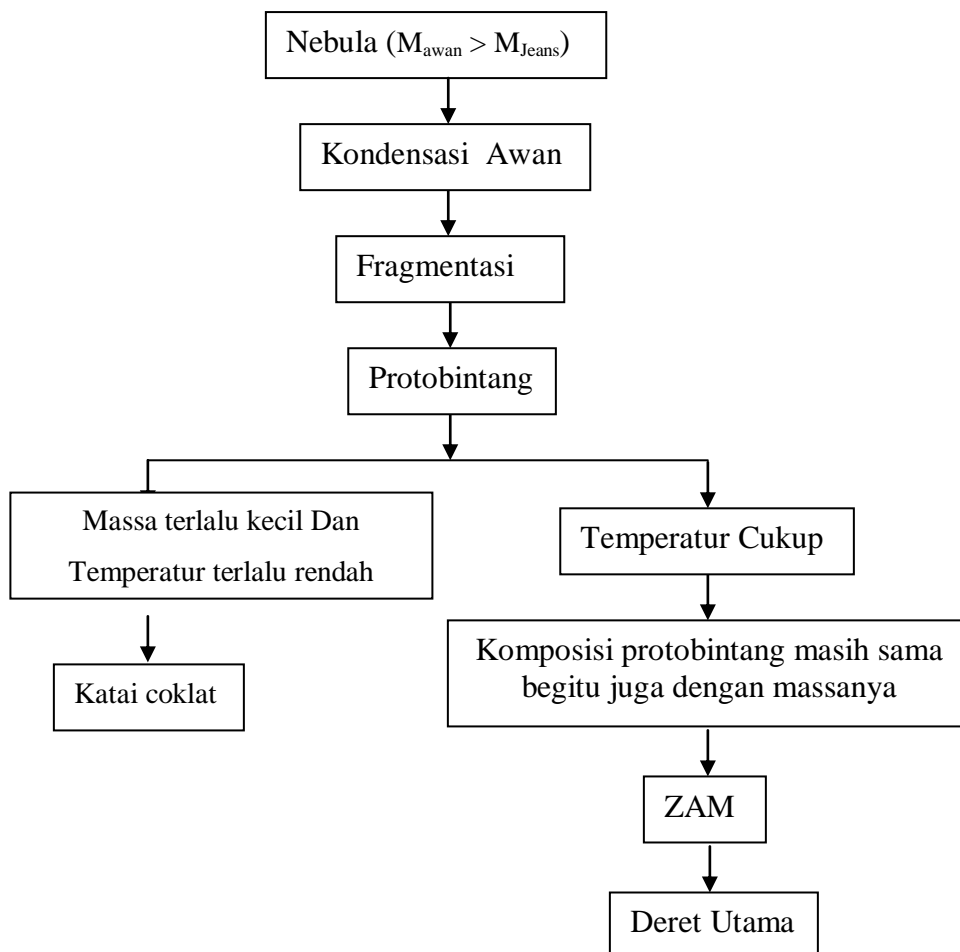
2. Karena kondensasi, tekanan di dalam awan mencoba melawan proses pengerutan. Tekanan ini harus lebih kecil dari gaya gravitasinya, jika tekanan lebih besar maka proses pengerutan akan hancur.
3. Awan nebula yang awalnya hanya berdiri satu gumpalan kemudian akan terpecah menjadi banyak gumpalan awan dan setiap awan akan mengalami pengerutan gravitasi proses ini disebut **fragmentasi**.
4. Kemudian suhu awan menjadi cukup tinggi sehingga awan-awan itu akan memijar dan menjadi calon bintang yang disebut protobintang. Dengan sebagian besar materi protobintang adalah hydrogen.
5. Protobintang yang telah mengakhiri proses fragmentasinya akan terus mengerut akibat pengaruh gravitasinya.
6. Pada awalnya temperatur dan luminositas bintang masih rendah. Mulanya kerapatan materi protobintang seragam, tetapi kemudian materi makin rapat ke arah pusat.
7. Evolusi protobintang ditandai dengan keruntuhan cepat. Kemudian temperaturnya meningkat sehingga protobintang dikatakan berada pada daerah keseimbangan hidrostatik. Kita sebut protobintang itu dengan bintang praderet utama.
8. Luminositas bintang sangat tinggi karena materi masih renggang sehingga energy bebas terpancar keluar. Karena bintang tetap mengerut selama luminositasnya meningkat, permukaannya menjadi lebih panas.
9. Laju evolusi pada tahap ini jauh lebih lambat daripada sebelumnya. Pada akhirnya temperatur di pusat bintang cukup tinggi untuk berlangsungnya pembakaran hidrogen.
10. Pada saat itu tekanan di dalam bintang menjadi besar dan pengerutan pun berhenti. Bintang menjadi bintang deret utama berumur nol (*zero age main sequence* disingkat ZAMS).
11. Komposisi kimia bintang pada saat itu masih homogen (sama dari pusat hingga ke permukaan) dan masih mencerminkan komposisi awan antar bintang yang membentuknya.
12. Batas massa untuk berlangsungnya reaksi hidrogen bergantung pada komposisi kimia, umumnya sekitar $0,1 M_{\odot}$.
13. **Sementara itu**, jika bintang dengan massa lebih kecil dari batas massa ini akan mengerut dan luminositasnya menurun.

14. Bintang akhirnya mendingin menjadi katai coklat tanpa mengalami reaksi inti yang berarti.

Tahapan evolusi di atas disebut sebagai tahap pra deret utama bintang yaitu sebelum bintang masuk pada deret utama pada diagram H-R. Dalam persamaannya, agar pengerutan gravitasi berlangsung massa awan itu harus cukup besar dan melebihi suatu harga kritis yang disebut massa Jeans (M_j).

$$M_j = 1,23 \times 10^{-10} \frac{1}{\sqrt{\rho}} \left(\frac{T}{\mu} \right)^{3/2} \quad (10.1)$$

ρ = kerapatan massa dalam awan (dalam gram/cm³), μ = berat molekul rata-rata. Berikut disajikan diagram dalam bentuk ringkasnya yaitu:



Gambar 10.1 Evolusi awal sebelum memasuki Deret Utama Bintang

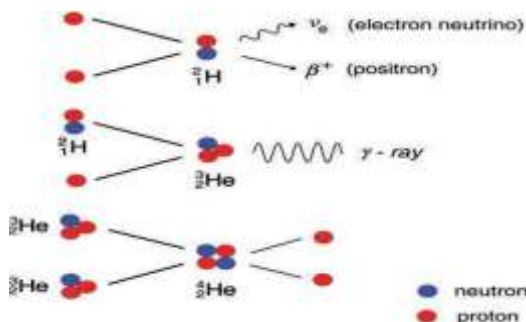
Diawali dengan massa runtuh dari gas nebula kemudian menjadi sebuah bintang, yaitu dengan memulai fusi nuklir pada bagian intinya. Proses ini membutuhkan suhu 10 juta K dan ini hanya dapat dicapai bila massa kontrak lebih besar dari 1029 kg, sekitar 1/12 massa Matahari, atau 80 kali dari Jupiter.

Dalam bintang bermassa rendah konversi hidrogen menjadi helium terjadi melalui proses fusi nuklir adalah sama seperti yang terjadi pada matahari. Namun, pada bintang-bintang yang massanya lebih besar, fusi nuklir hanya mengkonversi 10% dari massa bintang. Bintang dengan massa terendah diperkirakan menghasilkan arus energi yang mencampuri interior bintang sehingga memungkinkan banyak massa bintang tersebut yang mengalami reaksi fusi.

Helium untuk berfusi menjadi unsur yang lebih berat, perlu suhu waktu 100 juta K, bintang memerlukan massa untuk memberikan tekanan yang dibutuhkan sehingga memungkinkan suhu tersebut menjadi tercapai. Bintang memiliki massa kurang dari 0,5 massa matahari, dibutuhkan massa yang cukup untuk menghasilkan tekanan sehingga memberikan suhu yang akan memungkinkan helium untuk memulai reaksi fusi. Oleh karena itu, mengubah hidrogen menjadi helium, setelah 6 triliun tahun, bintang perlahan-lahan akan runtuh selama beberapa ratus miliar tahun untuk membentuk *white dwarf*. Bayangkan sebuah objek seukuran zaitun, yang terbuat dari bahan ini akan memiliki massa yang sama dengan sebuah mobil. Selama bertahun-tahun triliun, kemudian karena proses pendinginan maka akan menjadi kerdil hitam.

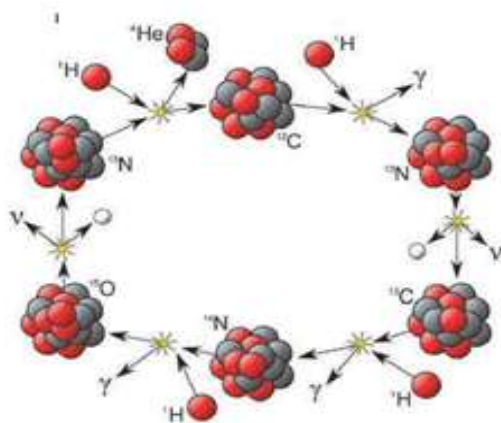
Energi dari bintang yang memiliki massa kurang dari 2 massa matahari adalah diproduksi oleh siklus proton-proton. Melalui tiga tahap:

1. Dua proton bereaksi menimbulkan deutron terdiri dari satu proton dan satu neutron.
2. Sebuah proton lebih lanjut kemudian bereaksi dengan deutron untuk memberikan inti yang terdiri dari dua proton dan satu neutron.
3. Dua helium-3 inti bereaksi untuk memberikan satu helium inti dan dua proton yang dipancarkan untuk mengambil bagian dalam reaksi lebih lanjut.



Gambar 10.2 Siklus Proton-Proton

Ada proses yang lebih kompleks yang disebut karbon-nitrogen-oksigen (CNO) siklus.

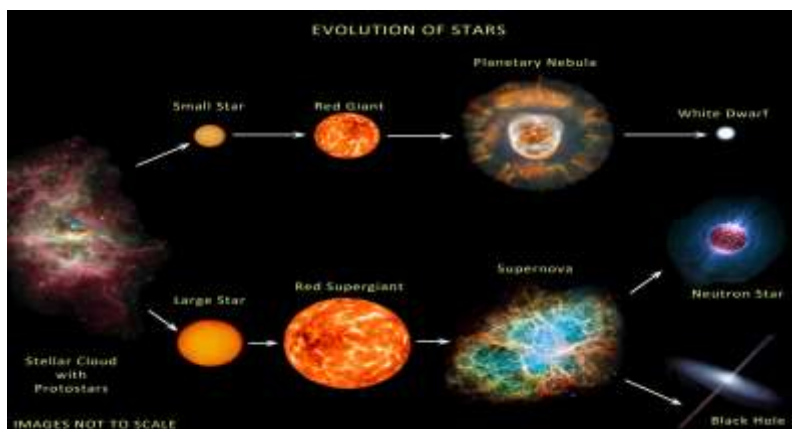


Gambar 10.3 Siklus karbon-nitrogen-oksigen

Untuk bintang yang memiliki massa yang lebih besar dari 2 kali massa matahari, hidrogen membakar lebih cepat sehingga meningkatkan output energi dari inti. ini harus diimbangi oleh radiasi dari permukaan mereka, bintang-bintang menjadi biru dan memiliki luminositas yang lebih besar. Ketika CNO memproses keadaan setimbang, reaksi dari masing-masing tahap akan melanjutkan pada tingkat yang sama. Reaksi paling lambat dalam siklus adalah bahwa yang mengubah ^{14}N ke ^{15}O . Jadi, untuk memiliki laju reaksi yang sama, jumlah inti nitrogen harus besar yang berarti baik karbon atau oksigen.

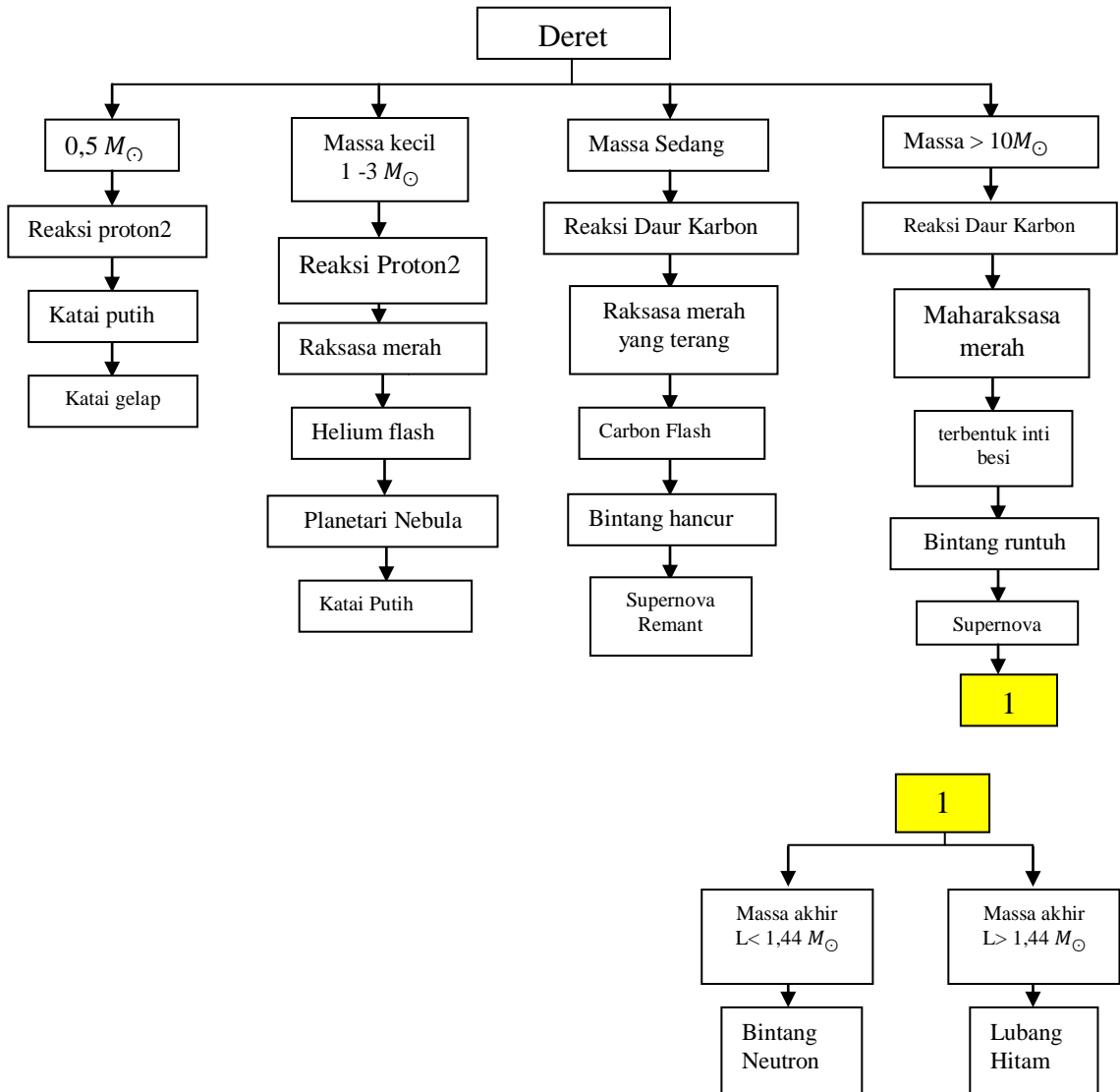
Catatan:

Kenaikan berat molekul rata-rata \Rightarrow tekanan gas ideal meningkat dengan suhu gas \Rightarrow luminositas meningkat. Dapat dilihat dari lajur kiri ke kanan (pembaca)



Gambar 10.4 siklus evolusi bintang (Diagram H-R)

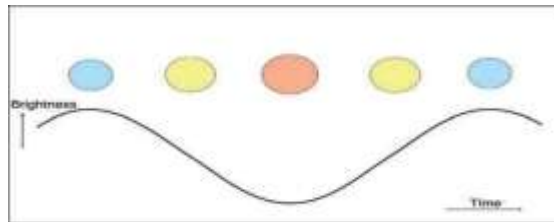
Setelah memasuki deret utama, maka secara rinci proses evolusi bintang dapat di simak melalui gambar diagram berikut ini:



Gambar 10.4
Diagram Evolusi Bintang Tahap Lanjut

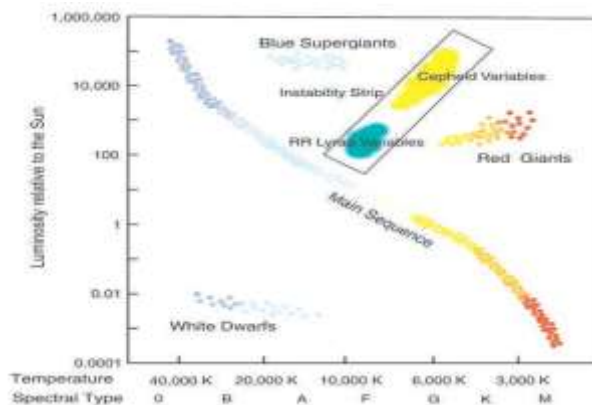
10.2 Bintang Variabel

Contoh dari bintang variabel adalah RR Lyrae, d Cepheids, PG 1159, ZZ Ceti, Geminorum. Jadi ketika bintang itu menjadi kurang stabil, bintang variabel berosilasi dalam ukuran.



Gambar 10.5 Osilasi bintang variabel

Kebanyakan bintang variabel menghuni strip (disebut ketidakstabilan jalan dan bentuk) pada Diagram HR yang terletak di antara deret utama dan pada saat keadaan *red giant*.



Gambar 10.5 Klasifikasi bintang berdasarkan luminositasnya

Contoh bintang variabel

1. Karakteristik bintang **RR Lyrae**

- 1) Bintang ini adalah bintang horisontal-cabang, setelah berkembang dari deret utama ke tahap raksasa merah (*red Giant*), setelah berakhirnya mengalami Fusi hidrogen.
- 2) Periode denyut khas sekitar 0,2 - 1,2 hari.
- 3) Mereka umumnya berada di gugus bola, M80 adalah contoh dari gugus bola.M80 (pengelompokan *Messier*)

2. Karakteristik **Variabel Cepheid**

- 1) Massanya adalah antara 4 sampai 15 kali massa Matahari. Merupakan anggota kelompok bintang muda dan umumnya ditemukan di lingkaran Bima Sakti.
- 2) Luminositasnya bergerak fluktuatif naik turun dengan periode beberapa hari untuk beberapa bulan.
- 3) *Henrietta Leavitt* menemukan bahwa periode bintang ini sangat erat terkait dengan luminositas mereka. Semakin lama periode, maka bintang ini akan lebih bercahaya (luminositas tinggi).

10.3 Raksasa Merah dan Planetary Nebula

1. *Red Giant* (Raksasa Merah)

Karakteristinya Red Giant adalah sebagai berikut

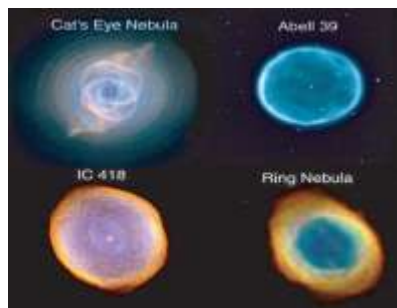
- 1) Atmosfer luar yang terbentuk masih sangat lemah
- 2) Suhu permukaan relatif rendah
- 3) Diameternya 20 - 100 kali dari Matahari
- 4) Suhunya berada pada kisaran 3000 - 4000 K

Proses terbentuknya Red Giant (Raksasa Merah)

- 1) Bintang kehabisan bahan bakar hidrogennya.
- 2) Reaksi nuklir mulai berhenti.
- 3) Terjadi Kontraksi pada inti.
- 4) Suhu dan tekanan meningkat.
- 5) Reaksi fusi yang melanjutkan.
- 6) Terjadi peningkatan laju reaksi.
- 7) Kecerlangan cahaya atau luminositas bintang meningkat sebesar faktor 1000-10000 kali.
- 8) Terjadi perluasan pada lapisan luar bintang.
- 9) cahaya tampak digeser ke merah.

2. Planetary Nebula

Bintang menjadi tidak stabil sehingga bagian-bagian terluar bintang ditiup pergi untuk membentuk Planetary Nebula sekitar sisa inti. Bintang ini mengandung gas dan debu.



Gambar 10.6 Planetary Nebula

Proses Terbentuknya Planetary Nebula

- 1) Runtuhnya permukaan.
- 2) Luas permukaan menurun, pada saat yang sama, permukaan suhu meningkat \Rightarrow luminositas konstan.
- 3) Terjadi tahap pemampatan ketika sekitar setengah massanya hilang.
- 4) Hidrogen terbakar menjadi helium, helium meningkat, suhu naik.
- 5) Terjadi reaksi helium ke karbon.
- 6) Pembakaran karbon menjadi oksigen dalam inti dan menjadi tidak stabil.
- 7) Bintang Mati dan keluar sistem.
- 8) Inti mengalami pendinginan, kemudian menjadi runtuh ke seukuran Bumi.

Massa paling besar dibutuhkan Planetary nebula

Massa minimum bintang yang harus dimiliki adalah 8 massa Matahari untuk menjadi Supernova (SN) pada akhir evolusi bintang tunggal. Bintang bermassa tinggi memiliki suhu pusat yang tinggi, luminositas tinggi, dengan demikian memiliki hidup yang pendek. Jenis-jenis bintang bermassa tinggi:

- 1) OB, tipe O atau B
- 2) RSG, supergiants merah
- 3) LBV, variabel biru bercahaya
- 4) WR, bintang Wolf-Rayet, terutama helium tanpa hidrogen

10.4 Bintang Neutron

Bintang yang memiliki massa yang lebih besar dari 8 massa matahari tetapi kurang dari 12 massa matahari atau dalam matematisnya $8 \leq M < 12$, mereka menjadi bintang neutron saat runtuh.

1. Massa akhir terbentuk : 1,4 massa matahari
2. Jumlah neutron: 10^{57}
3. Radius: 10 km - 15 km
4. Gravitasi: 190 miliar kali gravitasi di permukaan bumi
5. Oleh karena itu, kecepatan melarikan diri adalah sekitar 0,64 c

Karakteristik bintang neutron

1. Karena diameter bintang yang terlalu kecil maka dengan menggunakan hukum kekekalan momentum sudut, kita tahu bahwa sebagai ukuran berkurang, maka bintang neutron akan berputar cepat.
2. Karena berputar sangat cepat maka intensitas medan magnetnya akan mampu menjerat semua partikel bermuatan dan mempercepatnya sehingga menghasilkan kecepatan yang sangat tinggi. Karena memperoleh percepatan sehingga bintang neutron juga memancarkan radiasi (yang disebut sebagai pulsar). Jadi melalui medan magnet yang intens dari hasil perputaran bintang neutron ini yang menghasilkan pulsar sehingga kita dapat mengamati mereka.

Bagaimana mendeteksi keberadaan bintang neutron

Mendeteksi keberadaan bintang neutron yaitu dengan menggunakan quasar. Quasar adalah sumber radio dengan ukuran sudut yang sangat kecil. Dengan cara mendeteksi keberadaan sumber radio dengan mempelajari jumlah sintilasi (*twinkle*) diamati ketika sumber berada di sudut berbeda jarak dari matahari.

Media antar bintang bukan vakum sempurna sehingga dengan begitu dapat menyebabkan efek dispersi. Oleh karena itu hanya , hal itu akan teramati jika sumber dari pulsar adalah jauh melampaui tata surya.

10.5. Lubang Hitam (*Black Hole*)

Syarat terbentuknya lubang hitam:

1. Massa hingga satu miliar atau lebih dari matahari kita, maka ditemukan jantung galaksi.

2. Hasil dari runtuhnya inti bintang, memiliki massa melebihi 3 massa matahari, titik ini terjadi degenerasi tekanan neutron tidak bisa lagi mencegah keruntuhan gravitasi

Penting mengenai *Black Hole*

Benda-benda langit yang berada pada jari-jari *Schwarzschild radius* yang mendekati lubang hitam tidak akan dapat lari atau lolos dari gaya tarik gravitasinya

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

R_s = jejari Swarzschild, G = konstanta gravitasi, M = massa bintang, c = kecepatan cahaya. Semakin besar sebuah lubang hitam, semakin besar ukuran R_s . Lubang hitam dengan massa 1 massa matahari akan memiliki radius 3 km.

Bagaimana cahaya yang dipancarkan oleh bintang itu bisa terperangkap di dalam bintang itu sendiri sehingga tidak ada radiasi ke luar?

Bila bintang mengerut dan menjadi lebih kecil lagi dan lebih rapat dari bintang neutron, maka gravitasi permukaannya bertambah dan pembelokan cahaya juga bertambah besar. Maka ketika bintang mencapai ukuran dimana berkas cahaya horizontal memasuki orbit lingkaran permukaan pada jejari demikian itu dinamakan **bola foton** atau **foton sphere**. Karena bintang mengerut terus dan lebih kecil dari bola foton maka bila bintang mengalami keruntuhan gravitasi maka sudut bintang α akan menjadi nol sehingga tidak ada lagi cahaya yang dapat lepas sama sekali karena α merupakan sudut pancaran bola.

Lubang Hitam dapat Dideteksi oleh Teleskop Sinar-X. MENGAPA?

1. Dalam sistem biner, salah satu komponen adalah lubang hitam. Gas berputar sampai karena konservasi momentum sudut \Rightarrow kemudian mengalami penurunan kecepatan rotasi sehingga menciptakan lebih banyak gesekan \Rightarrow terjadi masalah kenaikan suhu lebih dari 1 juta K \Rightarrow sehingga memancarkan sebagian besar X-ray., (secara singkat pada sistem biner atau bintang ganda, bila salah satu bintang menjadi *black hole* maka akan menelan bintang lainnya, dalam proses penelannya ini kita mendeteksi keberadaan *black hole* tersebut)
2. Kekosongan fluktuasi: partikel dan anti-partikel dapat muncul keluar dari dalam *black hole*, yang ada dalam waktu yang sangat singkat, dan kemudian memusnahkan satu sama lainnya. Partikel yang lolos membawa energi jauh dari lubang hitam, sehingga dapat dideteksi keberlanjutannya.

PERTANYAAN

1. Bintang variabel mengalami osilasi pada ukurannya yang dapat kita lihat dari luminositas bintangnya, apakah yang menyebabkan bintang variabel mengalami osilasi?
2. Bagaimanakah cara yang dapat dilakukan untuk mendeteksi keberadaan lubang hitam (black hole) sementara black hole bersifat menyerap cahaya?
3. Sebuah bintang mengalami evolusi bintang sehingga menjadi black hole jika kini massa bintang menjadi 3 kali massa matahari dengan ketetapan gravitasi G maka hitunglah berapakah jari-jari *Schwarzschild*?
4. Pada saat seperti apakah bintang mengalami proses nuklir proton-proton dan reaksi fusi nuklir?
5. Jelaskanlah evolusi bintang pada tahap *red giant* dan *planetary nebula* dan sebutkan pula syarat-syaratnya?
6. Mengalami seperti apakah bintang yang berevolusi menjadi bintang katai, bintang *neutron* dan *black hole*?
7. Apakah yang dimaksud dengan *supernova*, dan sebutkan contoh yang Anda ketahui?
8. Layaknya seperti manusia, bintang termasuk Matahari juga mengalami fase kehidupan, lahir dan akhirnya mati. Tuliskan fase-fase yang dimaksud!
9. Bintang A massanya 20 kali massa bintang B. Jika bintang A hidup selama 8 milyar tahun, berapa lama masa hidup bintang B?
10. Sebuah bintang memiliki rapat massa 25 kali lebih kecil dari rapat massa matahari. Jari-jarinya 5 kali jari-jari matahari. Jika umur matahari di deret utama adalah 8×10^9 tahun, berapa umur bintang tersebut di deret utama?

BAB XI

TELESKOP MODERN (RADIO TELESKOP)

Muatan isi bab ini. Pada bab ini kita coba mendalami mengenai teleskop radio yang merupakan teleskop yang bekerja menerjemahkan signal-signal radiasi yang dipancarkan oleh benda langit. Teleskop jenis ini memiliki banyak keunggulan yang sudah banyak dikembangkan di beberapa negara maju.

Arus tujuan bab ini. Arus bab ini akan membawa Anda untuk sedikit membayangkan bagaimana sebuah radiasi diterjemahkan dalam bahasa komputer dan menghasilkan data-data yang bermanfaat. Untuk dengan mempelajari bab ini maka anda diharapakan dapat memahami prinsip kerja teleskop radio, memahami interferometri radio, dan mengenal radio teleskop dunia.

Pengetahuan prasyarat yang harus dimiliki, adalah hal dasar yang perlu Anda miliki yaitu memahami prinsip kerja dari sebuah gelombang elektromagnetik, dan sifat-sifatnya ketika mengalami polarisasi, interferensi, maupun superposisi gelombang.

11.1 Teleskop Radio

Teleskop radio bekerja dengan menangkap sinyal-sinyal gelombang elektromagnetik. Panjang gelombang khas berkisar dari 0,75 m sampai 1 cm. Keuntungannya panjang gelombang yang jauh lebih lama dari optik panjang gelombang, sehingga mereka tidak diserap oleh debu.

Mayoritas teleskop modern yang baik fokus utama berjenis paraboloids, di mana penerima terletak di fokus utama di atas permukaan (*cassegrain desain*), yang menggunakan cermin sekunder untuk kembali ke gelombang radio pada titik bawah pusat reflektor primer menuju ke permukaan titik di tempat penerima radio berada.

Teleskop Modern (Radio Teleskop)



Gambar 11.1. Contoh Teleskop Radio

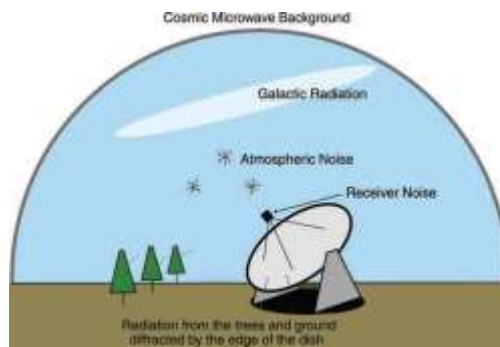
Komponen Teleskop Radio:

1. Sebuah antena radio besar.
2. Radiometer atau radio penerima.

Sensitivitas teleskop radio adalah kemampuan untuk mengukur lemahnya sumber-sumber emisi radio. Hal ini tergantung pada daerah dan efisiensi dari antena, dan sensitivitas penerima radio yang digunakan untuk memperkuat dan mendeteksi sinyal, dan durasi pengamatan.

Kebisingan Teleskop Radio:

1. Kebisingan oleh pendingin amplifier, dalam urutan 8K.
2. Kebisingan tersisa dari Big Bang. Ini merupakan *Microwave Cosmic Latar Belakang* (3K).
3. Kebisingan dari Bima Sakti kita disebabkan oleh radiasi *synchrotron*.
4. Radiasi dari molekul di atmosfer, terutama uap air.
5. Radiasi benda hitam dari tanah yang menghambur sekitar tepi piring.



Gambar 11.2. Kebisingan Teleskop radio akibat pengaruh lingkungan

11.2. Radio Interferometri

Kesulitan dalam mencapai resolusi tinggi dan hasil yang baik pada saat menggunakan teleskop radio tunggal maka menyebabkan munculnya ide dengan sistem *interferometri radio*. Sistem ini pada mulanya dikembangkan oleh astronom radio Inggris **Martin Ryle** dan didukung oleh insinyur Australia, astrofisikawan, dan astronom radio **Joseph Lade Pawsey dan Ruby Payne-Scott**. Pada tahun 1946. Interferometes radio modern terdiri dari radio secara luas yang dipisahkan. Teleskop yang dibuat ini mengamati objek yang sama yang terhubung bersama-sama menggunakan kabel koaksial, Waveguide, beroptik atau jenis saluran transmisi.

Teknik interferometer bekerja dengan menggunakan prinsip superposing (campur) gelombang sinyal dari perbedaan teleskop. Dengan prinsip kerja bahwa *gelombang yang bertepatan dengan fase yang sama akan menambah satu sama lain sementara dua gelombang yang memiliki fase berlawanan akan membatalkan satu sama lain*.

Penyusunan teleskop radio ini perlu mempertimbangkan garis antena sepanjang 5 km, panjang tengah antena adalah terletak di Kutub Utara. Jika kita melihat dari bagian atas maka akan terlihat teleskop radio yang memutar, dengan area melingkar memiliki diameter 5 km. Contohnya adalah *VLA (Very Large Array)*



Gambar 11. 3 *Very Large Array* (Radio Interferometer)

11.3 Radio Teleskop di Indonesia

Sama halnya dengan teleskop refraktor yang paling besar yang kita miliki berada di Bandung tepatnya di Boscha, teleskop radio juga kita miliki seperti yang di Observatorium Bosscha:

1. Radio Telescope 2,3 m. Ia bekerja pada panjang gelombang 21 cm atau pada kisaran 1400-1440 MHz
2. Jove Telescope Radio. Mendeteksi emisi dari Jupiter dan Matahari pada frekuensi 20,1 MHz

11.4 Beberapa Jenis Teleskop

1. *United Kingdom Infrared Telescope (UKRIT)*

United Kingdom Infrared Telescope (UKRIT) yang terletak di ketinggian dari 4194 m di Mauna Kea, Hawaii. Ini memiliki cermin 3,8 m dan dilengkapi dengan pertengahan *eschelle spektrometer inframerah* baru. Telah digunakan untuk mengamati bintang-bintang muda, katai coklat, dan bintang-bintang yang gagal.

Ini berasal dari bahan yang dingin di alam semesta (awan gas dan debu) uap air di atmosfer Bumi itu menyerap submilimeter gelombang. Itu sebabnya tinggi, situs kering Mauna Kea adalah salah satu tempat terbaik di planet ini untuk astronomi. Detektor array (SCUBA) disimpan dalam selubung cairan helium pada suhu kurang dari 1/10 derajat di atas nol mutlak.

Teleskop lain:

1. The Compton Gamma-ray Observatory.
2. The Observatory Chandra X-ray.

11.5 Jenis Observatorium

1. *The Spitzer teleskop ruang:*

Spitzer adalah teleskop terbesar yang pernah diluncurkan ke ruang angkasa. Teleskop ini harus didinginkan mendekati nol mutlak sehingga dapat mengamati sinyal inframerah dari ruang angkasa tanpa gangguan panas dari teleskop itu sendiri. *Spitzer* membawa perisai matahari dan orbitnya untuk melindungi teleskop dari panas radiasi matahari dan IR dari Bumi.

2. *The IceCube detektor detektor*

The Ice Cube detektor adalah detektor partikel di Kutub Selatan yang mencatat interaksi neutrino. *Ice Cube* terdiri dari 5.160 modul digital ditanggungkan sepanjang 86 (kabel) tertanam dalam satu kilometer kubik es di bawah Kutub selatan. Mendeteksi neutrino melalui abu biru cahaya yang disebut *Cherenkov cahaya*, diproduksi ketika neutrino berinteraksi es. Neutrino diamati oleh *IceCube* berada pada *significantly* lebih tinggi tingkat energinya daripada yang dihasilkan oleh pengukur sebelumnya sumber. Neutrino ini ditemukan dalam data yang dikumpulkan dari Mei 2010 sampai Mei 2012. Neutrino ini berasal dari luar Tata Surya. Ilmuwan percaya bahwa ada setidaknya dua jenis ledakan sinar gamma:

1. Ejection dari Supernova, mereka adalah jet materi dan radiasi
2. Bintang neutron yang spiral bersama-sama dan akhirnya bergabung

Ice Cube dibangun di Kutub Selatan untuk mengambil keuntungan dari es yang sangat dingin dan jelas tersedia di sana di tanam dalam kegelapan es.

PERTANYAAN:

1. Menurut pendapat Anda apakah keunggulan teleskop radio dalam bidang astronomi dibandingkan dengan teleskop yang menggunakan lensa atau cermin?
2. Sebutkan jenis-jenis teleskop radio dan jelaskan prinsip kerjanya?
3. Jelaskanlah prinsip kerja dari radio interferometri dalam menjawab sinyal-sinyal gelombang elektromagnetik?
4. Apakah Indonesia juga mengembangkan teleskop radio, jika ia teleskop radio jenis apakah yang dikembangkan dan untuk tujuan apakah pengembangan ini dilakukan?
5. Jelaskan apa yang Anda ketahui tentang:
 - a. *Infrared teleskop*
 - b. *Spitzer teleskop*
 - c. *Icetube detector*

BAB XII

PERAN DAN PERKEMBANGAN ILMU ASTRONOMI

Muatan Isi Bab XII kandungan bab ini membahas mengenai peranan astronomi dalam Islam. Dan cara-cara yang dapat kita lakukan untuk menumbuhkan jiwa astronomi dalam diri pembaca. Cara-cara yang dimaksud di antaranya yaitu seperti dengan mendirikan wadah perkumpulan astronomi di berbagai wilayah di Indonesia.

Arus Tujuan Bab XII. Dalam bab ini akan membawa Anda lebih memahami peranan astronomi dalam kehidupan sehari-hari. Untuk memberikan gambaran dan motivasi kepada pembaca dalam mendirikan sebuah perkumpulan atau klub astronomi amatir. Sehingga dengan adanya klub astronomi kita mampu menambah wawasan dan memberikan pengalaman pengamatan astronomi yang luar biasa.

Materi Prasyarat yang Harus Dimiliki. Persoalan yang semestinya Anda siapkan adalah minat dan keinginan hati Anda untuk terus menjelajahi langit Indonesia yang luas. Didukung dengan kemampuan membaca peta bintang, menggunakan teleskop dengan baik, dan memahami posisi dan nama-nama konstelasi bintang.

12.1 Kalender Hijriah

Kalender Hijriah berawal dari Peristiwa migrasi **Nabi Muhammad SAW** pada September 622 Masehi. Kalender Hijriah ini dimulai pada bulan Juni 622 Masehi. Kalender Hijriah ditetapkan oleh khalifah **Umar bin Khattab**. Bulan pada kalender Hijriyah berdasarkan gerakan Bulan ini berjumlah 29 dan 30 bergantian. Meskipun awal bulan ditentukan oleh terlihatnya bulan baru, sejumlah metode dikembangkan untuk menghitung panjang bulan dengan tepat, untuk menentukan hari pada Kalender Hijriyah berkaitan dengan Kalender Masehi.

Hari pada Kalender Hiriyah dimulai tepat setelah matahari terbenam dengan terlihatnya bulan baru. Visibilitas bulan baru ini dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk koordinat celestial matahari dan bulan, bintang suatu tempat pengamatan dan tingkat terang langit.

12.2 Arah Kiblat

Kiblat berasal dari bahasa Arab (**قبلة**) adalah arah yang merujuk ke suatu tempat dimana bangunan terdapat Ka'bah di Masjidil Haram, Makkah, Arab Saudi. Menghadap arah Kiblat merupakan suatu masalah yang penting dalam syariat Islam. Menurut hukum syariat, menghadap ke arah kiblat diartikan sebagai seluruh tubuh atau badan seseorang menghadap ke arah Ka'bah yang terletak di Makkah yang merupakan pusat tumpuan umat Islam bagi menyempurnakan ibadah-ibadah tertentu.

Pada awalnya, kiblat mengarah ke Baitul Maqdis atau Masjidil Aqsa Jerusalem di Palestina, namun pada tahun 624 M ketika Nabi Muhammad SAW hijrah ke Madinah, arah Kiblat berpindah ke arah Ka'bah di Makkah hingga kini atas petunjuk wahyu dari Allah SWT sesuai Qur'an surat Al-Baqoroh ayat (142-150).

Menghadap ke arah kiblat menjadi syarat sah bagi umat Islam yang hendak menunaikan shalat baik shalat fardhu lima waktu sehari semalam atau shalat-shalat sunat yang lain. Kaidah dalam menentukan arah kiblat memerlukan suatu ilmu khusus yang harus dipelajari atau sekurang-kurangnya meyakini arah yang dibenarkan agar sesuai dengan syariat.

Perlu diketahui bahwa akibat yang akan terjadi karena serongnya arah kiblat terhadap ka'bah yang hanya berukuran 12 x 10.5 x 15 meter serta jauhnya jarak dari Indonesia ke Makkah Al-Mukaromah, yaitu sekitar 8000 km, maka **selisih 1° akan menyebabkan pergeseran sebesar 126 kilometer** ke Utara atau Selatan Ka'bah itu sendiri. Terdapat berbagai macam kaidah atau cara yang dapat digunakan untuk menentukan arah kiblat baik untuk menyamakan arah kiblat masjid, langgar/ surau / musholla maupun arah kiblat untuk shalat di dalam rumah.

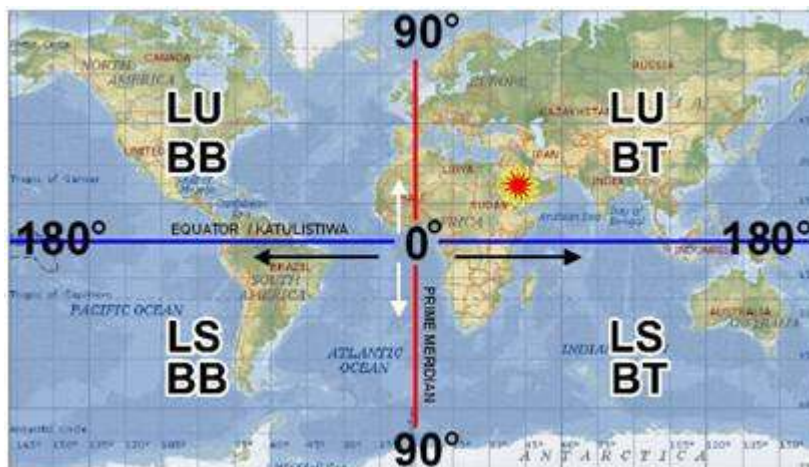
Menentukan arah kiblat dengan bayangan matahari yaitu Peristiwa **Istiwa A'zam** (ketika matahari posisinya tepat berada di atas kabah) yang terjadi setiap tanggal 27 atau 28 Mei pukul 16:28 WIB dan 15 atau 16 Juli 16:27 WIB. Caranya:

1. Buat tali yang diberi beban dan ikatkan pada sesuatu sehingga beban menggantung bebas

2. Lihatlah bayangan tali di tanah
3. Berilah garis bayangan tali tersebut, bayangan tersebut itulah yang dipakai sebagai acuan Arah Kiblat

Menentukan arah kiblat dengan alat kompas: Allah telah berikan karunia yang besar kepada kita dalam penciptaan bumi yang kita diami ini dilengkapi dengan magnet alam, sehingga kita bisa menentukan arah mata angin dengan memanfaatkan sifat magnet bumi tersebut. Guna membantu dalam pengukuran arah kiblat maka dapat menggunakan kompas. Di Indonesia arah kiblat dapat diukur menyimpang $25^{\circ}11'$ dari arah barat-utara atau $295^{\circ}11'$ Utara-Selatan.

Perhitungan arah kiblat juga dapat ditentukan melalui Koordinat Posisi Geografis. Setiap lokasi di permukaan bumi ditentukan oleh dua bilangan yang menunjukkan kooordinat atau posisinya. Koordinat posisi ini masing-masing disebut Latitude (Lintang) dan Longitude (Bujur). Sesungguhnya angka koordinat ini merupakan angka sudut yang diukur dari pusat bumi sampai permukaannya. Acuan pengukuran dari suatu tempat yang merupakan perpotongan antara garis Ekuator dengan Garis Prime Meridian yang melewati kota Greenwich Inggris. Titik ini berada di Laut Atlantik kira-kira 500 km di Selatan kota Accra Republik Ghana Afrika.



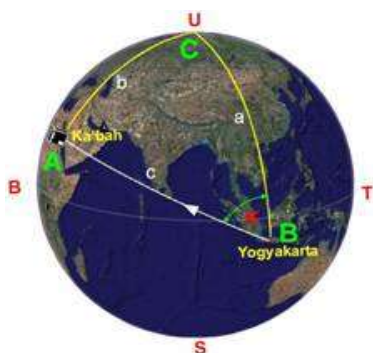
Gambar 12.1 Sistem Koordinat Geografis

Satuan koordinat lokasi dinyatakan dengan *derajat*, *menit busur* dan *detik busur* dan disimbolkan dengan (° , ' , ") misalnya $110^{\circ}47'9''$ dibaca 110 derajat 47 menit 9 detik. Dimana $1^{\circ} = 60' = 3600''$. Dan perlu diingat bahwa walaupun menggunakan kata menit dan detik namun ini adalah satuan sudut dan bukan satuan waktu.

Latitude disimbolkan dengan huruf Yunani ϕ (phi) dan Longitude disimbolkan dengan λ (lamda). Latitude atau Lintang adalah garis vertikal yang menyatakan jarak sudut sebuah titik dari lintang nol derajat yaitu garis Ekuator. Lintang dibagi menjadi Lintang Utara (LU) nilainya positif (+) dan Lintang Selatan (LS) nilainya negatif (-) sedangkan Longitude atau Bujur adalah garis horisontal yang menyatakan jarak sudut sebuah titik dari bujur nol derajat yaitu garis Prime Meridian. Bujur dibagi menjadi Bujur Timur (BT) nilainya positif (+) dan Bujur Barat (BB) nilainya negatif (-). Untuk standard internasional angka longitude dan latitude menggunakan kode arah kompas yaitu North (N), South (S), East (E) dan West (W). Misalnya Yogyakarta berada di Longitude $110^{\circ}47'$ BT bisa ditulis $110^{\circ}47'$ E atau $+110^{\circ}47'$.

Sistem Koordinat untuk perhitungan arah kiblat dilakukan melalui **Ilmu ukur segitiga bola** atau disebut juga dengan istilah trigonometri bola (*spherical trigonometri*) adalah ilmu ukur sudut bidang datar yang diaplikasikan pada permukaan berbentuk bola yaitu bumi yang kita tempati. Ilmu ini pertama kali dikembangkan para ilmuwan muslim dari Jazirah Arab seperti Al Battani dan Al Khawarizmi dan terus berkembang hingga kini menjadi sebuah ilmu yang mendapat julukan Geodesi. Segitiga bola menjadi ilmu andalan tidak hanya untuk menghitung arah kiblat bahkan termasuk jarak lurus dua buah tempat di permukaan bumi.

Sebagaimana sudah disepakati secara umum bahwa yang disebut arah adalah “jarak terpendek” berupa garis lurus ke suatu tempat sehingga Kiblat juga menunjukkan arah terpendek ke Ka’bah. Karena bentuk bumi yang bulat, garis ini membentuk busur besar sepanjang permukaan bumi. Lokasi Ka’bah berdasarkan pengukuran menggunakan Global Positioning System (GPS) maupun menggunakan software Google Earth secara astronomis berada di **$21^{\circ} 25' 21.04''$ Lintang Utara** dan **$39^{\circ} 49' 34.04''$ Bujur Timur**. Angka tersebut dibuat dengan ketelitian cukup tinggi. Namun untuk keperluan praktis perhitungan tidak perlu sedetil angka tersebut. Biasanya yang digunakan adalah :



$$\phi = 21^{\circ} 25' \text{ LU dan } \lambda = 39^{\circ} 50' \text{ BT } (1^{\circ} = 60' = 3600'')$$

$^{\circ}$ = derajat ‘ = menit busur dan “ = detik busur

Arah Ka’bah yang berada di kota Makkah yang dijadikan Kiblat dapat diketahui dari setiap titik di permukaan bumi, maka untuk menentukan arah kiblat dapat dilakukan dengan menggunakan **Ilmu Ukur Segitiga Bola** (*Spherical Trigonometri*). Perhitungan dan pengukuran dilakukan dengan

derajat sudut dari titik kutub Utara, dengan menggunakan alat bantu mesin hitung atau kalkulator.

Untuk perhitungan arah kiblat, ada 3 buah titik yang harus dibuat, yaitu :

1. Titik A, diletakkan di Ka'bah (Mekah)
2. Titik B, diletakkan di lokasi yang akan ditentukan arah kiblatnya.
3. Titik C, diletakkan di titik kutub utara.

Titik A dan titik C adalah dua titik yang tetap, karena titik A tepat di Ka'bah dan titik C tepat di kutub Utara sedangkan titik B senantiasa berubah tergantung lokasi mana yang akan dihitung arah Kiblatnya. Bila ketiga titik tersebut dihubungkan dengan garis lengkung permukaan bumi, maka terjadilah segitiga bola ABC, seperti pada gambar. Ketiga sisi segitiga ABC di samping ini diberi nama dengan huruf kecil dengan nama sudut didepannya masing-masing sisi a, sisi b dan sisi c. Dari gambar di atas, dapatlah diketahui bahwa yang dimaksud dengan perhitungan Arah Kiblat adalah suatu perhitungan untuk mengetahui berapa besar nilai **sudut K** di titik B, yakni sudut yang diapit oleh sisi a dan sisi c.

Pembuatan gambar segitiga bola seperti di atas sangat berguna untuk membantu menentukan nilai sudut arah kiblat bagi suatu tempat dipermukaan bumi ini dihitung/diukur dari suatu titik arah mata angin ke arah mata angin lainnya, misalnya diukur dari titik Utara ke Barat (U-B), atau diukur searah jarum jam dari titik Utara (UTSB).

Untuk perhitungan arah kiblat, hanya diperlukan dua data :

- 1). Koordinat Ka'bah $\phi = 21^{\circ} 25' \text{ LU}$ dan $\lambda = 39^{\circ} 50' \text{ BT}$.
- 2). Koordinat lokasi yang akan dihitung arah kiblatnya.

Sedangkan data lintang dan bujur tempat lokasi kota yang akan dihitung arah kiblatnya dapat diambil dari berbagai sumber diantaranya : Atlas Indonesia dan Dunia, Taqvim Standar Indonesia, Tabel Geografis Kota-kota Dunia, situs Internet maupun lewat pengukuran langsung menggunakan piranti Global Positioning System (GPS).

Tabel 12.1 Data dan Rumus Arah Kiblat yang Digunakan

No	INDONESIA	NILAI	ARAB	INTERNASIONAL	SIMBOL
1	Lintang (LU/LS)	+ / -	‘Ardul balad	Latitude (U/S)	phi = φ
2	Bujur (BT/BB)	+ / -	Thulul balad	Longitude (E/W)	lambda = λ

Data geografis Ka’bah di Makkah: $\varphi = 21^\circ 25' \text{ LU}$ dan $\lambda = 39^\circ 50' \text{ BT}$
 Dalam ilmu segitiga bola dapat digunakan untuk menghitung arah kiblat serta menghitung jarak dari ka’bah ke lokasi tertentu, dengan persamaan berikut:

$$\text{tg } K = \frac{\sin(\lambda_t - \lambda_K)}{\cos \varphi_t \cdot \tan \varphi_K - \sin \varphi_t \cdot \cos(\lambda_t - \lambda_K)}$$

K = sudut Arah Kiblat dari Utara ke Barat

φ_K = lintang Ka’bah ($21^\circ 25' \text{ LU}$)

λ_K = bujur Ka’bah ($39^\circ 50' \text{ BT}$)

φ_t = lintang Tempat / Kota

λ_t = bujur Tempat / Kota

12.3 Klub Astronomi

Diawali Pada 2010, seorang programmer komputer asal Irlandia berhasil menjadi orang yang pertama kali membuktikan terjadinya supernova yang masif yang terjadi 300 juta tahun yang lalu. Pada tahun 2009, seorang astronomer amatir dari Australia berhasil mengamati obyek bertabrakan dengan Jupiter. Ada banyak peran astronomer amatir, karena Langit sangat luas

Macam-macam Klub astronomi

1. Klub Astronomi Amatir : wadah para astronomer amatir berkumpul untuk berdiskusi dan melakukan kegiatan astronomi bersama.
2. Klub astronomi amatir berbasis institusi. Biasanya di sekolah dan universitas.
3. Klub astronomi amatir berbasis daerah. Contoh : Himpunan Astronomi Amatir Jakarta, Surabaya Astronomy Club

Kumpulkan teman sesama astronomer amatir dan mengamati langit bersama



Gambar 12.1, Pengakuan NASA untuk Klub Astronomi Indonesia

12.4 Kegiatan Astronomi

Pada 21 Juni 2006 (northern summer solstice) di Alexandria, Mesir. Siswa berkumpul di lapangan (plaza) Bibliotheca Alexandrina untuk mengukur keliling Bumi dengan metode yang digunakan oleh Erathosthenes hampir 2000 tahun yang lalu. Erasthostenes mengamati bahwa pada saat *solstice*, Matahari dapat dilihat pada dasar sumur di Pulau Elephantine, dekat Aswan. Sehingga kita tahu bahwa pada saat itu Matahari berada tepat diatas kepala. Dengan mengetahui panjang bayangan dekat Aleksandria pada hari yang sama, Erastosthenes dapat menghitung jari-jari Bumi secara geometris.

Bentuk kegiatan yaitu :

1. Galaxy Zoo : pengguna mengklasifikasikan galaksi berdasarkan morfologinya
2. Moon Zoo : pengguna menghitung kawah Bulan, memetakan variasi umur batuan Bulan
3. Solar Stormwatch : proyek ini menggunakan data termasuk video gambar dari twin STEREO spacecraft untuk mengikuti jejak formasi dan evolusi coronal mass ejection
4. Planet Hunters : pengguna mengidenti_kasi ekstrasolar planet dari kurva cahaya bintang yang direkam oleh teleskop ruang angkasa Kepler
5. Milky Way Project : pengguna mendeteksi gelembung di medium antar bintang yang mengindikasikan daerah tempat tahap awal pembentukan bintang. Proyek ini menggunakan citra inframerah dari teleskop ruang angkasa Spitzer

6. SETIlive : pengguna mengidentifikasi sinyal dari kehidupan ekstraterestrial yang cerdas yang kemungkinan terlewatkan oleh logaritma komputer.
7. Planet Four: pengguna menganalisa citra permukaan Mars
8. Space Warps: Mencari lensa gravitasi yang terbentuk oleh galaksi yang masif di tempat yang jauh

Tujuan Kegiatan Astronomi adalah:

1. Memperkenalkan astronomi secara populer
2. Menumbuhkan budaya tulis
3. Memperkenalkan kekayaan khazanah langit Indonesia

PERTANYAAN!!

1. Apakah pentingnya membangun klub astronomi dan sebutkan jenis-jenis klub astronomi yang Anda ketahui?
2. Jelaskan cara sederhana yang dapat dilakukan untuk menentukan arah kiblat?
3. Sebutkan kegiatan-kegiatan astronomi yang Anda ketahui?
4. Jelaskan secara sederhana, cara menentukan kalender hijriah dengan menggunakan ilmu astronomi?
5. Jelaskan faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi pengamatan bulan baru atau hilal dan cara apa yang dapat faktor tersebut?

GLOSARIUM ASTRONOMI

A

- ❖ **ALBEDO** : perbandingan antara intensitas cahaya yang diterima dari Matahari dengan yang dipantulkan oleh permukaan planet.
- ❖ **ALDEBARAN** : Sebuah bintang raksasa merah, paling cemerlang dalam rasi Taurus. Jarak Aldebaran 65 tahun cahaya dan garis tengahnya 36 kali matahari
- ❖ **ALGOL** : Juga dinamakan Beta Persei. Sebuah bintang pasangan pemudar yang jauhnya 82 tahun cahaya dalam rasi Perseus. Algol sedikit menyuram setiap 2,87 hari seraya ia terhalang oleh sebuah bintang pasangan yang lebih suram. Variasi kecerlangan Algol ditemukan dan dijelaskan di tahun 1782 oleh ahli astronomi amatir Inggris, John Goodricke (1764-86).
- ❖ **ALPHA CENTAURI** : Bintang terdekat matahari, sejauh 4,3 tahun cahaya. Sebenarnya ia terdiri atas tiga bintang yang saling berhubungan karena gravitasi, walaupun bagi mata telanjang mereka nampak bagai satu. Alpha Centauri adalah bintang paling cemerlang dalam rasi Centaurus, dan ketiga paling cemerlang di langit.
- ❖ **ASENSIOREKTA** : salah satu besaran dalam koordinat ekuatorial yang mendefinisikan jarak antara titik gamma dengan benda langit. Asensiorekta dihitung sepanjang ekuator langit dari 0 24 jam.
- ❖ **ASTEROID** : Juga disebut sebagai planet minor, yakni sekumpulan benda angkasa berukuran kecil dengan bentuk tidak beraturan yang mengedari matahari. Orbit asteroid umumnya berada di antara orbit planet Mars dan Jupiter. Beberapa asteroid memiliki orbit yang menyimpang sehingga dapat memotong orbit Bumi. Asteroid semacam ini digolongkan sebagai Near Earth Asteroid (NEA).
- ❖ **ASTROFISIKA** : cabang ilmu dalam astronomi yang mempelajari proses fisika yang terjadi di dalam objek langit. Seperti reaksi nuklir di dalam inti bintang dan proses hantaran energi dari inti bintang hingga ke atmosfernya.
- ❖ **ASTROMETRI** : cabang ilmu dalam astronomi yang mempelajari penentuan posisi objek langit. Contohnya penentuan orbit bintang ganda, asteroid, dan gerak diri bintang.
- ❖ **ANTARES** : Sebuah bintang raksasa merah yang terletak di rasi Scorpio. Garis tengahnya 300 kali matahari. Ia adalah salah satu bintang terbesar yang diketahui mengeluarkan cahaya setara dengan 5000 Matahari kita. Letak Antares sejauh 430 tahun cahaya.

- ❖ **APHELION** : Titik garis edar terjauh dari matahari yang dicapai oleh suatu benda angkasa. Kebalikan Aphelion adalah Perihelion
- ❖ **AQUARIUS** : Pembawa Air. Sebuah rasi zodiak yang terletak di daerah katulistiwa langit. Matahari melewati rasi ini dari pertengahan Februari hingga pertengahan April.
- ❖ **ARCTURUS** : Sebuah bintang raksasa merah bergaris tengah 27 kali matahari yang terletak di rasi Belahan Utara, Bootes, sang Gembala
- ❖ **AU** : Astronomical Unit/Satuan Astronomi. Adalah satuan jarak dalam astronomi yang didefinisikan sebagai jarak rata-rata Bumi-Matahari. $1 \text{ AU} = 1,49597870691 \times 10^{11} \text{ (3) m}$
- ❖ **AZIMUT** : Sudut putar dari arah Barat hingga Timur. Sebagai referensi sudut nol dipakai arah mata angin Utara. Tanda (+) berarti arah putar searah jarum jam dari sudut nol, tanda (-) untuk arah sebaliknya. Sebagai contoh, dari sudut nol ke arah Timur tepat adalah 90 derajat, dan Barat adalah sudut -90 derajat.

B

- ❖ **BULGE** : bagian pusat dari sebuah galaksi spiral yang menonjol, berbentuk spheroid dengan dimensi tiga sumbu yang berbeda.
- ❖ **BETELGEUSE** : Sebuah bintang super raksasa merah yang menandai bahu kanan rasi Orion. Betelgeuse sedemikian besarnya sehingga ia labil. Garis tengahnya berubah tak beraturan antara 300 sampai 400 kali Matahari sambil berubah pula kecerlangannya. Letak Betelgeuse sejauh 650 tahun cahaya
- ❖ **BIMASAKTI** : Nama galaksi dimana Matahari dan tata surya kita terletak. Dilihat dari Bumi, sisi Bimasakti membentuk suatu pita cahaya samar membentang di langit pada malam hari. Ia terdiri atas bintang-bintang yang sedemikian jauhnya dalam galaksi kita sehingga tidak nampak satu per satu. Bimasakti merupakan galaksi spiral beranggotakan sekitar 100 milyar bintang. Garis tengahnya sekitar 100.000 tahun cahaya, dimana Matahari terletak lebih dari 60% ke arah tepinya.
- ❖ **BINTANG GANDA** : Atau juga biasa disebut Bintang Pasangan (binary), adalah sepasang bintang yang dihubungkan oleh gravitasi. Sebagian besar pasangan tampak sebagai bintang tunggal bagi mata telanjang, tetapi dapat terlihat terpisah dengan teleskop. Namun beberapa diantaranya begitu saling dekat sehingga adanya pasangan hanya dapat disimpulkan dari analisa cahaya gabungannya. Dalam beberapa pasangan, bintangnya secara berkala saling menghalangi.
- ❖ **BINTANG NEUTRON** : Bintang padat kecil yang diperkirakan menandai titik ajal evolusi bintang yang lebih besar dari matahari. Bintang Neutron hanya bergaris tengah 15 km, tetapi ia banyak mengandung materi sebanyak matahari kita. materi itu tergencet sedemikian padatnya sehingga sesendok bahan

bintang neutron berbobot milyaran ton. Sumber radio berkilat-kilat yang dinamakan Pulsar sebenarnya adalah bintang neutron.

❖ **BINTANG UBAH** : Bintang yang keluaran cahayanya berubah. Beberapa bintang itu ukurannya berubah seperti Variabel Cepheid, tetapi lainnya adalah bintang ganda dekat yang secara berkala saling menghalangi (pasangan pemudar). Di tahun 1975 tercatat dalam katalog galaksi kita lebih kurang 25.000 bintang ubah.

❖ **BINTIK MATAHARI** : Daerah-daerah yang lebih sejuk dalam permukaan matahari, di fotosfera. Ia tampak suram dibandingkan dengan kelilingnya yang lebih cemerlang, tetapi ia cukup panas, kira-kira 4.500 C. Bintik matahari ada hubungannya dengan medan-medan magnet di Matahari, yang rupanya menghalau aliran panas melalui fotosfera, dan ini menimbulkan bintik.

C

❖ **CENTAURUS** : Atau mahluk manusia-kuda dari mitologi Yunani, ialah rasi menonjol di langit Belahan Selatan. Di dalamnya terdapat Proxima Centauri, bintang terdekat matahari. Ada pula Omega Centauri, sebuah kelompok globular bintang yang ratusan ribu jumlahnya, sejauh 17.000 tahun cahaya. Centaurus A, sebuah galaksi yang memancarkan gelombang radio, juga terletak dalam rasi ini.

❖ **CRUX** : Salib selatan. Rasi yang terkecil di langit. Ia terletak dekat kutub angkasa selatan dalam suatu daerah Bima Sakti. Salib selatan mengandung nebula suram Kantong Arang, disamping keempat bintang cemerlang yang menandai bentuk salib yang termasyhur itu.

❖ **CANCER** : Kepiting. rasi zodiak yang terletak dalam langit belahan utara. Matahari melewati rasi ini dari akhir Juli hingga pertengahan Agustus. Cancer adalah rasi zodiak paling samar, tanpa bintang cemerlang. Ciri yang paling menarik adalah kelompok bintang Praesepe, disebut sebagai sarang lebah, sejauh 520 tahun cahaya.

❖ **CANOPUS** : Bintang cemerlang kedua di langit malam. Letaknya sejauh 119 tahun cahaya dalam rasi Carina (kerangka kapal), di langit Belahan Selatan. Canopus ialah sebuah bintang raksasa kuning, 25 kali garis tengah Matahari. Wahana antariksa menggunakannya sebagai bintang navigasi.

❖ **CAPELLA** : Bintang paling cemerlang dalam rasi Auriga (Pengendara Kereta Perang), rasi dalam Belahan Utara. Sebenarnya ia adalah sebuah bintang ganda, terdiri atas dua bagian yang saling edar setiap 104 hari. Jauh Capella 45 tahun cahaya.

❖ **CAPRICORNUS** : Kambing Laut. Rasi zodiak yang terletak di langit Belahan Selatan. Matahari melewati rasi ini antara akhir Januari dan pertengahan Februari.

- ❖ **CASSIOPEIA** : Sebuah rasi berbentuk ‘W’ yang menonjol dekat kutub utara langit. Ia dinamakan menurut ratu mitologi Yunani. Dalam rasi ini sebuah supernova menyala di tahun 1752, diamati oleh Tycho Brahe.
- ❖ **CASTOR**: Bintang paling cemerlang kedua dalam rasi Gemini, sebuah rasi belahan utara. Castor sesungguhnya terdiri atas enam bintang yang dihubungkan oleh gravitasi, meskipun mereka nampak seperti satu dengan mata telanjang.
- ❖ **CYGNUS**: Ansa. Sebuah rasi yang menonjol di langit belahan utara. Terkadang ia dinamakan Salib Utara karena bentuknya yang khusus. Bintangnya yang paling cemerlang adalah Deneb. Alberio, atau Beta Cygni, ialah sebuah bintang ganda di kepala ansa. Bintang 61 Cygni adalah yang pertama diukur Paralaks-nya. Cygnus mengandung Nebula Amerika Utara, sebuah awan gas berkilau dalam Bima Sakti. Juga Nebula Cadar, sisa dari ledakan supernova yang telah lama berselang.

D

- ❖ **DAUR SURYA** : Istilah yang digunakan untuk variasi kegiatan sekitar 11 tahun di matahari. Jumlah bintik matahari, suar, dan prominensa berubah-ubah dalam tiap daur 11 tahun. Namun dalam tiap daur berurutan, kutub magnet utara dan selatan matahari saling bertukar. Jadi dapat dikatakan bahwa daur surya lengkap membutuhkan 22 tahun.
- ❖ **DEKLINASI**: Koordinat langit setara dengan garis lintang di Bumi. Suatu benda pada deklinasi +90 ialah pada kutub utara angkasa (di atas kepala kutub utara Bumi). Deklinasi 0 menandai katulistiwa angkasa.
- ❖ **DERET UTAMA**: Main Sequence. Tahap stabil usia pertengahan dalam evolusi suatu bintang. Bintang-bintang deret utama membakar hidrogen menjadi helium di pusatnya untuk menciptakan energi. Bila hidrogen habis, bintang keluar dari tahap deret utama menjadi bintang raksasa.

E

- ❖ **EKUATOR LANGIT** : garis imajiner yang membagi langit menjadi dua bagian sama besar, yaitu belahan langit utara dan selatan.
- ❖ **EKLIPTIKA**: bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari. Bidang ini membentuk sudut sebesar 23,5 derajat dengan ekuator langit. Dapat juga dikatakan sebagai lintasan semu Matahari selama satu tahun.
- ❖ **EQUINOX** : Titik potong antara equator langit dengan ekliptika. Matahari mencapai titik ini setiap tahun pada sekitar tanggal 21 Maret (disebut vernal equinox) dan 22 September (disebut autumnal equinox). Saat itu, siang dan malam akan tepat sama panjangnya.

❖ **EKSENTRISITAS ORBIT** : suatu benda astronomi adalah jumlah ketika orbitnya melenceng dari [lingkaran](#) sempurna, 0 berarti lingkaran sempurna, dan 1,0 adalah [parabola](#), dan tidak lagi berupa orbit tertutup. Namanya berasal dari parameter [irisan kerucut](#), karena setiap [orbit Kepler](#) adalah irisan kerucut.

Eksentrisitas bisa terdiri dari nilai berikut:

- [Orbit lingkaran](#): $e = 0$
- [Orbit elips](#): $0 < e < 1$ (lihat [Elips](#))
- [Lintasan parabola](#): $e = 1$ (lihat [Parabola](#))
- [Lintasan hiperbola](#): $e > 1$ (lihat [Hiperbola](#))

F

❖ **FOTOSFERA** : Permukaan cemerlang Matahari; nama itu berarti ‘bola cahaya’. Ia adalah lapisan gas berkilau pada suhu kira-kira 6000C. Fotosfera itu terpecah-pecah oleh sel-sel ilian gas panas, yang disebut partikel (zarah), yang masing-masing kira-kira sebesar Inggris. Daerah fotosfera yang lebih sejuk dinamakan Bintik Matahari.

G

❖ **GALAKSI** : Kumpulan berjuta-juta bintang, terikat bersama oleh gravitasi. Sebagian galaksi berbentuk spiral, seperti Bima Sakti kita dan Galaksi Andromeda, sedangkan sebagian lagi berupa gumpalan pekat yang disebut Galaksi Eliptik. Mungkin ada hingga satu bilyun galaksi yang masing-masing beranggotakan jutaan bintang yang dapat diamati menggunakan teleskop besar.

❖ **GEMINI** : Atau Anak Kembar. Rasi zodiak dalam langit belahan utara, Dua bintang paling terang dalam Gemini adalah Castor dan Polux. Matahari melewati rasi ini dari akhir Juni hingga akhir Juli. Sebuah hujan meteor utama, Geminid, bersinar dari rasi ini dalam bulan Desember setiap tahun.

❖ **GERAK DIRI** : Proper Motion. Perubahan kecil dalam posisi bintang selama jangka waktu tertentu. Perubahan tersebut disebabkan oleh gerakannya dalam antariksa. Gerak diri bintang tidak dapat terlihat oleh mata telanjang. Ia dapat diukur pada gambar-foto skala besar yang diambil dengan teleskop selama bertahun-tahun. Gerak diri bintang pada akhirnya akan mengubah pola rasi yang sudah dikenal. Bintang dengan gerak diri terbesar adalah Bintang Barnard. Selama jangka waktu 180 tahun berubah posisinya sebesar diameter tampak bulan.

H

❖ **HALO GALAKSI** : komponen terbesar dari sebuah galaksi spiral. Diperkirakan bahkan membentang lebih jauh dari batas terjauh piringan yang bisa dilihat.

- ❖ **HORISON** : garis khayal yang membatasi wilayah langit yang dapat diamati dengan permukaan Bumi yang dipijak pengamat. Di laut yang luas, horison mempertemukan laut dengan langit.
- ❖ **HERCULES** : Sebuah rasi di langit belahan utara, dinamakan menurut pahlawan mitologi Yunani. Salah satu ciri terpenting rasi ini ialah kelompok bulat bernama M13. Ia berada sejauh 22.500 tahun cahaya dan mengandung 300.000 bintang. Alpha Hercules juga diberi nama ras Algethi, ialah sebuah bintang raksasa merah, kira-kira 5000 kali garis tengah matahari.
- ❖ **HERTZSPRUNG-RUSSEL** : Gambar Diagram Hertzsprung-Russel ialah sebuah grafik yang memetakan suhu bintang berbanding dengan kecerlangannya. Grafik ini dinamakan menurut nama ahli astronomi Denmark, Ejnar Hertzsprung (1873-1967) dan ahli astronomi Amerika, Henry Norris Russel (1877-1957) yang secara mandiri tampil dengan gagasan sama, masing-masing dalam tahun 1911 dan 1913. Diagram ini berguna untuk mengungkapkan apakah sebuah bintang itu raksasa ataukah kerdil, dan tahap apa yang dicapai dalam evolusinya. Sebagian besar bintang, termasuk Matahari, terletak pada suatu pita yang dikenal dengan nama Deret Utama. Posisi bintang dalam diagram ini juga mengungkapkan Magnitudo Mutlak-nya.
- ❖ **HYADES** : Kelompok dari sekitar 200 bintang berbentuk 'V' dalam rasi Taurus. Hyades adalah kelompok bintang padat terdekat Bumi, kira-kira sejauh 150 tahun cahaya. Banyak pengetahuan kita mengenai bintang diperoleh dari studi mengenainya. Bintang-bintang Hyades lahir kira-kira 500 juta tahun yang lalu dan relatif muda.

I

- ❖ **INKLINASI** : sudut yang terbentuk akibat dua bidang yang tidak terletak sejajar. Inklinalasi ekliptika dengan ekuator langit adalah 23,5 derajat, inklinalasi orbit Bulan dengan ekliptika adalah 5 derajat.

J

- ❖ **JUPITER** : nama salah satu planet di tata surya kita.

K

- ❖ **KATAI PUTIH** : salah satu tahapan akhir dari evolusi bintang yang terjadi ketika bintang menghembuskan selubungnya setelah menjadi planetary nebula dan hanya menyisakan bagian intinya saja. Matahari diyakini akan menjadi sebuah bintang katai putih.
- ❖ **KOMET** : Anggota tata surya berbentuk materi beku yang umumnya terdiri atas air, karbon monoksida, metanol, amonia, dan metana bercampur dengan debu. Komet mengedari Matahari dengan garis lintasan yang sangat lonjong dengan periode tertentu. Saat komet mendekati Matahari, materi beku tersebut menyublim dan membentuk kabut gas dan debu yang disebut coma disekeliling inti komet. Selanjutnya, karena pengaruh angin matahari, maka gas

dari coma membentuk “ekor” yang selalu menunjuk ke arah yang berlawanan dengan arah Matahari. Karenanya komet juga sering disebut sebagai bintang berekor.

- ❖ **KANTONG ARANG** : Coal Sack. Sebuah kabut suram debu dan gas dalam rasi Salib Selatan (Crux). Kantong arang itu terletak sejauh 400 tahun cahaya dan mengandung cukup bahan untuk membentuk sekelompok ratusan bintang.
- ❖ **KELOMPOK GLOBULAR** : Globular Cluster. Sekumpulan bintang — sekitar 100.000 buah, berbentuk bola. Mereka tersusun dalam bentuk cincin di sekeliling banyak galaksi, termasuk galaksi kita, dimana ada sekitar 125 kelompok globular yang sudah dikenali. Kelompok globular terdiri dari bintang-bintang tua yang berusia hingga 14 milyar tahun; diperkirakan terbentuk ketika galaksi mula-mula mengembun dari gas.
- ❖ **KERDIL COKLAT** : Brown Dwarf. Suatu calon bintang (protostar) yang gagal terbentuk menjadi bintang akibat tidak memiliki cukup massa untuk membentuk reaksi nuklir yang menyebabkan ia dapat bersinar sebagaimana bintang lainnya pada fase stabil.
- ❖ **KERDIL MERAH**: Red Dwarf. Bintang sejuk dan samar, tidak sebesar Matahari. Mereka boleh jadi merupakan bintang terbanyak dalam galaksi kita, tetapi sulit dilihat karena mereka demikian samar. Kerdil merah terdekat sekalipun, yakni Proxima Centauri dan bintang Barnard, tak pernah terlihat tanpa teleskop.
- ❖ **KERDIL PUTIH**: White Dwarf. Sebuah bintang panas kecil yang diperkirakan menandai titik akhir evolusi bintang seperti Matahari. Sebuah kerdil putih kira-kira sebesar Bumi, tetapi mengandung materi sebanyak matahari. Materinya tergencet sedemikian padat sehingga sesendok materi tersebut akan berbobot satu ton atau lebih. Kerdil putih sedemikian samarnya sehingga yang terdekat di Sirius dan Orocyon, hanya nampak dengan bantuan teleskop.
- ❖ **KORONA**: Atmosfer bagian luar matahari yang samar. Ia terlihat sebagai lingkaran cahaya putih pada waktu gerhana matahari total, ketika bulan menghalangi sinar silau cakram Matahari. Korona terdiri atas gas tipis, menguap dari permukaan Matahari yang mengembang keluar untuk akhirnya membentuk angin surya.
- ❖ **KROMOSFERA** : Suatu lapisan gas hidrogen yang berkilau dan letaknya di atas permukaan tampak (Fotosfera) Matahari. Nama itu berarti bola warna dan didapat dari warnanya yang merah pekat. Ini terlihat pada gerhana ketika bulan menghalangi cahaya dari fotosfera yang jauh lebih terang.
- ❖ **KUASAR** : Suatu benda amat cemerlang jauh di antariksa yang diperkirakan merupakan pusat sebuah galaksi yang tengah membentuk. Kuasar sedemikian kecilnya sehingga nampak sebagai bintang di teleskop terbesar sekalipun, tetapi

ia melepaskan energi sebesar ribuan kali energi yang dilepaskan oleh galaksi seperti Bima Sakti kita. Ia mungkin bertenagakan gas yang jatuh kedalam lubang hitam raksasa dipusatnya. Kuasar memiliki pergeseran merah yang terbesar diantara benda-benda langit lainnya. Dari beberapa ratus kuasar yang telah dikenali, yang terjauh diperkirakan berjarak sekitar 16 milyar tahun cahaya.

L

- ❖ **LEONID** : salah satu nama hujan meteor yang terkenal karena jumlah meteornya sangat banyak dan spektakuler. Diambil dari nama rasi Leo yang menjadi titik radian/titik tempat meteor-meteor yang terjadi berasal.
- ❖ **LEO** : Singa. Suatu rasi zodiak, terletak di langit belahan utara. Matahari melewati rasi ini dari pertengahan Agustus hingga pertengahan September. Bintang paling terang di Leo ialah Regulus. Setiap Nopember, hujan meteor Leonid menyinar dari rasi tersebut.
- ❖ **LIBRA** : Timbangan. Sebuah rasi zodiak yang tidak menarik perhatian, terletak di Belahan Selatan. Matahari melewati rasi ini selama bulan Nopember.
- ❖ **LUMINOSITAS** : Jumlah energi yang dipancarkan seluruh permukaan bintang ke segala arah per detiknya. Luminositas matahari bernilai 385 triliun-triliun watt (385×10^{24} watt).
- ❖ **LYRA** : Berasal dari sebutan untuk semacam harpa kecil, ialah sebuah rasi kecil yang menonjol di langit utara. Bintangnya yang paling terang ialah Vega. Anggota lainnya adalah Lyrae, sebuah bintang Pasangan Pemudar yang terkenal. Komponen-komponennya berubah bentuk karena gravitasi masing-masing dan gas keluar melingkar ke antariksa. Epsilon Lyrae terkadang dinamakan ‘ganda-ganda’, ialah sekelompok empat bintang yang dihubungkan dengan gravitasi. Nebula Cincin dalam Lyra ialah sebuah Nebula Planet yang terkenal.
- ❖ **LUBANG HITAM** : Daerah di sekeliling bintang yang telah runtuh. Gravitasinya sedemikian kuat sehingga tidak ada sesuatupun yang dapat lolos, termasuk cahaya sekalipun. Tetapi benda-benda dapat terhisap masuk. Jika ledakan besar menandai asal mula alam semesta, lubang-lubang hitam yang jauh lebih kecil mungkin terbentuk dalam keadaan tekanan dan kerapatan tinggi yang mengikutinya.

M

- ❖ **MAGNITUDO** : Ukuran kecerlangan bintang. Setiap tataran magnitudo sesuai dengan beda kecerlangan sedikit lebih dari 2,5 kali. Maka sebuah bintang magnitudo keenam (yang paling samar yang bisa dilihat oleh mata telanjang) adalah 100 kali lebih samar daripada bintang magnitudo pertama. Benda-benda yang lebih terang dari magnitudo 0 diberi magnitudo negatif, misalnya Sirius

memiliki magnitudo -1,47, Venus pada saat paling terang adalah -4,3, dan matahari adalah -26,5 (semuanya adalah magnitudo tampak, kecerlangan sebagaimana yang terlihat dari Bumi).

- ❖ **MAGNITUDO MUTLAK** : Ukuran keluaran cahaya sebuah bintang yang sebenarnya, yaitu kecerlangan bintang sebagaimana nampak pada kita di Bumi pada jarak 10 parsek (32,6 tahun cahaya). Magnitudo mutlak sebuah bintang tergantung dari besar dan suhunya.
- ❖ **MAGNITUDO TAMPAK** : Kecerlangan bintang atau benda angkasa lain sebagaimana yang terlihat di langit oleh kita. Magnitudo tampak bintang tergantung dari jaraknya dari kita. Semakin dekat, sebuah bintang nampak semakin terang. Perbedaan antara magnitudo tampak bintang dan magnitudo mutlaknya menunjukkan jarak bintang tersebut.
- ❖ **MATAHARI** : Bintang induk kita. Jauhnya hampir 150 juta km. Matahari adalah bintang berukuran sedang, bergaris tengah 1,4 juta km dan tersusun sebagian besar atas gas hidrogen dan helium. Matahari membangkitkan cahaya dan panas di pusatnya dengan reaksi nuklir. Ia didari keluarga 9 buah planet, termasuk Bumi kita.
- ❖ **MERIDIAN** : Lingkaran besar imajiner pada bola langit yang tegak lurus dengan horison setempat. Meridian membentang dari horison utara, melintasi kutub langit hingga Zenith, dan berakhir di horison selatan.
- ❖ **METEOR** : Partikel kecil dari antariksa yang terbakar karena gesekan dengan atmosfer Bumi. Terlihat sebagai kilatan cahaya yang biasa disebut “bintang beralih”. Sebagian besar meteor berasal dari sisa-sisa material dari komet. Apabila Bumi melintas pada jejak sebuah komet, maka kita di Bumi dapat melihat terjadinya hujan meteor.
- ❖ **METEORID** : Gumpalan batu atau logam yang berhasil menembus atmosfer Bumi. Sebagian meteorid diperkirakan adalah sisa-sisa material dari komet atau asteroid. Sebagian lainnya diperkirakan berasal dari planet lain, seperti Bulan atau Mars. Sebuah meteorid biasanya menghantam permukaan Bumi dalam kecepatan yang sangat tinggi hingga membentuk sebuah kawah yang biasa disebut Kawah Meteorid pada lokasi jatuhnya.

N

- ❖ **NEBULA** : Sebuah massa debu dan gas dalam galaksi. Beberapa nebula terang-benderang. Bersinar karena bintang-bintang yang dikandungnya, seperti misalnya Nebula Orion. Yang lainnya suram seperti Kantong Arang.
- ❖ **NEBULA KEPITING** : Crab Nebula. Sebuah bercak gas berkilau dalam rasi Taurus. Ia adalah sisa bintang yang terlihat meledak sebagai supernova oleh ahli astronomi timur di tahun 1054, Di pusat nebula kepiting adalah sebuah pulsar berkelap-kelip, teras kecil bintang yang meledak. Nebula kepiting terletak sejauh 6.300 tahun cahaya.

- ❖ **NEBULA ORION** : Awan gas dan debu yang jauhnya 1.500 tahun cahaya. Didalamnya bintang-bintang baru membentuk diri. Sebagian nebula tampak dengan mata telanjang sebagai bercak kabur berkilau menandai pedang Orion. Bintang yang baru terbentuk dalam jantung nebula membuatnya berkilau. Tetapi para ahli astronomi radio telah mendeteksi pula sebuah awan suram yang lebih besar dibelakang bagian tampak, dimana bintang masih dilahirkan.
- ❖ **NEBULA PLANET** : Suatu kulit gas yang dalam sebuah teleskop kecil terlihat seperti cakram mirip planet. Sebenarnya ia sama sekali tak ada kaitannya dengan planet, melainkan diperkirakan lapisan luar bekas bintang raksasa merah. Lapisan tersebut mengambang ke antariksa meninggalkan teras bintang berupa bintang kerdil putih.
- ❖ **NOVA** : Sebuah bintang meledak. Ia menyala terang lebih dari 10.000 kali dalam sehari sebelum memudar lagi selama jangka mingguan atau bulanan. Nova diperkirakan merupakan sistem bintang ganda dimana gas mengalir dari satu bintang ke pasangannya kerdil putih. Gas tersebut menyulut dan terlempar dari kerdil putih, menyebabkan letupan terang. Bintang tidak terhancur-lebur oleh ledakan nova, sehingga nova terjadi lagi.

O

- ❖ **ORION** : Sebuah rasi besar yang menonjol di daerah khatulistiwa langit. Namanya diambil dari pemburu dalam mitologi Yunani. Bintangnya yang paling terang adalah Betelgeuse dan Rigel. Tiga bintang merupakan Sabuk Orion yang khas. Banyak bintang dalam Orion yang relatif muda karena Orion menandai tempat pembentukan bintang, khususnya dalam Nebula Orion.

P

- ❖ **PARALAKS** : Pergeseran posisi benda di depan latar belakang yang jauh sebagaimana terlihat dari dua tempat berbeda. Bintang menunjukkan suatu pergeseran paralaks kecil jika dilihat dari sisi berlawanan garis edar bumi. Besarnya pergeseran tergantung dari jarak bintang; yang terdekat menunjukkan pergeseran terbesar. Dengan mengukur paralaks bintang, para ahli astronomi dapat menghitung jaraknya. Hanya bintang yang lebih dekat dari kira-kira 100 tahun cahaya yang menunjukkan pergeseran cukup besar untuk diukur secara tepat. Bintang 61 Cygni adalah yang pertama diukur paralaksnya dalam tahun 1838 oleh ahli astronomi Jerman, Wihelm Bessel (1794-1846).
- ❖ **PARSEK** : Suatu ukuran jarak didalam astronomi yang berpatokan pada jarak dimana bintang menunjukkan paralaks sebesar 1 detik busur. Satu parsek sama dengan sekitar 3,26 tahun cahaya.
- ❖ **PASANGAN PEMUDAR** : Pasangan bintang yang saling mengedari dimana satu bintang secara berkala terlihat dari bumi seolah-olah lewat didepan yang lain. Pemudaran demikian menyebabkan jumlah cahaya yang kita lihat menjadi melemah, sehingga kecerlangan bintang terlihat berubah-ubah. Pasangan pemudar pertama yang ditemukan adalah Algol.

- ❖ **PERGESERAN MERAH:** Red Shift. Ialah suatu pemanjangan panjang gelombang cahaya yang diterima dari benda yang menjauh, disebabkan oleh Efek Doppler. Derajat pergeseran merah mengungkapkan kecepatan gerak benda tersebut. Penemuan pergeseran merah dalam cahaya dari galaksi jauh mengungkapkan bahwa alam semesta sebenarnya mengembang.
- ❖ **PERIHELION:** Ialah titik terdekat dalam garis edar suatu benda angkasa mengelilingi Matahari. Kebalikan dari Perihelion adalah Aphelion.
- ❖ **PERSEUS:** Sebuah rasi menonjol di langit belahan utara. Namanya diambil dari seorang pahlawan mitologi Yunani. Perseus terletak di bagian padat Bima Sakti. Bintangnya yang terkenal adalah Algol. Setiap bulan Agustus, suatu hujan meteor lebat, Para Perseid, menyinar dari rasi ini.
- ❖ **PISCES:** Ikan. Suatu rasi zodiak, terletak di daerah khatulistiwa langit. Matahari melewati rasi ini dari pertengahan Maret hingga pertengahan April. Matahari berada di Pisces ketika ia bergerak ke utara melintas khatulistiwa langit, menandai awal musim semi Belahan Utara (ekuinox semi).
- ❖ **PLEIADES:** Sekelompok yang beranggotakan sekitar 2000 bintang di rasi Taurus pada jarak 415 tahun cahaya. Dengan mata telanjang dapat dilihat 6 atau 7 bintang, karena itu nama populer kelompok tersebut adalah tujuh saudara (bintang tujuh). Pleiades relatif muda. Yang termuda diantaranya terbentuk dalam beberapa juta tahun silam.
- ❖ **POLARIS :** Bintang Kutub. Bintang paling terang dalam rasi Ursa Minor. Kebetulan ia terletak kira-kira 1 dari kutub utara angkasa.
- ❖ **PROMINENSA :** Awan gas panas yang mencuat dari permukaan matahari, berhubungan dengan medan magnet kuat. Beberapa prominensa berbentuk lengkung dan dapat bertahan selama berminggu-minggu. Yang lainnya sering berhubungan dengan suar, melejit ke angkasa dengan kecepatan hingga 1.000 km per detik.
- ❖ **PULSAR :** Sebuah sumber radio yang berdenyut dengan cepat. Diperkirakan berupa sebuah bintang neutron berputar yang memancarkan sorotan radiasi seperti pancaran mercu suar. Pulsar ditemukan oleh ahli astronomi radio cambridge, Anthony Hewish dan asistennya Jocelyn Bell dalam tahun 1967.

R

- ❖ **RA :** Recta Ascensio. Kenaikan tegak; koordinat langit setara dengan garis bujur di Bumi. Ia diukur dengan jam, menit dan detik, dari 00:00 hingga 24:00. Titik pangkal Recta Ascensio ialah di mana matahari bergerak ke utara melewati katulistiwa angkasa. Ini menandai awal vernal equinox, ketika matahari melewati Pisces.
- ❖ **RAKSASA MERAH :** Red Giant. Bintang yang lebih besar daripada matahari, dengan suhu permukaan yang lebih rendah. Mereka diperkirakan

terbentuk bila bintang membengkak pada akhir kehidupannya. Matahari diperkirakan akan menjadi raksasa merah, seperti Arcturus, dalam kira-kira lima milyar tahun.

- ❖ **RASI** : Pola bintang di langit. Orang Yunani Kuno menamakan banyak rasi dengan pahlawan mitologi mereka. Sejak itu telah ditambahkan rasi-rasi lainnya sehingga kini dikenal sebanyak 88 buah rasi.
- ❖ **RIGEL** : Salah satu bintang di rasi Orion, merupakan sebuah bintang super-raksasa biru dengan massa 17 kali massa Matahari yang terletak sejauh 775 tahun cahaya. Rigel sesungguhnya adalah sebuah bintang ganda. Ia memiliki pasangan yang mengedarinya dalam jarak 50 kali jarak Pluto ke Matahari.

S

- ❖ **SAGITARIUS** : Pemanah. Rasi zodiak yang terletak di l Matahari melewati rasi ini sebentar pada akhir Nopember. Salah satu bintangnya ialah yang pertama dikenal sebagai sebuah bintang ganda.
- ❖ **SAROS** (pengelompokan gerhana matahari dan gerhana bulan).
- ❖ **SCORPIO** : Kalajengking. Rasi langit Belahan selatan. Bintangnya yang paling terang adalah Antares yang terlihat sebagai bintang berwarna kemerahan di “jantung” Scorpio. Matahari melewati rasi ini antara akhir Oktober dan pertengahan Nopember.
- ❖ **SIRIUS**: Bintang paling terang di langit malam. Ia adalah bintang putih panas yang terletak sejauh 8,7 tahun cahaya. Sirius diedari sebuah bintang pasangan kerdil putih sekali setiap 50 tahun.
- ❖ **SOLSTICE**: Titik balik Matahari, yaitu titik paling utara atau selatan yang dilalui Matahari dalam peredarannya (relatif dilihat dari Bumi). Matahari mencapai titik ini dua kali dalam setahun yaitu sekitar tanggal 21 Juni (titik balik utara, disebut summer solstice) dan 21 Desember (titik balik selatan, disebut winter solstice).
- ❖ **SPICA**: Bintang paling terang di rasi Virgo. Ia adalah sebuah sistem bintang ganda beranggotakan dua bintang yang saling mengorbit dalam periode sekitar 4 hari. Bintang dengan magnitudo sebesar 1 ini terletak sejauh 260 tahun cahaya dari Bumi. Namanya berasal dari bahasa latin yang artinya “pucuk gandum”.
- ❖ **SUAR** : Letupan kecerlangan dari permukaan matahari, lazimnya berhubungan dengan bintik matahari. Suar melepaskan radiasi energi tinggi ke antariksa. Ini dapat menyebabkan gangguan penghentian radio dan pertunjukan atmosfera atas yang dikenal sebagai Aurora.
- ❖ **SUPERNOVA** : Ledakan cemerlang sebuah bintang besar pada akhir kehidupannya. Dalam sebuah supernova, yang menjadi tahapan akhir evolusi bintang bermassa besar, bintang itu dapat menyala sampai sebanyak beberapa

juta kali kecerlangannya yang normal. Satuan Astronomi, SA (Astronomy Unit, AU) : jarak rata-rata Bumi Matahari, sebesar 149.6 juta km, atau disederhanakan menjadi 150 juta km. Penggunaan jarak ini terbatas pada lingkup tata surya.

T

- ❖ **Tahun Cahaya** : jarak yang ditempuh cahaya dalam waktu 1 tahun. Kalikan kecepatan tempuh cahaya (300.000 km/dt) dengan jumlah detik dalam setahun. Hasilnya adalah 946×10^{14} km atau 6324 AU. Jarak Matahari Bumi adalah 8 menit cahaya.
- ❖ **TATA SURYA** : sistem banyak benda yang bercirikan adanya sebuah benda dominan berupa bintang yang dikelilingi benda-benda lainnya yang lebih kecil. Hingga kini telah banyak ditemukan sistem tata surya di bintang lain, selain tata surya yang kita tinggali (Matahari dan 8 planetnya).
- ❖ **TELESKOP** : piranti optik astronomi yang membantu mata untuk mengamati benda-benda langit yang redup. Sistem kerja utamanya adalah mengumpulkan cahaya.
- ❖ **TRANSIT** : peristiwa melintasnya sebuah benda langit di meridian (disebut juga kulminasi atas). Arti lainnya adalah peristiwa melintasnya planet Merkurius atau Venus di depan piringan Matahari ketika diamati dari Bumi.
- ❖ **TROJAN** : kelompok asteroid yang berada di lintasan/orbit Jupiter, berjarak sudut 60 derajat di depan dan belakang Jupiter. Dengan demikian, asteroid ini mengorbit Matahari bersama-sama Jupiter dan tidak akan pernah menumbuk Jupiter.
- ❖ **TAURUS** : Banteng/lembu jantan. Sebuah rasi besar zodiak dalam langit belahan utara. Matahari melewati rasi ini dari pertengahan Mei hingga akhir Juni. Bintang paling terang dalam Taurus ialah Aldebaran. Rasi ini mengandung kelompok bintang Hyades dan Pleiades, demikian pula Nebula Kepiting.

U

- ❖ **ULTRAUNGU** : suatu daerah energi dengan panjang gelombang yang pendek dan energi tinggi.
- ❖ **URSA MAIOR** : Beruang Besar. Sebuah rasi menonjol langit Belahan Utara. Ketujuh bintangnya yang paling terang bersusun berbentuk gayung, sering disebut sebagai bajak. Dua bintang gayung menunjuk ke Polaris. Bintang kedua di gagangnya dinamakan Mizar, mempunyai pasangan samar dinamai Alkor, tampak dalam pengelihatan tajam atau melalui teropong.
- ❖ **URSA MINOR** : Beruang kecil. Sebuah rasi di Kutub Utara langit. Bintangnya yang paling terang adalah Polaris.

V

- ❖ **VERNAL EQUINOX** : suatu waktu di kala Matahari berada tepat di titik perpotongan antara ekliptika dengan ekuator, sehingga pada saat itu panjang siang dan malam di Bumi di semua tempat adalah sama. Terjadi pada tanggal 21 Maret. Bisa disebut juga sebagai equinox awal.
- ❖ **VARIABEL CEPHEID** : Jenis bintang yang keluaran cahayanya berubah secara berkala seraya bergantian ukurannya mengembang dan menyusut. Nama itu diambil dari Delta Cepheid, bintang pertama dari jenis itu yang ditemukan.
- ❖ **VEGA** : Bintang paling terang di rasi Lyra, sebuah rasi kecil namun penting yang terletak di antara rasi Hercules dan Cygnus. Bintang dengan magnitudo 0.04 yang terletak sejauh 26 tahun cahaya ini merupakan bintang paling cemerlang nomor lima di langit malam. Karena pengaruh perubahan pada sumbu rotasi bumi, maka Vega diperkirakan akan menjadi bintang kutub dalam jangka waktu 12.000 tahun mendatang.
- ❖ **VIRGO** : Perawan. Rasi zodiak yang terletak di daerah khatulistiwa langit. Matahari melewatinya dari pertengahan september hingga awal Nopember. Bintangnya yang paling terang adalah Spica.

W

- ❖ **W-VIRGINIS** : nama bintang variabel yang terletak di rasi Virgo

X

- ❖ **X-ray** : sinar X. Pancaran elektromagnetik dengan energi tinggi.

Y

- ❖ **YERKES** : nama sistem klasifikasi bintang berdasarkan luminositas.

Z

- ❖ **ZENITH** : Sebuah titik di langit yang terletak tepat diatas kepala, atau lebih tepatnya, titik yang terletak pada deklinasi +90 pada bola langit. Zenith adalah kutub dari sistem koordinat horisontal, dan secara geometris merupakan perpotongan antara bola langit dengan garis lurus yang ditarik dari pusat Bumi melalui lokasi setempat. Secara definisi, zenith adalah sembarang titik di sepanjang Meridian setempat.
- ❖ **ZODIAK** : Pita 12 rasi yang depannya dilewati Matahari sepanjang tahun. Tanda-tanda yang dipakai para ahli astrologi tidak sesuai dengan rasi-rasi yang namanya sama.

DAFTAR KONSTANTA PENDUKUNG

NO	Besaran	Nilai konstanta
1	Konstanta gravitasi (G)	$= 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
2	Kecepatan cahaya (c)	$= 2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
3	Satuan Astronomi (SA)	$= 1,49 \times 10^{11} \text{ m}$
5	Tahun Cahaya (TC)	$= 9,46 \times 10^{15} \text{ m}$
6	Parsek (pc)	$= 206265 \text{ SA}$
7		$= 3,26 \text{ TC}$
8	Massa Matahari	$= 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$
9	Jejari matahari	$= 6,96 \times 10^8 \text{ m}$
10	Massa bumi	$= 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
11	Jejari bumi	$= 6,37 \times 10^6 \text{ m}$

PUSTAKA RUJUKAN

- Abdullah, Mikrajudin. 2009. *Fisika Statistik Untuk Mahasiswa MIPA*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Anugraha, Rinto. 2012. *Mekanika benda langit*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA. Universitas Gajah Mada.
- Ariasti, Adrajana Wisni, et. All. (1995). *Perjalanan Mengenal Astronomi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Aria Utama, judistira. 2001 “(Online). ‘Penentuan Akhir Ramadhan’ <http://media.isnet.org/ipitek/gapai/HilalTampak.html>. diakses pada 28 Desember 2013, “unpublished.
- Beatty, J. K. and Chaikin, A. 1990. *The New Solar System*. Cambridge: Cambridge University Press
- Beiser, Arthur. 1987. *Concepts of Modern Physics Fourth Edition*. Alih Bahasa: The Houw Liong. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Berry, M. V. 1989. *Principles of Cosmology and Gravitation*, Brison: Adam Hilger
- Feather , Ralph M., 2005. *National Geographic*. Washington DC. United states of America.
- Hawking, S. 1993. *Black Hole and Baby Universe*. Jakarta: PT. Gramedia Jakarta
- Hawking, S. 1998. *A Brief History of Time*. Jakarta: PT Pustaka Utama Grafiti
- Hidayat, B.,ed. 1990. *Alam Semesta dan Bumi*. Jakarta : Tira Pustaka
- Hidayat, B. 2000. *Under a Tropical Sky: A History of Astronomy In Indonesia. Journal of Astronomical History and Heritage*. 3(1) 45-48.
- Karttunen P. Kroager, dkk. 1993. *Fundamental Astronomy Third Revised and Enlarged Edition*. Helsinki
- Mallmann, A. James. 2013. Tree Leaf Shadows to the sun’s Density (A Suprising route). *Journal The Physics Teacher, A Publicaton of The American Association of Physics Teacher(AAPT)*. Volume 51 Number 1 january 2013
- Ma’mur, T. M. 1992. *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI.
- Narlikar, J.V. 1995. *From Black Clouds to Black Holes*, Singapore World Scientific
- Purwanto, Agus. 2008. *Ayat-ayat Semesta, sisi-sisi yang terlupakan*, Bandung: Penerbit Mizan
- _____. 2009. *Parameter Baru Penentuan Awal Bulan Qamariyah*, Bandung : Prosiding Seminar Hilal Boscha

- _____. 2012. *Nalar Ayat-ayat Semesta*, Bandung: Penerbit Mizan
- Ritonga, A. R. Dan Darra Soekartadiredja. 1980. *Rahasia Alam Semesta*, Medan-Jakarta: Cv. Monora
- Riswanto. 2013. Analisis Visibilitas Bulan Baru (Hilal) dengan Hisab Melalui Prinsip Kecemerlangan Optik (*Optical Luminosity*). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*. Yogyakarta, 26 April 2014. ISSN : 0853-0823
- Sidney O. Kastner, "Calculation Of The Twilight Visibility Function Of Near-Sun Objects," in *The Journal Of The Royal Astronomical Society Of Canada*, vol. 70, No. 4.
- Suwitra, Nyoman. 2001. *Astronomi Dasar*. Jurusan Fisika IKIP Negeri SINGARAJA.
- Simatupang, Ferry M. (2000). *Observatorium Bosscha ITB-Lembang*. <http://www.as.itb.ac.id/~ferry/IndoAstro/Bosscha/Bosscha.html> [05-06-2006]
- Setiawan, Sandi. 1994. *Gempita Tarian Kosmos*, Yogyakarta: Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
- _____. 1991. *Theory of Everything*, Gelegar Teori Pamungkas Tentang Semesta Raya. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
- _____. 1992. *Gelora Relativitas Einstein*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
- Winardi, S. dan Hiidayat, B. 1979. *Bintang-Bintang di Alama Semesta*, Jakarta: Penerbit Widjaya.

WEBSITE YANG DISARANKAN

<http://duniaastronomi.com/>

<http://langitselatan.com/>

<http://rumbiaphysics.com/>

Daftar Rujukan

SOFTWARE YANG DISARANKAN

1. Sky Map, dapat di instal pada HP android cari pada *Play Store*
2. Stellarium, di download di internet
3. Castelestia, Download pada internet
4. Camtasia Studio, download pada internet

RIWAYAT HIDUP

Penulis 1



Riswanto putra ke-3 dari Ibu Parmiatun dan Bapak Waluyo. Lahir di Rumbia Lampung Tengah tanggal 15 Agustus 1989. Tahun 2001 lulus SD Negeri 2 Reno Basuki Rumbia Lampung Tengah, tahun 2004 lulus SMP Negeri 1 Rumbia, tahun 2007 lulus SMA Negeri 1 Rumbia, tahun 2012 lulus S1 FKIP UM Metro, dan tahun 2014 lulus program Pasca Sarjana UAD prodi pendidikan fisika. Pengalaman organisasi: pergerakan mahasiswa KAMMI yang merupakan organisasi luar kampus dan IMM yang merupakan organisasi intra kampus, serta IMAFIS. Semasa kuliah di Pasca Sarjana penulis aktif di organisasi HMPS Pendidikan Fisika, asisten praktikum Pasca Sarjana Pendidikan Fisika dan bekerja

menjadi tenaga pengajar bimbel. Tahun 2009 s.d 2012 aktif di laboratorium UM Metro sebagai asisten praktikum fisika, tahun 2011 s.d 2012 mengabdikan di SMP Negeri I Pekalongan sebagai tenaga laboran, terlibat sebagai tim pembuat Borang Akreditasi untuk prodi Pendidikan Fisika UM Metro, kemudian tahun 2012 hingga awal tahun 2013 sebagai operator dalam Proyek pembuatan draft Regulasi Pendidikan Inklusi Dinas Pendidikan Kota Metro. Kegiatan ilmiah: mengikuti seminar internasional sebagai peserta, dan menjadi pemakalah seminar nasional sebanyak 3 kali dalam kegiatan yang berbeda. Bidang penelitian yang didalami yaitu pengembangan pembelajaran berbasis laboratorium dan teknologi pembelajaran fisika. Awal tahun 2014 penulis tergabung menjadi santri dalam Pesantren Mahasiswa Ahmad Dahlan. Tesis penulis merupakan penelitian kerjasama dosen dan mahasiswa yang dibiayai oleh DIKTI, dan penulis menyelesaikan studi Pasca Sarjana pada akhir September 2014.

Penulis 2



Nyoto Suseno, lahir pada tanggal 11 Mei 1967 di Desa Adirejo Kecamatan Pekalongan Lampung sebagai anak ketiga dari delapan bersaudara pasangan Bapak Kinah dan Ibu Painem. Menikah tahun 1997 dengan Dewi Anggraeni dan dikaruniai dua orang anak, yaitu: Bene Genhaq Suseno (16 tahun) dan Anggraeni Nais Sabila (12 tahun). Pendidikan dasar dimulai dari Madrasah Ibtida'iyah dan selesai/tamat di SD Negeri 1 Adirejo tahun 1979, SMP Negeri 3 Metro selesai tahun 1982, SMA Negeri 1 Metro selesai tahun 1985, S1 Pendidikan Fisika UNILA selesai tahun 1990, S2 Fisika ITB selesai tahun 1995, dan tahun 2011 selesai pendidikan S3 Pendidikan IPA di

Sekolah Pascasarjana UPI Bandung. Karier sebagai pendidik dimulai dari guru SMA PGRI Batang Hari Lampung (1989-1990), guru SMA Negeri 1 Purbolinggo Lampung (1990-1991), guru MAN 1 Bandar Lampung (1991-1992), dosen Fisika di Universitas Tadulako (1995-1999), guru SMP Negeri 1 Bandar Surabaya Lampung Tengah (2000-2006), dan mulai 1 Oktober 2006 hingga saat ini sebagai dosen Pendidikan Fisika di Universitas Muhammadiyah Metro. Penulis pernah mendapat tugas tambahan sebagai Ketua Prodi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Muhammadiyah Metro (2006-2008), dan tahun 2012 sampai saat ini sebagai Dekan FKIP UM Metro.