



Dasar-Dasar Astronomi



Deded Chandra, S.Si., M.Si.
Drs. M. Nasir B.
Drs. Zawirman

Dasar-Dasar ASTRONOMI

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, sebagaimana yang telah diatur dan diubah dari Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, bahwa:

Kutipan Pasal 113

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,- (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,- (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,- (empat miliar rupiah).

Dasar-Dasar ASTRONOMI

**Deded Chandra, S.Si., M.Si.
Drs. M. Nasir B.
Drs. Zawirman**



DASAR-DASAR ASTRONOMI

Edisi Pertama

Copyright © 2016

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

ISBN 978-602-422-088-4

13,5 x 20,5 cm

xviii, 286 hlm

Cetakan ke-1, November 2016

Kencana. 2016.0739

Penulis

Deded Chandra, S.Si., M.Si.

Drs. M. Nasir B.

Drs. Zawirman

Desain Sampul

Irfan Fahmi

Penata Letak

Ria

Penerbit

K E N C A N A

Jl. Tandra Raya No. 23 Rawamangun - Jakarta 13220

Telp: (021) 478-64657 Faks: (021) 475-4134

Divisi dari PRENADAMEDIA GROUP

e-mail: pmg@prenadamedia.com

www.prenadamedia.com

INDONESIA

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun,
termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa. Atas berkat rahmat dan hidayah-Nya pula lah akhirnya buku ajar *Dasar-dasar Astronomi* dapat diselesaikan dengan baik.

Buku ini merupakan pegangan bagi mahasiswa untuk mengetahui lebih dalam tentang ilmu astronomi. Buku ini disusun dari berbagai sumber yang dilengkapi dengan tabel dan gambar. Buku ini terdiri atas XVI bab. Masing-masing bab berisi uraian tentang sejarah perkembangan ilmu astronomi, pandangan manusia tentang alam semesta, teori pembentukan tata surya, teori pembentukan alam semesta, hukum-hukum fisika yang digunakan dalam tata surya, Matahari, planet, komet, meteor, asteroid, Bumi, bintang, galaksi, bulan, satelit, dan penerbangan ke luar angkasa.

Pengenalan sepintas tentang ilmu astronomi diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pembaca sehingga akan mempermudah untuk mendalami seluk-beluk ilmu astronomi. Penulis juga mencoba mendalami teori-teori yang berkaitan dengan tata surya dan alam semesta. Tidak hanya itu, buku ini menjelaskan tentang Matahari sebagai bintang yang memancarkan cahaya sendiri, berbagai jenis planet, benda luar angkasa, hingga sejarah penerbangan ke luar angkasa.

Selanjutnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah menyumbangkan tenaga dan pikirannya untuk merampungkan buku ini. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan buku ini pada

masa yang akan datang. Akhir kata, selamat belajar dan pelajarilah selalu alam semesta yang mahaluas.

Padang, November 2014

Deded Chandra

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xvii
Bab 1 Sejarah Perkembangan Ilmu Astronomi	1
A. Pengertian Dasar Astronomi	1
B. Cabang-cabang Ilmu Astronomi	3
C. Sejarah Perkembangan Astronomi Modern	4
D. Perkembangan Ilmu Astronomi pada Zaman Modern	11
E. Perkembangan Ilmu Astronomi di Indonesia	12
Bab 2 Pandangan Manusia tentang Alam Semesta	19
A. Eudoxus	20
B. Aristarchus	21
C. Hipparchus	22
D. Claudius Ptolomeus	22
E. Tycho Brahe	24
F. Nicolas Copernicus	25
G. Galileo Galilei	26
H. Johannes Kepler	26
I. Isaac Newton	27
J. William Herchel	28
K. Harlow Shapley	29
L. Edwin P. Hubble	29

Bab 3	Teori Pembentukan Tata Surya	35
A.	Perkembangan Konsep Tata Surya	35
B.	Hukum-hukum Kepler tentang Pergerakan Planet	40
C.	Tata Surya dan Planet-planetnya	41
D.	Dimensi Tata Surya	43
E.	Hukum Titius-Bode	43
F.	Pembentukan Tata Surya	44
G.	Planetesimal	51
H.	Teori-teori Asal Mula Tata Surya	54
Bab 4	Teori Pembentukan Alam Semesta	65
A.	Teori Keadaan Tetap (<i>Steady-State Theory</i>)	66
B.	Teori Big Bang	66
C.	Teori Osilasi	67
Bab 5	Hukum-hukum Fisika yang Digunakan dalam Sistem Tata Surya	71
A.	Hukum Kepler	71
B.	Hukum Titius Bode	76
C.	Kesesuaian Hukum Newton dengan Hukum Kepler	78
Bab 6	Matahari	85
A.	Pengertian Umum Matahari	85
B.	Karakteristik Matahari	86
C.	Struktur Matahari	88
D.	Pergerakan Matahari	91
E.	Jarak Matahari Ke Bintang Terdekat	92
F.	Struktur Matahari sebagai Bintang	93
G.	Asal Usul Bintang	97
H.	Jarak Bintang	99
I.	Gerak Bintang	100
J.	Magnitudo Bintang	104

DAFTAR ISI

K. Matahari sebagai Simbol Kepercayaan dan Kebudayaan	107
L. Bangunan dan Benda yang Berhubungan dengan Matahari	108
M. Manfaat dan Peran Matahari	110
Bab 7 Planet	115
A. Pengertian Planet	115
B. Orbit Planet	115
C. Klasifikasi Planet	117
D. Karakteristik Planet	118
Bab 8 Komet	135
A. Bagian-bagian Komet	135
B. Asal Komet	138
C. Nama Komet	139
D. Orbit Komet	139
E. Periode Komet	140
F. Struktur Komet	141
Bab 9 Meteor	145
A. Meteor	135
B. Meteorit	147
C. Hujan Meteor	149
Bab 10 Asteroid	157
A. Sejarah Penemuan Asteroid	157
B. Langkah-langkah Penemuan Asteroid	160
C. Orbit Asteroid	160
D. Jenis-jenis Asteroid	161
Bab 11 Bumi	167
A. Pendahuluan	167
B. Bentuk dan Geometri Bumi	168
C. Atmosfer, Hidrosfer, dan Litosfer	170
D. Sifat-sifat Kimiawi Bumi	172

E. Tata Koordinat pada Bumi	172
F. Rotasi Bumi	176
G. Revolusi Bumi	178
Bab 12 Bintang	189
A. Pengertian Bintang	189
B. Proses Terbentuknya Bintang	192
C. Rasi Bintang	193
Bab 13 Galaksi	199
A. Pengertian Galaksi	199
B. Ciri-ciri Galaksi	200
C. Klasifikasi Galaksi	201
D. Jarak Galaksi	202
E. Galaksi-galaksi Terbesar	202
F. Galaksi Bima Sakti (Galaksi Kita)	203
Bab 14 Bulan	209
A. Asal Mula Bulan	209
B. Sifat-sifat Fisik Bulan	210
C. Gerakan Bulan	217
D. Peredaran Sideris dan Sinodis	218
E. Fase Bulan (Rupa-rupa Semu Bulan)	219
F. Peredaran Semu Sehari-hari	220
G. Aspek Bulan	221
H. Orbit dan Librasi Bulan	222
I. Gerhana (Eklipse)	224
Bab 15 Satelit	245
A. Pengertian Satelit	245
B. Satelit Mars	247
C. Satelit Yupiter	248
D. Satelit Saturnus	250
E. Satelit Uranus	251
F. Satelit Neptunus	255

DAFTAR ISI

Bab 16 Penerbangan Ke Angkasa Luar	255
A. Angkasa Luar	256
B. Pesawat Ulang-Alik, Rocket, dan Satelit Komunikasi	258
C. Probe Ruang Angkasa	278
Daftar Pustaka	285

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Konsep Jagat Raya	23
Gambar 2.2	Lintasan Gerak Planet yang Berbentuk Lingkaran	24
Gambar 3.1	Konsep Tata Surya	36
Gambar 3.2	Pembentukan Tata Surya Menurut Planetesimal	51
Gambar 3.3	Menurut Teori Nebulae	55
Gambar 3.4	Menurut Teori Pasang Surut	56
Gambar 3.5	Teori Menurut Awan Debu	58
Gambar 5.1	Bentuk Orbit Planet Menurut Hukum Kepler Pertama	72
Gambar 5.2	Hukum Kepler Kedua yang Menggambarkan Kecepatan Planet di Sekitar Matahari, $S_1 = S_2 = S_3$	73
Gambar 6.1	Bintang-bintang dan Planet	85
Gambar 6.2	Struktur Matahari	88
Gambar 6.3	Bintik Matahari	92
Gambar 6.4	Bentuk Matahari	93
Gambar 6.5	Ledakan Matahari	95
Gambar 6.6	Susunan Tubuh Matahari	96
Gambar 6.7	Pembentukan Bintang	98
Gambar 6.8	Jarak Bintang	99
Gambar 6.9	Pergerakan Bintang	101
Gambar 6.10	Diagram Kecepatan Total	104
Gambar 6.11	Magnitudo Bintang	104
Gambar 6.12	Jam Matahari	108
Gambar 6.13	Panel Surya	111

Gambar 7.1	Planet Merkurius	118
Gambar 7.2	Planet Venus	119
Gambar 7.3	Planet Bumi	122
Gambar 7.4	Planet Mars	123
Gambar 7.5	Planet Yupiter	126
Gambar 7.6	Planet Saturnus	128
Gambar 7.7	Planet Uranus	130
Gambar 7.8	Planet Neptunus	130
Gambar 8.1	Bagian-bagian Komet	136
Gambar 8.2	Orbit Komet	138
Gambar 9.1	Meteor	145
Gambar 9.2	Batu Meteorit	147
Gambar 9.3	Hujan Meteor	150
Gambar 10.1	Perbandingan Ukuran Asteroid-asteroid Besar dengan Bulan	158
Gambar 10.2	Asteroid 243 Ida	159
Gambar 10.3	Orbit Asteroid	161
Gambar 10.4	Asteroid 951 Gaspra	162
Gambar 11.1	Titik-titik dan Lingkaran-lingkaran Istimewa pada Globe Bumi	174
Gambar 11.2	Lintang dan Bujur Geografis	175
Gambar 11.3	Pergeseran Matahari antara GBU Dan GBS	179
Gambar 11.4	Busur Siang Lebih Panjang Daripada Busur Malam Dilihat dari Suatu Tempat di Belahan Bumi Utara pada 21 Juni	180
Gambar 11.5	Equinoctis	181
Gambar 12.1	Crux dan Ursa Mayor Sebagai Penunjuk Arah	193
Gambar 12.2	Beberapa Rasi Bintang dengan Bayangan yang Timbul	194
Gambar 14.1	Foto Bulan Diambil dari Ruang Angkasa	214
Gambar 14.2	Peta Sisi Bulan yang Terlihat Ditandai dengan Beberapa Bagian Permukaan yang Menarik	215

DAFTAR GAMBAR

Gambar 14.3	Bulan Sideris dan Sinodis	219
Gambar 14.4	Bentuk-bentuk Bulan Kelihatannya Berubah Setiap Malam	220
Gambar 14.5	Bulan dalam Hubungannya dengan Fase Bulan	222
Gambar 14.6	Bagian-bagian Khas dari Bayangan yang Dibentuk oleh Bumi Ataupun oleh Bulan	229
Gambar 16.1	Pesawat Ulang-Alik	258
Gambar 16.2	Roket	260
Gambar 16.3	Palapa A-1	262
Gambar 16.4	Palapa A-2	263
Gambar 16.5	Palapa B-1	263
Gambar 16.6	C-1	264
Gambar 16.7	Telkom-2	264
Gambar 16.8	Lapan-Tubsat	265
Gambar 16.9	Stasiun Ruang Angkasa	269
Gambar 16.10	Salyut 1	270
Gambar 16.11	Salyut 3	271
Gambar 16.12	Salyut 7	272
Gambar 16.13	Skylab	273
Gambar 16.14	Stasiun Ruang Angkasa <i>Mir</i> dengan Pesawat Ulang-Alik <i>Atlantis</i>	274
Gambar 16.15	Stasiun Ruang Angkasa Internasional	276
Gambar 16.16	Tiangong-1	277
Gambar 16.17	Probe Bulan	0

Daftar Tabel

Tabel 5.1	Jarak Rata-rata Planet-Matahari dan Periode Revolusinya	76
Tabel 6.1	Bintang-bintang yang Terdekat dengan Matahari yang Sudah Ditentukan Paralaksnya	100
Tabel 6.2	Klasifikasi Spektrum Bintang	106
Tabel 12.1	Dua Puluh Bintang Paling Terang	190
Tabel 12.2	Temperatur dan Dimensi Bintang-bintang Khusus	192
Tabel 13.1	Galaksi Lokal Terbesar	203
Tabel 15.1	Daftar Nama dan Jumlah Satelit dalam Tata Surya	246
Tabel 15.2	Satelit-satelit Galileo	249
Tabel 15.3	Klasifikasi Satelit	250
Tabel 16.1	Modul-Modul Mir	275
Tabel 16.2	Probe Ruang Angkasa Sputnik	278
Tabel 16.3	Probe Ruang Angkasa Pioneer	279
Tabel 16.4	Probe Venus	280
Tabel 16.5	Probe Viking	281

1

Sejarah Perkembangan Ilmu Astronomi

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa diberi pengetahuan tentang definisi astronomi, cabang-cabang ilmu astronomi, dan sejarah perkembangan ilmu astronomi.

A. Pengertian Dasar Astronomi

Astronomi, yang secara etimologi berarti “ilmu bintang” adalah ilmu yang melibatkan pengamatan dan penjelasan kejadian yang terjadi di luar Bumi dan atmosfernya. Ilmu ini mempelajari asal usul, evolusi, sifat fisik, dan kimiawi benda-benda yang bisa dilihat di langit (dan di luar Bumi), juga proses yang melibatkan mereka.

Selama sebagian abad ke-20, astronomi dianggap terpilah menjadi astrometri, mekanika langit, dan astrofisika. Status tingginya sekarang yang dimiliki astrofisika bisa tercermin dalam nama jurusan universitas dan institut yang dilibatkan di penelitian astronomis: yang paling tua adalah tanpa kecuali bagian “Astronomi” dan institut, yang paling baru cenderung memasukkan astrofisika di nama mereka, kadang-kadang mengeluarkan kata astronomi, untuk menekankan sifat penelitiannya. Selanjutnya, penelitian astrofisika, secara khususnya astrofisika teoretis, bisa dilakukan oleh orang yang berlatar belakang ilmu fisika atau

matematika daripada astronomi.

Secara umum, baik “astronomi” maupun “astrofisika” boleh digunakan untuk menyebut ilmu yang sama. Apabila hendak merujuk ke definisi-definisi kamus yang baku, “astronomi” bermakna “penelitian benda-benda langit dan materi di luar atmosfer Bumi serta sifat-sifat fisika dan kimia benda-benda dan materi tersebut;” sedang “astrofisika” adalah cabang dari astronomi yang berurusan dengan “tingkah laku, sifat-sifat fisika, serta proses-proses dinamis dari benda-benda dan fenomena-fenomena langit.” Dalam kasus-kasus tertentu, misalnya pada pembukaan buku *The Physical Universe* oleh Frank Shu, “astronomi” boleh digunakan untuk sisi kualitatif dari ilmu ini, sedang “astrofisika” untuk sisi lainnya yang lebih berorientasi fisika. Namun demikian, penelitian-penelitian astronomi modern kebanyakan berurusan dengan topik-topik yang berkenaan dengan fisika, sehingga bisa saja kita mengatakan bahwa astronomi modern adalah astrofisika. Banyak badan penelitian yang dalam memutuskan menggunakan istilah yang mana, hanya bergantung dari apakah secara sejarah mereka berafiliasi dengan departemen-departemen fisika atau tidak. Astronom-astronom profesional sendiri banyak yang memiliki gelar di bidang fisika. Untuk ilustrasi lebih lanjut, salah satu jurnal ilmiah terkemuka pada cabang ilmu ini bernama *Astronomy and Astrophysics* (Astronomi dan Astrofisika).

Astronomi adalah salah satu di antara sedikit ilmu pengetahuan di mana amatir masih memainkan peran aktif, khususnya dalam hal penemuan dan pengamatan fenomena sementara. Astronomi jangan dikelirukan dengan astrologi, ilmu semu yang mengasumsikan bahwa takdir manusia dapat dikaitkan dengan letak benda-benda astronomis di langit. Meskipun memiliki asal mula yang sama, kedua bidang ini sangat berbeda. Astronom menggunakan metode ilmiah, sedangkan astrolog tidak.

B. Cabang-cabang Ilmu Astronomi

Pada abad ke-20, astronomi profesional terbagi menjadi dua cabang: astronomi observasional dan astronomi teoretis. Yang pertama melibatkan pengumpulan data dari pengamatan atas benda-benda langit, yang kemudian akan dianalisis menggunakan prinsip-prinsip dasar fisika. Yang kedua terpusat pada upaya pengembangan model-model komputer/analitis guna menjelaskan sifat benda-benda langit serta fenomena-fenomena alam lainnya. Adapun kedua cabang ini bersifat komplementer—astronomi teoretis berusaha untuk menerangkan hasil-hasil pengamatan astronomi observasional, dan astronomi observasional kemudian akan mencoba untuk membuktikan kesimpulan yang dibuat oleh astronomi teoretis.

Bidang yang dipelajari juga dikategorikan menjadi dua cara yang berbeda: dengan “subjek”, biasanya menurut daerah angkasa (misalnya Astronomi Galaksi) atau “masalah” (seperti pembentukan bintang atau kosmologi); atau dari cara yang digunakan untuk mendapatkan informasi (pada hakikatnya, daerah di mana spektrum elektromagnetik dipakai). Pembagian pertama bisa diterapkan kepada baik pengamat maupun teoretikus, tetapi pembagian kedua ini hanya berlaku bagi pengamat (dengan tak sempurna), selama teoretikus mencoba menggunakan informasi yang ada, di semua panjang gelombang, dan pengamat sering mengamati di lebih dari satu daerah spektrum berdasarkan pada subjek atau masalah, ada beberapa pengklasifikasian dalam ilmu astronomi sebagai berikut:

1. Astrometri: cabang ilmu Astronomi yang mempelajari hubungan geometris benda-benda angkasa, meliputi: kedudukan benda-benda angkasa, jarak benda angkasa yang satu dengan yang lain, ukuran benda angkasa, rotasi dan revolusinya. Mendefinisikan sistem koordinat yang dipakai dan kinematika dari benda-benda di galaksi kita.
2. Kosmologi: penelitian alam semesta sebagai seluruh dan evolusinya.

3. Fisika galaksi: penelitian struktur dan bagian galaksi kita dan galaksi lain.
4. Astronomi ekstragalaksi: penelitian benda (sebagian besar galaksi) di luar galaksi kita.
5. Pembentukan galaksi dan evolusi: penelitian pembentukan galaksi, dan evolusi mereka.
6. Ilmu planet: penelitian planet dan tata surya.
7. Fisika bintang: penelitian struktur bintang.
8. Evolusi bintang: penelitian evolusi bintang dari pembentukan mereka sampai akhir mereka sebagai bintang sisa.
9. Pembentukan bintang: penelitian kondisi dan proses yang menyebabkan pembentukan bintang di dalam awan gas, dan proses pembentukan itu sendiri.

Jembatan Keledainya:

TRIMOL FIGA AKSI PEGALE MUNET KATANG EBIN TUBIN.

Singkatan dari, "Astrometri, Kosmologi, Fisika Galaksi, Astronomi Ekstragalaksi, Pembentukan Galaksi dan Evolusi, Ilmu Planet, Fisika Bintang, Evolusi Bintang, Pembentukan Bintang."

C. Sejarah Perkembangan Astronomi Modern

Awal perkembangan ilmu astronomi modern dimulai oleh Purbach (1423-1461) di Universitas Wina, serta lebih khusus lagi oleh muridnya Johannes Müller (1436-1476). Johannes Müller pergi ke Italia khusus untuk belajar karya asli Ptolemeus tentang astronomi bersama temannya Walther (1430-1504). Walther adalah seorang yang kaya, ia memiliki observatorium pribadi, serta mesin percetakan pribadi. Müller bersama Walther membuat penanggalan berdasarkan benda-benda langit yang banyak dipakai oleh para pelaut Spanyol dan Portugis. Müller kemudian pergi ke Roma untuk melakukan pembaruan kalender di sana, akan tetapi ia meninggal sebelum dapat melaksanakan niatnya. Pengamatan Müller dilanjutkan oleh temannya Walther dan Albrecht Durer. Maka, ketika Nicolas Copernicus (1473-1543)

memulai karyanya, telah terdapat cukup banyak karya hasil pengamatan astronomi. Sistem Copernicus yang baru tentang alam semesta menempatkan Matahari sebagai pusat alam semesta, serta terdapat tiga jenis gerakan Bumi. Tiga jenis gerakan Bumi itu adalah gerak rotasi Bumi (perputaran Bumi pada porosnya), gerak revolusi (gerak Bumi mengelilingi Matahari) dan suatu girasi perputaran sumbu Bumi yang mempertahankan waktu siang dan malam sama panjangnya.

Teori Copernicus tersebut ditulis tangan dan diedarkan di antara kawan-kawannya pada 1530. Teori Copernicus menjadi semakin terkenal dan menarik perhatian seorang ahli matematika dari Wittenberg bernama George Rheticus (1514-1576). Rheticus kemudian belajar bersama Copernicus dan pada 1540 menerbitkan buku tentang teori Copernicus. Akhirnya Copernicus menerbitkan hasil karyanya sendiri pada 1543 berjudul *On the Revolutions of the Celestial Orbs*. Buku Copernicus dicetak di Nuremberg, pada awalnya di bawah supervisi Rheticus, kemudian dilanjutkan di bawah supervisi Andreas Osiander, seorang pastor Lutheran. Osiander menambahkan kata pengantar untuk karya Copernicus, dengan menyatakan bahwa teori yang baru itu tidak harus benar dan dapat dipandang semata-mata sebagai suatu kecocokan metode matematis tentang benda-benda langit. Copernicus sendiri tidak berpendapat begitu. Ia berpendapat bahwa sistem semesta yang dikemukakannya adalah nyata.

Copernicus berpendapat, bahwa sistem yang dikemukakan oleh Ptolemeus “tidak cukup tepat, tidak cukup memuaskan pikiran,” karena Ptolemeus beranjak langsung dari karya kelompok Pythagoras. Untuk menjelaskan gerakan benda-benda langit, Ptolomeus menganggap bahwa benda-benda langit itu bergerak melingkar dengan kecepatan angular yang tidak sama relatif terhadap pusatnya, kecepatan angular itu hanya sama terhadap titik di luar pusat lingkaran itu. Menurut Copernicus, asumsi itu merupakan kesalahan pokok dari sistem Ptolemeus. Akan tetapi, hal ini bukan hal pokok yang dikemukakan

oleh Copernicus. Kritik utama yang dikemukakan oleh Copernicus kepada para ahli astronomi pendahulunya adalah dengan menggunakan aksioma-aksiomanya, mereka telah gagal menjelaskan gerakan benda-benda langit yang teramati dan juga teori-teori yang mereka kembangkan melibatkan sistem yang rumit yang tidak perlu. Copernicus menilai para pendahulunya dengan mengatakan: “di dalam metode yang dikembangkan, mereka telah mengabaikan hal-hal penting atau menambahkan hal-hal yang tidak perlu.”

Copernicus memusatkan perhatian pada hal yang terakhir. Ia melihat bahwa para leluhurnya telah menambahkan tiga gerakan Bumi untuk setiap benda langit, agar sampai pada kesimpulan bahwa Bumi berada diam di pusat putaran. Ketiga lingkaran tersebut telah ditambahkan untuk setiap benda langit di dalam sistem geometris bangsa Yunani untuk menjelaskan gerakan benda-benda langit dengan Bumi sebagai pusatnya. Copernicus berpendapat bahwa lingkaran-lingkaran tersebut tidak diperlukan, dengan berpendapat bahwa Bumi berputar pada sumbuhnya setiap hari dan bergerak melintasi orbitnya mengitari Matahari setiap tahun. Dengan cara demikian, Copernicus mengurangi jumlah lingkaran yang diperlukan untuk menjelaskan gerakan benda-benda langit.

Dengan sistem yang dikemukakannya itu, Copernicus memberikan jawaban yang paling sederhana untuk menjawab pertanyaan yang diajukan bangsa Yunani tentang bagaimana menjelaskan gerakan benda-benda langit dalam suatu gerakan yang melingkar dan seragam. Tidak ada hal yang baru dalam metode tersebut, hal itu telah digunakan oleh para astronom sejak zaman Pythagoras. Dengan menggunakan konsepsi yang dipakai oleh Pythagoras, ia mencampakkan sistem yang dikembangkan oleh bangsa Yunani. Akan tetapi, ada satu konsep yang tidak dipakainya, yaitu bahwa benda-benda langit adalah mulia.

Di dalam sistem Copernicus, Bumi berputar mengitari Matahari, seperti planet-planet lainnya. Bumi menjalani gerakan

yang seragam dan melingkar sebagai benda langit, suatu gerakan yang sejak lama diyakini sebagai gerakan yang sempurna. Lebih jauh, Copernicus menekankan kesamaan antara Bumi dan benda-benda langit lainnya bahwa semuanya memiliki gravitasi. Gravitasi ini tidak berada di langit, tetapi bekerja pada materi, seperti Bumi dan benda-benda langit memiliki gaya ikat dan mempertahankannya dalam suatu lingkaran yang sempurna. Untuk hal ini penjelasan Copernicus agak berbau teologis: “Menurut saya gravitasi tidak lain daripada suatu kekuatan alam yang diciptakan oleh pencipta supaya semuanya berada dalam kesatuan dan keutuhan. Kekuatan seperti itu mungkin juga dimiliki oleh Matahari, Bulan, dan planet-planet agar semuanya tetap bundar.”

Sistem Copernicus lebih bagus dan lebih sederhana daripada sistem Ptolomeus. Di dalam sistem lama, benda-benda langit memiliki baik gerakan timur-barat maupun rotasi pada arah yang berlawanan. Dalam sistem Copernicus, Bumi dan semua planet bergerak mengitari Matahari dengan arah yang sama dan laju yang berkurang semakin jauh dari Matahari. Sementara itu, Matahari yang berada di pusat dan bintang-bintang yang berada di luar tata surya berada pada tempatnya yang tetap. Sekarang dapat dijelaskan mengapa planet-planet kelihatan mendekati dan menjauhi Bumi. Planet-planet itu pada suatu saat berada pada satu sisi yang sama dengan Bumi, tetapi pada saat yang lain berada pada sisi yang berseberangan.

Dengan sistem Copernicus, perhitungan astronomi dibuat menjadi lebih mudah, karena melibatkan jumlah lingkaran yang lebih sedikit. Tetapi prakiraan posisi planet-planet dan perhitungan lainnya tidak lebih tepat daripada dihitung dengan menggunakan sistem Ptolomeus, keduanya masih memiliki kesalahan sekitar satu persen. Selanjutnya terdapat keberatan-keberatan terhadap sistem Copernicus. *Pertama*, dan mungkin tidak terlalu serius ketika itu adalah kenyataan bahwa pusat tata surya tidak tepat berada pada Matahari. Copernicus menem-

patkan pusat tata surya pada pusat orbit Bumi, yang tidak persis berada pada Matahari, untuk menjelaskan perbedaan panjang musim-musim. Beberapa filsuf berpendapat bahwa pusat tata surya haruslah berada pada suatu objek nyata, meskipun banyak juga yang menerima bahwa titik geometris dapat dipakai sebagai pusat tata surya. Selanjutnya, para pendukung Aristoteles berpendapat bahwa gravitasi bekerja ke arah titik geometris tersebut, sebagai pusat tata surya, yang tidak harus sama dengan pusat Bumi.

Keberatan *kedua*, yang lebih serius, menyatakan bahwa bila Bumi berputar, maka udara cenderung tertinggal di belakang, hal ini akan menimbulkan angin yang arahnya ke timur. Copernicus memberikan dua jawaban untuk keberatan timur. *Pertama*, yang merupakan suatu jenis penjelasan abad pertengahan, yaitu udara berputar bersama-sama dengan Bumi karena udara berisi partikel-partikel Bumi yang memiliki sifat-sifat yang sama dengan Bumi. Maka Bumi menarik udara berputar bersama-sama dengan Bumi karena udara bersisi partikel-partikel Bumi. Maka Bumi menarik udara berputar dengan Bumi. Jawaban kedua yang bersifat modern, udara berputar tanpa hambatan karena udara berdampingan dengan Bumi yang terus-menerus berputar. Keberatan yang sama adalah apabila sebuah batu dilemparkan ke atas maka batu itu akan tertinggal oleh Bumi yang berputar, sehingga kalau batu itu jatuh akan berada di sebelah barat proyeksi batu itu. Untuk keberatan ini, Copernicus menjawab: "Karena benda-benda yang ditarik ke tanah oleh beratnya adalah terbuat dari tanah, maka tidak diragukan bahwa benda-benda itu memiliki sifat yang sama dengan Bumi secara keseluruhan, sehingga berputar bersama-sama dengan Bumi."

Keberatan lebih jauh terhadap sistem Copernicus adalah bila Bumi berputar, maka Bumi akan hancur berkeping-keping oleh gaya sentrifugal. Copernicus menjawab bahwa bila Bumi tidak berputar, maka bola yang lebih besar yang ditempati oleh bintang-bintang pasti bergerak dengan kecepatan yang sangat

besar dan lebih rentan oleh pengaruh gaya sentrifugal.

Tampaknya Copernicus tidak menerima teori Aristoteles, juga tidak menerima teori adanya gaya dorong. Copernicus berpendapat bahwa spin dan gerakan dalam suatu lingkaran adalah gerakan-gerakan yang spontan, merupakan sifat alami dari suatu bentuk bola di mana Bumi dan benda-benda langit ada. Oleh karena itu, Copernicus tidak menggunakan hierarki para malaikat untuk menggerakkan benda-benda langit, yaitu malaikat yang lebih berkuasa menggerakkan benda yang lebih tinggi hierarkinya. Menurut Copernicus benda-benda langit bergerak secara spontan.

Maka bersama Copernicus muncul suatu sistem *cosmos* yang betul-betul baru. Penggerak alam semesta tidak lagi penting. Matahari sebagai pusat tata surya menjadi pengatur alam semesta. Terdapat figur perantara di antara pendukung Aristoteles yang mendukung adanya penggerak alam semesta dan Copernicus yang menyatakan Matahari sebagai pusat tata surya, yaitu Nicolas Cusa.

Kiranya dapat dikatakan, bahwa Copernicus berusaha mempromosikan suatu nilai baru dengan sistem yang dikemukakannya. Karena apabila ia sekadar ingin mengembangkan suatu sistem yang lebih sederhana, terdapat suatu sistem yang dipakai oleh Tycho Brahe (1546-1601). Di dalam sistem itu planet-planet berputar mengelilingi Matahari, sementara itu Matahari bersama-sama dengan planet-planet yang mengelilinginya sebagai satu kesatuan, berputar mengelilingi Bumi yang diam yang berada pada pusat semesta. Sistem itu secara matematis ekuivalen dengan sistem Copernicus, dan juga sistem itu tidak menimbulkan persoalan fisis. Tetapi sistem itu tetap mempertahankan nilai-nilai lama dalam sistem *cosmos*, yaitu Bumi sebagai pusat alam semesta. Itulah mungkin sebabnya Copernicus mengajukan suatu sistem baru, heliosentris.

Dalam seluruh hidupnya, Copernicus menganut pandangan bangsa Yunani bahwa gerakan benda-benda langit adalah

melingkar dengan kecepatan tetap, maka meskipun sistem yang dibuat Copernicus lebih sederhana dibandingkan dengan sistem Ptolomeus, tetapi tetap rumit dibandingkan dengan sistem Kepler (1571-1630). Copernicus menjelaskan gerakan benda-benda langit dengan menggunakan tiga puluh empat lingkaran, sementara itu Kepler hanya menggunakan tujuh elips. Seperti dikatakan oleh Kepler, Copernicus tidak menyadari akan adanya suatu bangunan yang sangat baik yang ada dalam genggamannya. Copernicus mengetahui bahwa gabungan beberapa lingkaran dapat menghasilkan elips, akan tetapi ia tidak pernah menggunakan elips untuk menggambarkan benda-benda langit. Lagi pula, pada tahap-tahap awal, Copernicus sangat menghargai hasil observasi bangsa kuno. Copernicus menentang Werner yang menyatakan bahwa hasil-hasil pengamatan terakhir lebih cocok dengan sistem Ptolomeus daripada dengan sistem Copernicus. Kenyataannya memang tiga kali lebih tepat.

Pengamatan paling penting dalam bidang astronomi modern adalah yang dilakukan oleh Tycho Brahe. Hasil pengamatan Tycho Brahe lima puluh kali lebih tepat dari hasil Müller, hasil terbaik yang dapat dilakukan dengan mata telanjang. Tycho Brahe adalah orang Denmark terhormat. Raja Frederick II dari Denmark memberi tempat tinggal dan pulau Hveen untuk melakukan kegiatan astronominya. Di pulau itu Tycho Brahe membangun kastil, bengkel, percetakan pribadi, dan observatorium. Ia bekerja di pulau itu dari tahun 1576 sampai 1597. Ia berpendapat bahwa adalah tidak mungkin melakukan pengamatan tanpa panduan suatu teori. Ia menganut pandangan geosentris.

Ketika Raja Frederick II wafat, fasilitas yang diterima Tycho Brahe tidak diperpanjang, kemudian Tycho Brahe pergi ke Praha pada 1599, di mana ia mendapat tunjangan dari Raja Rudolph II. Tahun-tahun berikutnya ia bergabung dengan astronom Jerman, Johann Kepler, seorang matematikawan. Kepler adalah anak seorang tentara Wurtemberg. Ia mempelajari sistem Co-

pernicus di Tübingen. Kerja sama antara Kepler dengan Tycho Brahe tidak berlangsung lama karena Tycho Brahe meninggal dunia. Setelah Tycho Brahe meninggal, Kepler tetap tinggal di Praha.

Karya pertama Kepler dalam bidang astronomi berjudul *The Mystery of the Universe* yang diterbitkan pada 1596. Di dalam buku itu, ia berusaha mencari suatu keselarasan antara orbit-orbit planet menurut Copernicus dengan hasil pengamatan Tycho Brahe. Akan tetapi, Kepler tidak berhasil menemukan keselarasan antara sistem-sistem yang dikembangkan oleh Copernicus maupun Ptolomeus dengan hasil pengamatan Tycho Brahe. Oleh karena itu, ia meninggalkan sistem Ptolomeus dan Copernicus lalu berusaha mencari sistem baru. Pada 1609, Kepler menemukan ternyata elips sangat cocok dengan hasil pengamatan Tycho Brahe. Kepler tidak lagi menggunakan lingkaran sebagai lintasan benda-benda langit melainkan elips.

D. Perkembangan Ilmu Astronomi pada Zaman Modern

Perkembangan astronomi pada zaman modern sudah sangat pesat sekali. Sebagai bukti pesatnya perkembangan astronomi adalah banyaknya penemuan benda-benda luar angkasa seperti halnya planet-planet baru dan galaksi-galaksi baru. Dengan adanya peralatan yang canggih yang telah diciptakan para ilmuwan khususnya ilmuwan barat sangat mendukung perkembangan ilmu astronomi. Seperti halnya satelit-satelit NASA yang diterbangkan ke luar angkasa sangatlah mendukung untuk pengamatan fenomena luar angkasa.

Para pakar astronomi pada zaman sekarang sudah mulai meneliti keadaan planet-planet luar angkasa dengan menerbangkan beberapa astronot untuk melakukan observasi ke planet-planet, sebagai salah satu contohnya planet Mars. Planet Merah (Mars) merupakan planet yang mendapatkan konsentrasi penuh dari para astronom. Bahkan mereka sampai membuat se-

buah robot yang mampu menelusuri dataran Mars. Nasa Phoenix berhasil mendarat di Mars pada bulan Mei lalu. Dari sinilah diketahui bahwa planet Mars mampu dihidupi oleh manusia karena terdapat sumber air di dalamnya.

E. Perkembangan Ilmu Astronomi di Indonesia

Sejarah telah mencatat, geliat penerapan astronomi di kepulauan Nusantara telah ada sejak beberapa abad silam. Penanggalan kalender Jawa, penentuan musim hujan, kemarau, panen, dan ritual kepercayaan lain yang menggunakan peredaran gerak benda langit sebagai acuan. Bahkan, mengutip sebuah lagu “Nenek Moyangku Seorang Pelaut”, mereka pun mahir menggunakan rasi-rasi bintang sebagai penunjuk arah. Zaman beranjak ke masa Kerajaan Hindu-Buddha, di mana candi-candi dibangun berdasarkan letak astronomis. Candi-candi di daerah Jawa Tengah dibangun dengan menghadap ke arah terbitnya Matahari, timur. Sedangkan bangunan candi di Jawa Timur menghadap ke barat, di mana Matahari terbenam. Meski begitu, ada sedikit perbedaan dengan candi kebesaran rakyat Indonesia, Candi Borobudur, yang dibangun menghadap ke arah utara-selatan tepat pada sumbu rotasi Bumi. Gunadharma, yang membangun Candi Borobudur memakai patokan bintang polaris yang pada masa dinasti Syailendra masih terlihat dari Pulau Jawa.

Mulai abad ke-18, perjalanan astronomi Indonesia telah beranjak ke arah yang lebih empiris. Pada masa itu, masyarakat dunia belum tahu jarak Bumi-Matahari. Halley, yang telah menemukan cara untuk menentukan paralaks Matahari, membutuhkan pengamatan di tempat yang berbeda-beda. Dengan menggunakan hukum Kepler, ia telah menghitung akan terjadinya transit Venus pada 1761 dan 1769. Dan pengamatan fenomenal itu dilakukan di Batavia (Jakarta), di sebuah Planetarium pribadi milik John Mauritz Mohr, seorang pendeta Belanda kelahiran Jerman. Selain Mohr, astronom Perancis De Bougainville

juga melakukan pengamatan transit Venus pada 1769. Dari hasil pengamatan diperoleh gambaran transit Venus yang kemudian dipublikasikan dalam *Philosophical Transaction*.

Tahun 1920, berdirilah Nederlandch Indische Sterrenkundige Vereeniging (Perhimpunan Ilmu Astronomi Hindia Belanda) yang dipelopori oleh Karel Alber Rudolf Bosscha. Yang mencetuskan didirikannya sebuah observatorium untuk memajukan ilmu astronomi di Hindia Belanda. Butuh usaha yang tidak mudah untuk mendirikan observatorium yang sekarang terletak di daerah Lembang, arah utara Kota Bandung itu. Mulai dari penelitian lokasi yang tepat untuk pengamatan, hingga perjalanan teleskop “Meridian Circle” dan “Carl Zeiss Jena”. Pembangunan observatorium dimulai pada 1922 di atas tanah pemberian kakak beradik “Ursone” seluas 6 hektare. Hingga akhirnya teleskop besar Zeiss mulai berfungsi pada 1928. Beberapa bulan setelah instalasi teleskop, K.A.R. Bosscha meninggal, dan observatorium itu dinamai Observatorium Bosscha.

Kini, observatorium bersejarah itu sudah berusia hampir 80 tahun. Di usianya yang mulai senja, Observatorium Bosscha telah menorehkan banyak catatan keastronomian. Sebagai contoh, penemuan *planetary* nebula di daerah langit selatan, 50 persen ditemukan di observatorium milik Indonesia ini. Ditambah dengan pengamatan-pengamatan lain seperti gerhana Matahari total pada 1930, di mana Einstein duduk dalam komitenya untuk membuktikan Teori Relativitas Umum Einstein. Dan keikutsertaan Observatorium Bosscha dalam pendidikan ilmu pengetahuan alam, dengan mengadakan jurusan Astonomi di ITB pada 1959.

Minat masyarakat terhadap ilmu yang menjadi “anak tiri” di Indonesia ini telah meningkat selama beberapa tahun terakhir. Melihat antusiasnya masyarakat dan media ketika terjadi fenomena langit yang jarang terjadi seperti saat melintasnya komet Halley (1986), oposisi Mars (2003), transit Venus (2004), dan lainnya. Juga dengan terbentuknya perkumpulan-perkum-

pulan pecinta astronomi yang mulai marak. Dan beberapa media di dunia maya mulai dari Milis, *web site*, forum diskusi dan banyak blog yang berisikan info-info Astronomi.

Secara Internasional, astronomi di Indonesia pun sudah “cukup dipandang”. Terbukti dengan dipercayanya Indonesia menjadi tuan rumah APRIM, ajang berkumpulnya para astronom dunia pada tahun 2005 silam, juga sebagai tuan rumah olimpiade Astronomi Internasional tahun 2008 mendatang. Belum lagi banyaknya siswa yang membawa pulang medali ke Tanah Air, hasil dari pertarungan mereka dalam Olimpiade Astronomi Internasional maupun Olimpiade Astronomi Asia Pasific.

Kini, setelah melihat perkembangan ilmu astronomi yang cukup pesat, akankah pemerintah lebih memperhatikan perkembangan ilmu alam ini? Seperti sudah menjadi hal umum jika ilmu alam kurang diperhatikan di negara tercinta ini. Padahal, sangatlah penting untuk membuka kesadaran sains di mata masyarakat Indonesia. Agar menjadi masyarakat yang cinta ilmu, yang bisa banyak membaca dari alam sekitarnya, dari tingginya langit hingga dalamnya lautan.

Kita bisa mencontoh negara-negara maju seperti Badan Antariksa Nasional Amerika Serikat (NASA) ataupun Badan Antariksa Eropa (ESA), yang menyiapkan divisi khusus untuk pelayanan informasi astronomi bagi publik. Mulai dari informasi informal hingga terprogram seperti pelatihan guru sekolah dan bantuan implementasi kurikulum ilmu pengetahuan alam. Masukkan astronomi dalam kurikulum pelajaran siswa sekolah, mengapa tidak?

Indonesia, yang terbentang dari Sabang sampai Merauke hanya memiliki sedikit sekali fasilitas astronomi. Hampir semua kegiatan astronomi terpusat di observatorium Bosscha dan planetarium Jakarta. Ide pembuatan observatorium di daerah-daerah terpencil sudah ada sejak dahulu. Yang sudah mulai berjalan seperti planetarium di Palembang dan Tenggarong, Kalimantan. Juga adanya rencana menjadikan Pulau Biak sebagai

tempat peluncuran satelit. Para pecinta astronomi dan masyarakat Indonesia pada umumnya, memiliki mimpi agar dapat dibangun lagi observatorium-observatorium di daerah-daerah ataupun pulau-pulau terpencil lainnya. Selain belum banyak terjamah manusia, hingga tingkat polusinya kecil dan memungkinkan untuk melihat langit sangat cerah, pembangunan fasilitas astronomi itu juga menjadi sebuah ajang penyebaran pendidikan sains yang tentunya dapat mengurangi tingkat kebodohan masyarakat Indonesia.

Pemerintah Indonesia dan para pecinta astronomi dapat bekerja sama dalam menyebarkan ilmu astronomi. Dengan tersedianya fasilitas media yang cukup banyak, keinginan adanya majalah atau tabloid astronomi tentunya mimpi yang harus diwujudkan. Kesediaan pemerintah untuk menyokong dana riset ataupun kegiatan keilmuan ini juga sangatlah diharapkan.

Kasus Nyata

Dengan canggihnya teknologi seperti satelit NASA dan hal-hal yang telah dipelajari oleh peneliti sebelumnya, seperti Copernicus tentang teori heliosentris dan Tycho Brahe tentang teori geosentrisnya, kemudian dilanjutkan oleh Kepler lintasan merupakan elips inilah yang menjadi tolok ukur bagi perkembangan ilmu astronomi untuk era modern saat sekarang ini, sehingga akan tampaklah fenomena-fenomena yang luar biasa yang sudah terjadi di alam semesta ini, teori-teori ini sebelumnya juga sudah dipelajari oleh nenek moyang bangsa Indonesia seperti ingin melaut, maka dilihatlah pergerakan rasi-rasi bintang di angkasa yang tujuannya untuk melihat arah utara, selatan, barat dan timur supaya mereka yang pergi melaut tidak tersesat, dan pergerakan Bulan yang bisa digunakan oleh petani untuk bertani, yaitu penentuan musim hujan/musim kemarau apabila ia berada di negara Indonesia.

Studi Kasus

Astronomi sangatlah penting kita pelajari, sebab apabila kita ingin merencanakan sesuatu tanpa memprediksi suatu keadaan maka akanlah menghasilkan sesuatu yang tidak optimal. Misal, akan membangun suatu bangunan, maka tidaklah mungkin kita mengerjakan di waktu hujan deras, angin kencang, dan bencana-bencana lainnya, maka untuk memprediksi keadaan tersebut maka bisa kita fenomena-fenomena alam yang terjadi seperti melihat bintang pada malam hari, pergerakan Bumi pada poros, Bulan dan revolusi Bumi terhadap Matahari. Maka kita akan tahu bagaimana keadaan musimnya, apakah disana musim hujan, musim kemarau.

Dan juga ilmu astronomi juga bisa digunakan oleh pemuka agama sebagai penentuan awal puasa atau hari-hari besar agama.

Rangkuman

1. Astronomi, yang secara etimologi berarti “ilmu bintang” adalah ilmu yang melibatkan pengamatan dan penjelasan kejadian yang terjadi di luar Bumi dan atmosfernya.
2. Cabang-cabang ilmu astronomi di antaranya:
 - a. Astrometri.
 - b. Kosmologi.
 - c. Fisika galaksi.
 - d. Astronomi ekstragalaksi.
 - e. Pembentukan galaksi dan evolusi: penelitian pembentukan galaksi, dan evolusi mereka.
 - f. Ilmu planet.
 - g. Fisika bintang.
 - h. Evolusi bintang.
 - i. Pembentukan bintang.
3. Orang zaman dahulu menganggap bahwa Bumi tidak ber-

gerak, yang bergerak adalah Matahari. Claudius Ptolomeous (100-170) berpendapat, bahwa Bumi sebagai pusat tata surya. Menurutnya Bumi diam dan Matahari berputar mengelilingi Bumi. Siang dan malam terjadi karena Matahari mengelilingi Bumi. Pendapat ini dikenal dengan **teori geosentris** (*geo* = Bumi; *sentris* = pusat). Pendapat itu bertahan hampir 1.000 tahun sampai akhirnya Nicolous Copernicus (1473-1543) membantah teori geosentris. Copernicus berpendapat bahwa sebenarnya Matahari pusat tata surya dan Bumi mengelilingi Matahari. Pendapat ini dikenal dengan **teori heliosentris** (*helio* = Matahari). Pendapat Copernicus didukung oleh John Kepler (1571-1630) dan Galileo Galilei (1564-1642). Pada 1609, Kepler menemukan ternyata elips sangat cocok dengan hasil pengamatan Tycho Brahe. Kepler tidak lagi menggunakan lingkaran sebagai lintasan benda-benda langit melainkan elips. Dia adalah ilmuwan yang menemukan teropong antariksa.

4. Perkembangan astronomi pada zaman modern sudah sangat pesat sekali. Sebagai bukti pesatnya perkembangan astronomi adalah banyaknya penemuan benda-benda luar angkasa seperti halnya planet-planet baru, asteroid, komet, serta satelit dengan menggunakan alat dari NASA.
5. Perkembangan ilmu astronomi di Indonesia sudah sejak lama dikenal oleh nenek moyang bangsa Indonesia, yaitu seperti melaut, panen, musim hujan/kemarau serta penentuan arah utara-selatan untuk melakukan tata letak bangunan bersejarah, dalam hal ini tidak sepenuhnya didukung oleh pemerintah Indonesia untuk menempatkan astronomi sebagai pengetahuan yang harus dipelajari.

2

Pandangan Manusia tentang Alam Semesta

Tujuan Instruksional:

**Mahasiswa dapat menerangkan pandangan manusia
tentang alam semesta.**

Sejak ribuan tahun yang lalu, manusia takjub dan kagum menyaksikan keindahan alam semesta yang mereka saksikan pada waktu malam dengan langit yang bertaburan penuh bintang yang bergeser tiada henti-hentinya itu, bertanya-tanya pada diri sendiri atau pada sesamanya. Apakah sesungguhnya titik-titik cahaya yang ribuan jumlahnya berada di langit, yang kemudian mereka sebut “bintang” itu? Berapa jauhkah mereka itu dari Bumi? Dan, di manakah kiranya tempat Bumi kita ini di jagat raya tersebut? Apakah Bumi itu berdiam diri saja tidak bergerak di tengah-tengah alam semesta ini?

Demikian pula manusia telah mempertanyakan bagaimana kiranya asal mula terjadinya jagat raya beserta segala isinya ini? Oleh karena tidak dapat memperoleh jawaban terhadap pertanyaan-pertanyaan seperti itu, telah diciptakan banyak mitos dan dongeng yang tidak masuk akal, baik mengenai keadaan benda-benda langit tersebut maupun mengenai kelahiran alam semesta ini.

Seiring dengan perkembangan zaman, lahirlah beberapa pandangan para ahli perbintangan untuk memecahkan rahasia-rahasia di alam semesta ini dengan berbagai hipotesis ilmiah yang ada sesuai dengan tingkat perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan saat itu.

A. Eudoxus

Dia mulai memperhitungkan gerakan peredaran bintang-bintang dan planet-planet. Bagi mata kita, bintang-bintang itu seolah bergerak sebagai kelompok-kelompok di sepanjang langit dengan arah dari timur ke barat. Ia tidak pernah melihat mereka itu bergerak berlawanan. Oleh sebab itu, bintang-bintang seperti itu disebut bintang tetap.

Di samping bintang tetap ada pula beberapa benda langit yang seperti bintang juga rupanya, di samping gerakannya yang dari timur ke barat, juga bergerak dari barat ke timur dibandingkan letaknya terhadap bintang-bintang tetap tersebut. Benda langit seperti itu disebut planet. Jadi, planet itu bergeser dengan arah yang terbalik dengan gerakan bintang-bintang tetap yang berada di latar belakangnya itu, di samping pergesarannya sehari-hari.

Eudoxus berhasil menghitung ada tujuh benda langit yang bergerak seperti itu, yaitu Matahari dan Bulan, juga Merkurius, Venus, Mars, Yupiter, dan Saturnus, dan menyebut benda itu semua “bintang beredar” ataupun planet.

Umumnya planet-planet tersebut bergerak dari barat ke timur dengan latar belakang bintang-bintang tetap tersebut. Akan tetapi, salah satu di antaranya ada yang seakan-akan pada suatu saat semakin menjadi lambat gerakannya, untuk kemudian berhenti, dan secara misterius bergerak kembali dengan arah berlawanan, jadi bergerak kembali atau bergerak “*retrograde*” untuk beberapa minggu lamanya. Kemudian secara misterius kembali lagi bergerak dengan arah seperti semula atau bergerak dengan arah “*rektogarde*”.

Untuk memecahkan gejala ini, Eudoxus menemukan jawabannya. Dia beropini memang sependapat bahwa Bumi itu tidak bergerak dan berada di tengah-tengah jagat raya. Keadaan ini memang seperti keadaan yang dapat kita saksikan dengan mata kita. Kemudian Eudoxus mempunyai pandangan (imajinasi) bahwa mengelilingi Bumi yang diam ini terdapat beberapa bola/bulatan (*sfeira*) yang transparan, yang kesemuanya berputar mengelilingi sebuah titik pusat. Semua bintang tetap yang ada itu melekat di bagian dalam dari bola kaca yang letaknya ada di bagian paling luar dan ukurannya yang paling besar pula. Dengan demikian, maka orang melihat bintang-bintang semuanya bergeser di langit, jika bola tersebut berputar mengelilingi sumbunya itu.

Pada pola “kaca” yang kedua, yang letaknya ada di bagian lebih dalam, terletak antara lain planet Saturnus, dan perputaran dari bola ini menyebabkan bergesarnya planet tersebut dengan latar belakang pola pertama tadi. Bola kaca berikutnya menyebabkan bergesarnya Jupiter, dan bola berikutnya menyebabkan bergesernya Mars, kemudian Matahari, Venus, dan sebagainya.

Sistem Eudoxus ini hanyalah sebuah teori belaka. Dia tidak pernah membuat sebuah model, karena itu keadaannya sangat ruwet. Akan tetapi, sistem ini kira-kira dapat memberi penjelasan tentang penyebab planet Mars yang kadang-kadang tampak bergerak kembali di dalam lintasannya.

B. Aristarchus

Aristarchus adalah orang pertama yang berhasil mempunyai pandangan bahwa Bumi ini hanya salah satu dari beberapa planet yang ada, yang juga berputar mengelilingi Matahari. Begitu juga dia telah mengetahui bahwa bintang-bintang di langit yang seolah-olah bergeser mengelilingi Bumi itu disebabkan Bumi berputar pada sumbunya (berotasi). Sayang ahli-ahli perbintangan pada waktu itu menolak gagasan tersebut. Pandangan orang yang dianggap betul waktu itu ialah jagat raya ini

pusatnya ialah Bumi yang berdiam diri di tengah-tengahnya.

Aristarchus berhasil mengukur jarak antara Bumi dan Matahari, kemudian maju selangkah lagi dengan pernyataannya bahwa Bumi beredar mengelilingi Matahari, dan bahwa bintang-bintang sebegitu jauh letaknya sehingga jarak Bumi-Matahari akan lenyap jika diperbandingkan padanya.

C. Hipparchus

Hipparchus telah berhasil menghitung bayangan Bumi yang jatuh pada rembulan pada waktu terjadi gerhana bulan. Selain berhasil menghitung jarak antara Bumi dan Bulan, ia juga berhasil menghitung besarnya benda langit tersebut dengan teliti.

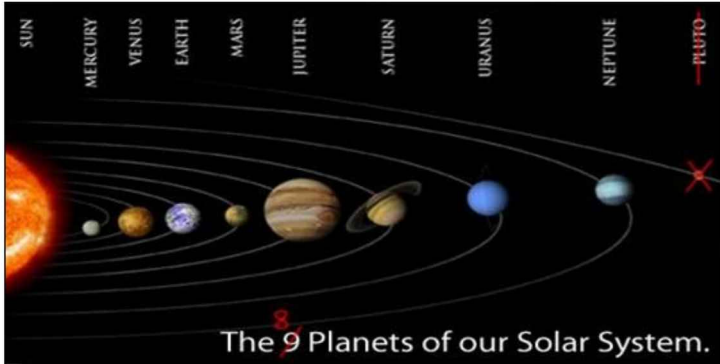
Dia telah menyusun katalog tentang 850 buah bintang yang terang serta letaknya di langit. Dengan membanding-bandingkan catatan-cacatan dari para ahli bintang sebelumnya. Hipparchus juga menemukan hal yang sangat penting bagi ilmu bintang sampai saat ini, yaitu mengenai “presisi” (gerak olengnya Bumi).

D. Claudius Ptolomeus

Claudius Ptolomeus, disebut juga Ptolemy, dia hidup di Mesir. Walaupun dia sudah mempelajari pandangan (konsep) jagat raya yang berpusat pada Matahari, dia menyokong penuh pandangan/konsep jagat raya yang berpusatkan pada Bumi (geosentris).

Menurut pandangan Ptolomeus, Bumi kita ini berada dalam keadaan diam di jagat raya (alam semesta), kemudian berturut-turut dikelilingi oleh bulan, Venus, Merkurius, Matahari, Mars, Yupiter, dan Saturnus. Ketujuh benda langit itu selalu beredar mengelilingi Bumi menjalani lintasan masing-masing yang berbentuk lingkaran, dan berturut-turut semakin jauh letaknya dari Bumi semakin besar pula bentuk lingkarannya. Semua benda langit itu terkurung oleh sebuah bola langit, di

mana pada dindingnya melekat bintang-bintang yang juga beredar mengelilingi Bumi sepanjang lingkaran yang terletak paling jauh dari padanya (lihat Gambar 2.1)



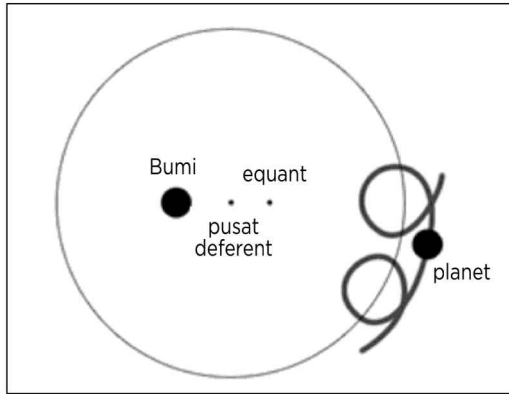
GAMBAR 2.1 Konsep Jagat Raya

Selama lebih dari 1500 tahun lamanya pandangan seperti itu menjadi pandangan manusia selama ini, dan dianggap sebagai pandangan yang paling benar. Hal ini didasarkan pada “kenyataan” yang dapat disaksikan manusia setiap hari, bahwa bintang-bintang, planet-planet, Matahari, dan bulan semuanya tampak beredar mengelilingi Bumi. Orang tidak menduga sama sekali, bahwa gerakan-gerakan itu hanya maya atau semu semua.

Kesulitan terbesar dalam model tata surya yang geosentris ini ialah beberapa planet itu secara periodik mempunyai gerakan yang berbalik di dalam lintasannya. Lintasan semu tahunan dari planet-planet ini bukan merupakan lingkaran yang sungguh-sungguh, melainkan kadang-kadang berputar-putar kembali (melukiskan lingkaran kecil) lebih dahulu untuk kemudian meneruskan menyelesaikan lintasannya tersebut.

Untuk dapat menjelaskan “gerakan kembali” dalam rangka pandangan geometris itu, perlu diterima anggapan bahwa di samping lintasan besar mengelilingi Bumi, planet-planet juga

mempunyai lintasan-lintasan yang berbentuk lingkaran-lingkaran kecil, yang di sebut *epicycles* (lihat Gambar 2).



GAMBAR 2.2 Lintasan Gerak Planet yang Berbentuk Lingkaran

Pemandangan ini kemudian terkenal dengan nama pandangan geosentris (berpusatkan pada Bumi), yaitu pandangan bahwa jagat raya (antariksa) umumnya dan khususnya susunan planet-planet di dalam tata surya ini berpusat pada Bumi, sehingga Bumi yang menjadi pusatnya. Pandangan geosentris ini terkenal juga sebagai sistem Ptolomeus atau sistem geosentrik. Pandangan ini terus menjadi pandangan manusia di dunia dan dianggap sebagai pandangan yang paling benar sampai Abad Pertengahan yang lalu.

E. Tycho brahe

Tycho berkebangsaan Denmark, banyak merancang dan membangun alat-alat astronomi yang besar yang belum pernah dibangun orang sebelumnya. Pada 1576 ia membangun sebuah observatorium dan bekerja di dalamnya selama 21 tahun. Banyak data penting tentang alam semesta yang dicatatnya ternyata sangat berfaedah untuk ilmu falak pada masa-masa kemudian. Konsep Tycho Brahe sebetulnya berusaha menggabungkan

sistem Ptolomeus dan Copernicus dengan pusat jagat raya tetap di Bumi.

F. Nicolas Copernicus

Nicolas berkebangsaan Polandia, pada 1543 untuk pertama kalinya menemukan *teori heliosentris* (berpusatkan pada Matahari), karena itu juga disebut sebagai sistem Copernicus. Di dalam sistem heliosentris ini bintang-bintang masih dianggap melekat pada sebuah bola langit, dan beredar mengelilingi Matahari. Antara Matahari (yang berada di pusat) dan bintang-bintang tersebut terletak planet-planet (termasuk Bumi) yang selalu beredar mengelilinginya sepanjang lintasan-lintasan, yang masing-masing berbentuk lingkaran.

Sistem Copernicus ini lebih sederhana daripada teori Ptolomeus dengan gerakan-gerakan *epicycles* dari planet-planet yang rumit itu. Nicolas sangat berhati-hati mengemukakan keyakinannya, bahwa bukan Bumi yang dikelilingi oleh Matahari, tetapi sebaliknya.

Gerakan membalik dari planet-planet (yang semu) itu oleh teori Copernicus ini dapat diterangkan, karena kecepatan bergerak planet-planet dan Bumi dalam mengelilingi Matahari masing-masing tidaklah sama. Lebih lanjut Nicolas mengemukakan dua hal yang kemudian terkenal sebagai *hukum Copernicus*, yaitu:

- 1) Bumi berputar mengelilingi sumbunya sekali sehari.
- 2) Bumi mengelilingi Matahari sekali dalam setahun.

Ternyata kemudian, bahwa ada dua kesalahan besar terdapat pada teori Copernicus ini, yaitu:

- 1) Bintang-bintang tidak beredar mengelilingi matahari.
- 2) Lintasan planet-planet bukan berbentuk lingkaran.

Dengan Matahari di pusat susunan, beredarlah padanya sejarah-sejarah di antaranya Bumi, melalui lingkaran-lingkaran yang berturut-turut makin besar jari-jarinya. Bumi berputar

pada sumbunya, sedang bulan mengelilingi bulan dalam waktu $27\frac{1}{2}$ hari. Ia menulis pendapatnya dalam enam buku yang berjudul: *Nicolai copernici torinensis de revolutionibus orbium coelestium libri VI* (enam buku tentang peradaban benda-benda langit oleh Nicolas Copernicus dari Thorn). Semenjak 1550 berdampingan kedua anggapan Ptolomeus dan Copernicus sampai akhir abad ke-18. Berkat hasil penyelidikan tiga sarjana Galilei, Thyco Brahe, dan Kepler persaingan antara kedua kosmologi itu berakhir dengan keunggulan kosmologi itu berakhir dengan keunggulan kosmologi Nicolas Copernicus.

G. Galileo Galilei

Ia berkebangsaan Italia, yang berhasil membuktikan kebenaran teori Copernicus. Galilei adalah orang pertama yang mendapatkan hukum “jatuh bebas” di antara benda-benda. Dia pula yang pertama-tama menemukan dan membuat teropong pada 1609. Dengan teropong ini ia dapat melihat pegunungan-pegunungan dan jurang-jurang di Bulan, bintang-bintang di permukaan Matahari, rupa-rupa semu Venus, cincin sekeliling Saturnus, dan Matahari dengan bintang-bintangnya.

Sungguhpun sudah jelas keterangan Galilei ini, akan tetapi gereja masih juga belum mau mengakui kebenarannya. Bahkan Galilei diajukan ke hadapan mahkamah gereja, yang kemudian menyalahkan pendapatnya yang baru itu. Kemudian Galilei dinyatakan bersalah dan diperintah untuk menarik kembali teorinya. Dan larangan untuk mengedarkan buku-bukunya. Kira-kira 1965 nama Galilei direhabilitasikan oleh gereja.

H. Johannes Kepler

Johannes Kepler, seorang berkebangsaan Jerman sependapat dengan Galilei dan penganut Copernicus yang terkemuka. Kepler berhasil menyusun hukum terkenal dengan nama “ketiga hukum Kepler” yang kemudian menjadi dasar-dasar ilmu kinematika.

Kepler mengerjakan tiga hukum yang berhubungan dengan orbit-orbit berbagai planet. Dengan mempelajari secara teliti catatan Brahe yang banyak sekali tentang Mars melalui jalan yang berbentuk elips, bukan berbentuk lingkaran. Hukum pertama Kepler tentang gerak planet menyatakan bahwa sebuah planet bergerak dalam suatu elips dengan Matahari pada satu fokusnya.

Hukum kedua Kepler menerangkan variasi kecepatan sebuah planet dalam orbitnya. Apabila suatu planet berada paling dekat dari Matahari, maka geraknya paling cepat. Apabila planet berada paling jauh dari Matahari, maka geraknya paling lambat. Kepler mendekati gagasan tanpa mengumumkannya secara tegas.

Hukum ketiga Kepler menerangkan tentang jarak suatu planet dari Matahari dengan periodenya. Suatu periode planet adalah waktu yang diperlukan suatu planet untuk melakukan satu kali putaran mengelilingi Matahari. Hukum ini menyatakan bahwa:

$$(T^2) = (R^3)$$

Keterangan T = Periode
R = jarak

I. Isaac Newton

Newton menemukan bahwa gerakan-gerakan planet (termasuk Bumi) mengelilingi Matahari itu disebabkan oleh adanya gaya tarik-menarik yang umum terdapat pada semua benda jagat raya. (Hukum Gravitasi Universal = *The Law of Universal Gravitation*). Menurut hukum ini: “Setiap dua buah benda di jagat raya (yang berdekatan) satu dengan yang lain akan saling tarik-menarik.” Semakin padat/berat benda tersebut, semakin kuatlah gaya tariknya terhadap yang lain. Hukum ini juga mengatakan bahwa, “semakin dekat jarak di antara kedua benda tersebut, akan semakin kuat pula gaya tariknya.

Hukum ini biasanya dinyatakan sebagai berikut: “Antara dua buah benda mempunyai massa masing-masing m_1 dan m_2 dan berjarak r , satu dengan yang lain saling tarik-menarik dengan gaya yang berbanding lurus dengan massanya, dan berbanding terbalik dengan pangkat dua arah jaraknya (r^2). Atau, dirumuskan akan menjadi:

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Harga G dalam sistem MKS ialah $6,67 \times 10^{-11}$.

Gaya tarik ini pula yang menarik semua benda yang berada di permukaan Bumi. Benda yang dilempar ke atas akan ditarik oleh Bumi karena adanya gaya tarik atau gaya berat (gravitasi) ini. Begitulah “gaya misterius” yang oleh Kepler disangka ada dan yang menyatukan seluruh jagat raya ini ternyata adalah gaya gravitasi ini. Teori-teori Newton tentang gerak dan gravitasi ini telah diterbitkan dalam buku yang berjudul *Principia*, yang diterbitkan pada 1687 dan merupakan karya tulis yang sangat penting dalam dunia pengetahuan.

J. William Herchel

Ia Astronom asal Inggris yang telah membuat teleskop dan dengan alat ini ia berhasil menemukan planet Uranus. Perhatiannya cukup besar kepada gerakan bintang-bintang dan keadaan bintang, dan keadaan bintang/Kabut Sakti (Milky Way). 1780-an Herchel mulai menghitung jumlah bintang di langit dengan menggunakan metode yang dinamakan “*star gauges*” (perhitungan bintang). Teleskop reflektungnya ternyata berhasil melihat jutaan bintang.

Setelah mempelajari data tersebut, ia mengambil kesimpulan bahwa Matahari itu sesungguhnya tidak terletak di tengah-tengah (pusat) jagat raya. Matahari juga bergeser di antariksa,

sehingga menyebabkan bintang-bintang yang lain juga tampak bergeser tempatnya (posisinya). Arah pergeseran Matahari di Antariksa ini menurut dia menuju ke suatu titik yang dia sebut “*titik apek*”. Ia juga mengatakan bahwa Bima Sakti (*Milky Way*) itu berwujud seperti gumpalan debu raksasa (*powder puff*), tempat Matahari terletak di dekat titik pusatnya.

K. Harlow Shapley

Ia menyatakan bahwa yang menjadi pusat sistem *Milky Way* ini berada di dekat rasi bintang Sagitarius, langit sangat padat ditempati oleh bintang-bintang. Ia juga mencatat terdapat tumpuk-tumpuk bintang yang berbentuk bulatan (bola yang disebut “*globular cluster*,” tumpuk bintang berbentuk bola). Dia menentukan beberapa lusin tumpuk bintang seperti ini di sekitar rasi Sagitarius, dan hanya beberapa saja di daerah-daerah yang bertentangan letaknya, yaitu kira-kira di dekat rasi bintang Auragia. Dia berkesimpulan bahwa tumpuk-tumpuk bintang seperti itu banyak terdapat mengitari pusat dari sistem bintang kita ini, dan memastikan bahwa Matahari kita ini di dekat tepi *Milky Way*.

L. Edwin P. Hubble

Ia menemukan bahwa jagat raya ini ternyata jauh lebih besar (luas) dari apa yang pernah dibayangkan, baik oleh Herchel maupun Shapley. Di antara bintang-bintang itu di sana-sini ternyata banyak ditemukan kabut gas tipis yang kecil-kecil. Menurut Hubble, benda-benda langit itu adalah sistem-sistem bintang lain, seperti sistem bintang kita sendiri. Seperti Herchel, Hubble menamakan galaksi-galaksi. Salah satu di antaranya galaksi kita atau *Galaxy Milky Way* atau *Galaksy Bima Sakti*. Galaksi yang lain itu menurut Hubble terletak sangat jauh dari galaksi kita, dan disebutnya galaksi-galaksi eksternal.

Jembatan Keledai

No.	Nama	Singkatan	Jembatan Keledai
1.	Eudoxus	Ed	Emang, Asyik, Hiburan, Cuman, Tidak, Nongol, Gerakan, Jumpa, Itu, Walau, Hanya, Edukasi
2.	Aristarchus	At	
3.	Hipparchus	Hp	
4.	Claudius Ptolemeus	CP	
5.	Tycho Brahe	TB	
6.	Nicolas Copernicus	NC	
7.	Galileo Galilei	GG	
8.	Johannes Kepler	JK	
9.	Isaac Newton	IN	
10.	William Herchel	WH	
11.	Harlow Shapley	HS	
12.	Edwin P. Hubble	EPH	

Kasus Nyata

Pandangan manusia tentang alam semesta sangat beragam, pendapat beberapa orang ahli telah membuat khazanah dalam ilmu pengetahuan, yaitu bagaimana fenomena atau kasus-kasus mengenai planet-planet tersebut dimulai dari hal yang mikroskopik sehingga menjadi makroskopik merupakan suatu hal yang sangat kompleks untuk dipelajari, untuk memahami tentang cara pandang tentang para ahli tentu haruslah membaca pola pikir dari para ahli, pandangan para ahli tersebut tidaklah sama sesuai dengan tingkatan dan spesifik pengetahuan dan perkembangan pengetahuan yang dimiliki dari zaman, ke zaman. Semakin bertambah zaman maka ilmu pengetahuan juga akan berkembang.

Studi Kasus

Dari beberapa teori yang telah dipaparkan oleh para ahli, tentulah kita harus memiliki pandangan yang pasti tentang teori-teori tersebut dimulai dari Eudoxus hingga kepada pendapat Edwin P. Hubble, kalau kita pelajari lebih lanjut tentulah kita menemukan suatu kebenaran dari suatu teori yang dipaparkan. Teori-teori tersebut memaparkan tentang pergerakan dari benda-benda di alam semesta, kajian yang sering dibahas adalah pergerakan planet-planet yaitu Bumi dan pergerakan dari Matahari terhadap planet-planet lain.

Rangkuman

Pandangan manusia tentang alam semesta sangatlah beragam, yaitu:

1. Eudoxus
Eudoxus berhasil menghitung ada tujuh benda langit yang bergerak, yaitu Matahari dan Bulan, juga Merkurius, Venus, Mars, Jupiter, dan Saturnus, dan menyebut benda itu semua “bintang beredar” ataupun planet.
2. Aristarchus
Aristarchus adalah orang pertama yang berhasil mempunyai pandangan bahwa Bumi ini hanya salah satu dari beberapa planet yang ada, yang juga berputar mengelilingi Matahari. Pandangan orang yang dianggap betul waktu itu ialah jagat raya ini pusatnya ialah Bumi yang berdiam diri di tengahnya.
3. Hipparchus
Hipparchus telah berhasil menghitung bayangan Bumi yang jatuh pada rembulan pada waktu terjadi gerhana Bulan.
4. Claudius Ptolomeus
Menurut pandangan Ptolomeus, Bumi kita ini berada dalam keadaan diam di jagat raya (alam semesta), kemudian berturut-turut di kelilingi oleh Bulan, Venus, Merkurius, Ma-

tahari, Mars, Yupiter dan Saturnus. Pandangan geosentris ini terkenal juga sebagai sistem Ptolomeus atau sistem geosentrik.

5. Tycho Brahe

Konsep Tycho Brahe sebetulnya berusaha menggabungkan sistem Ptolomeus dan Copernicus dengan pusat jagat raya tetap di Bumi.

6. Nicolas Copernicus

Nicolas berkebangsaan Polandia, pada 1543 untuk pertama kalinya menemukan *teori heliosentris* (berpusatkan pada Matahari), karena itu juga disebut sebagai sistem Copernicus. Di dalam sistem heliosentris ini bintang-bintang masih dianggap melekat pada sebuah bola langit, dan beredar mengelilingi Matahari.

7. Galileo Galilei

Ia berkebangsaan Italia yang berhasil membuktikan kebenaran teori Copernicus. Galilei adalah orang pertama yang mendapatkan hukum “jatuh bebas” di antara benda-benda.

8. Johannes Kepler

Johannes Kepler, seorang berkebangsaan Jerman sepemahaman dengan Galilei dan penganut Copernicus yang terkemuka. Kepler berhasil menyusun hukum terkenal dengan nama “ketiga hukum Kepler” yang kemudian menjadi dasar ilmu kinematika.

a. Hukum 1 Kepler

Tentang gerak planet menyatakan bahwa sebuah planet bergerak dalam suatu elips dengan Matahari pada satu fokusnya.

b. Hukum 2 Kepler

Menerangkan variasi kecepatan sebuah planet dalam orbitnya. Apabila suatu planet berada paling dekat dari Matahari, maka geraknya paling cepat. Apabila planet berada paling jauh dari Matahari, maka geraknya paling lambat.

- c. Hukum 3 Kepler
menerangkan tentang jarak suatu planet dari Matahari dengan periodenya.
9. Isaac Newton
Newton menemukan bahwa gerakan-gerakan planet (termasuk Bumi) mengelilingi Matahari itu disebabkan oleh adanya gaya tarik-menarik yang umum terdapat pada semua benda jagat raya. (Hukum Gravitasi Universal = *The Law of Universal Gravitation*).
10. William Herchel
Pada 1780-an Herchel mulai menghitung jumlah bintang di langit dengan menggunakan metode yang dinamakan "*star gauges*" (perhitungan bintang). Teleskop reflektungnya ternyata berhasil melihat jutaan bintang. Setelah mempelajari data tersebut, ia mengambil kesimpulan bahwa Matahari itu sesungguhnya tidak terletak di tengah-tengah (pusat) jagat raya.
11. Harlow Shapley
Ia menyatakan bahwa yang menjadi pusat sistem *Milky Way* ini berada di dekat rasi bintang agitaris, langit sangat pekat ditempati oleh bintang-bintang.
12. Edwin P. Hubble
Menurut Hubble benda-benda langit itu adalah sistem-sistem bintang lain, seperti sistem bintang kita sendiri. Seperti Herchel, Hubble menamakan galaksi-galaksi. Salah satu di antaranya galaksi kita atau *Galaxy Milky Way* atau *Galaksi Bima Sakti*.

3

Teori Pembentukan Tata Surya

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat menjelaskan teori pembentukan tata surya.

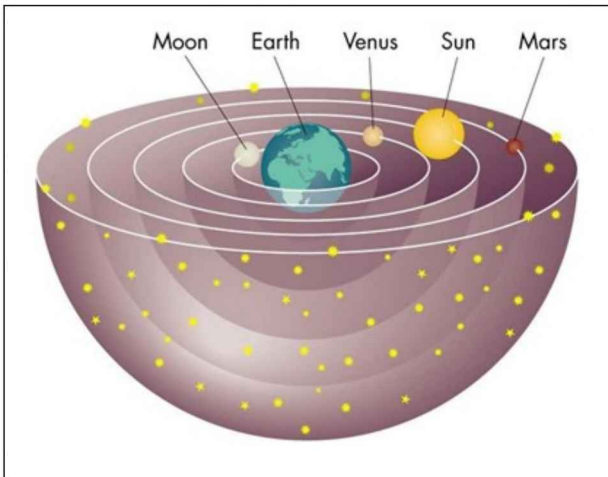
A. Perkembangan Konsep Tata Surya

Sudah sejak lama, beberapa bangsa, seperti Mesir, Babilonia, China, dan Yunani, secara teliti mengamati benda-benda langit dan pergerakannya. Bangsa Yunani mengamati bahwa di langit ada benda-benda yang kelihatan bergerak relatif terhadap bintang-bintang. Mereka menamakan benda-benda langit ini sebagai *planeten*, yang berarti “pengelana”. Inilah yang sekarang kita kenal sebagai planet-planet mulai dari Merkurius sampai Jupiter.

Dari bangsa Yunani pula berkembang konsep-konsep kosmologi (paham tentang struktur alam semesta) yang bersifat rasional dan tidak diselubungi hal-hal yang berbau mitologis. Tokoh yang pertama mengembangkan kosmologis semacam ini adalah Thales dari Miletus yang sering disebut sebagai filsuf Yunani dan Astronomi pertama. Thales berhasil mengembangkan metoda survei dan trigonometri yang dipelajari dari bangsa Babilonia dan Mesir. Metode ini kemudian diterapkan untuk

benda-benda langit.

Thales juga menjadi orang pertama yang berupaya memberikan gambaran tentang alam semesta tanpa memasukkan hal-hal yang bersifat supernatural. Thales melihat bahwa air memiliki tiga tingkat wujud, yaitu padat, cair, dan gas. Kemudian, ia mengusulkan bahwa segala sesuatu yang ada di alam semesta itu tersusun dari air dalam berbagai tingkat wujudnya. Diusulkan pula bahwa alam semesta adalah sebuah bola air raksasa tempat Bumi berada di dalam gelembung. Bumi menggambang di atas permukaan air, dan di atas Bumi, terdapat sekumpulan air yang menjadi sumber datangnya hujan yang menimpa Bumi. Benda-benda langit melayang di dalam air alam semesta dan bergerak sebagaimana ditunjukkan oleh pengamatan.



GAMBAR 3.1 Konsep Tata Surya

Tokoh lain yang penting setelah Thales adalah Phytagoras, dialah yang pertama kali mengembangkan gagasan bahwa alam semesta mengikuti hukum-hukum yang bersifat kuantitatif. Phytagoras menyatakan bahwa masing-masing benda langit, yakni Bulan, Matahari, Bumi, dan planet-planet, terletak pada

bola-bola konsentris (sepusat) yang berputar mengitari pusat alam semesta (api pusat).

Menurut Phytagoras, keberaturan alam semesta mirip dengan keberaturan tangga nada pada dawai lira. Bahwa ia berpendirian, bahwa seluruh benda ini dalam pergerakannya mendengungkan nada-nada yang hanya dapat didengarkan orang-orang tertentu. Keteraturan dalam hal ini keteraturan numerik seperti pada perbandingan panjang dawai lira—merupakan prinsip utama yang mendasari konsep alam semesta Phytagoras. Inilah sumbangan terbesar Phytagoras, karena sebelum dia pemahaman manusia tentang alam selalu diselubungi mitologi. Bahkan sampai sekarang pun beberapa ahli kosmologi masih berpendirian seperti Phytagoras. Mereka melihat adanya keteraturan numerik dalam alam yang masih belum mampu dipahami. Pendapat ini muncul setelah mereka mendapatkan beberapa “kebetulan” dalam hubungan-hubungan beberapa besaran dasar di alam.

Setelah Phytagoras, tokoh-tokoh lain yang berperan dalam perkembangan kosmologi Yunani Kuno adalah Plato, Eudoxus, dan Aristoteles. Plato berpendapat bahwa lingkaran dan bola adalah bentuk geometri paling sempurna. Oleh sebab itu, ia berpendirian bahwa semua benda langit bergerak dalam lintasan berbentuk lingkaran, karena mereka semua diciptakan oleh makhluk paling sempurna, Tuhan. Menurutnya, semua benda langit bergerak mengitari Bumi yang bulat dalam lintasan berbentuk lingkaran.

Seorang murid Plato, Eudoxus, mulai mengembangkan teorinya berdasarkan pengamatan benda-benda langit. Mungkin dialah orang yang pertama kali membuat teori tentang alam semesta berdasarkan data pengamatan, bukan hanya spekulasi intelektual belaka. Menurut Eudoxus, setiap planet terletak pada bola-bola konsentris, dan pergerakan planet disebabkan rotasi bola-bola ini. Karena laju rotasi dan kedudukan sumbu rotasi bola-bola ini berbeda-beda, efeknya adalah pergerakan planet

sebagaimana diamati Eudoxus, misalnya gerak *retrograde* (gerak maju mundur) Mars.

Setelah Eudoxus, tokoh besar dalam kosmologi Yunani Kuno adalah Aristoteles. Tokoh ini mengembangkan gagasan Eudoxus lebih jauh. Ia berpendirian bahwa Bumi merupakan pusat alam semesta dan menjadi titik pusat peredaran benda-benda langit, seperti Matahari, Bulan, dan planet-planet.

Aristoteles yang hidup sekitar tahun 350 SM mengatakan, bahwa alam semesta terdiri dari 55 buah bola sepusat, dan setiap bola menjadi kedudukan satu benda langit. Bola-bola ini masing-masing berputar dengan kecepatan yang berbeda sehingga kadang-kadang ada yang kelihatan bergerak mundur untuk kemudian maju lagi seperti yang diamati pada Mars (gerak *retrograde*) yang sebenarnya diakibatkan oleh kedudukan orbit Mars yang terletak di luar orbit Bumi. Bola terluar dari ke 55 buah bola ini merupakan tempat kedudukan bintang yang tetap diam. Di luar sistem bola, terdapat penggerak utama sistem semesta, yang menurut Aristoteles dinamakan *primum mobile*.

Sekitar tahun 140 SM, muncul teori lain tentang susunan dan struktur alam semesta. Teori ini, seperti teori Aristoteles, juga meletakkan Bumi di pusat alam semesta dan diusulkan oleh Claudius Ptolomeus yang bersal dari Alexandria di Mesir. Teori Ptolomeus ini pertama-tama dibuat untuk menjelaskan adanya gerak *retrograde* planet. Ptolomeus menjelaskan, konsepnya dalam buku berjudul *Almagest*. Ia menjelaskan bahwa semua benda langit bergerak melingkari sebuah titik, dan lintasan benda ini disebut episikel (*epicycle*). Episikel bergerak dalam lingkaran lebih besar yang disebut *deferent*. Bumi bukan pusat *deferent*, melainkan terletak tidak terlalu jauh dari pusat *deferent*, yakni pada titik yang disebut *equant*.

Hipotesis Ptolomeus ini bertahan cukup lama dan dianggap sebagai model standar alam semesta selama hampir 15 abad. Hal ini tidak terlalu mengherankan, karena sesuai pengamatan sekilas yang dilakukan manusia. Selain itu, juga memuaskan ego

manusia karena Bumi diletakkan pada pusat alam semesta. Ini mengisyaratkan bahwa manusia adalah pusat alam semesta.

Selain hipotesis Aristoteles dan Ptolomeus, ada hipotesis lain tentang alam semesta yang diusulkan oleh Aristarchus dari Samos. Menurut Aristarchus, pusat alam semesta bukan Bumi, melainkan Matahari. Bumi hanyalah salah satu dari beberapa planet yang mengitari Matahari dalam orbit yang berbentuk lingkaran. Namun hipotesis Aristarchus ditolak oleh Aristoteles dan Ptolomeus yang tetap berpegang pada hipotesis geosentris. Hipotesis geosentris mampu bertahan sampai belasan abad.

Pada abad ke-15, terjadilah revolusi besar dalam teori tentang tata surya seperti yang diusulkan oleh Nicolaus Copernicus (1473-1543). Copernicus, seperti Aristarchus, mengusulkan bahwa semua benda langit, termasuk Bumi, bergerak mengitari Matahari dalam orbit yang berbentuk lingkaran. Teori heliosentris (*helio* berarti Matahari) ini dituangkan pada 1543 dalam bukunya *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Copernicus melihat bahwa teori Ptolomeus terlalu mengada-ada dan terlalu rumit. Ia tidak percaya bahwa Tuhan menciptakan alam semesta dan sengaja menjadikannya sedemikian rumit.

Teori heliosentris Copernicus ini cukup mengejutkan dunia ilmiah Eropa pada saat itu, seiring dengan reformasi yang sedang berjalan. Pada 1616, gereja Katolik bereaksi keras lalu memasukkan buku Copernicus ke dalam *index*, yakni daftar buku-buku terlarang karena dianggap menghujat. Larangan ini baru dicabut pada 1835.

Meskipun teori Copernicus mendapat banyak tantangan, terutama dari gereja Katolik, banyak ilmuwan semakin berusaha mempelajari dan menggunakannya sebagai landasan pemikiran ilmiah tentang alam semesta. Di antaranya Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei, dan Giordano Bruno. Mereka mendapati bahwa teori heliosentris Copernicus jauh lebih rasional dan lebih cocok dengan pengamatan dibandingkan teori-teori geosentris sebelumnya. Meskipun demikian, teori

Copernicus masih mengandung beberapa kesalahan. Berbeda dengan yang diusulkan Copernicus, ternyata bentuk orbit planet berbentuk elips, laju orbit planet tidak selalu tetap, dan Matahari bukanlah pusat alam semesta. Apa pun kekurangan teori heliosentris, Copernicus tetap dianggap sebagai tonggak awal perkembangan astronomi modern.

Setelah Copernicus, tokoh-tokoh lain yang sangat berjasa dalam perkembangan dunia astronomi, antara lain Thyco Brahe dan Johannes Kepler. Thyco adalah seorang bangsawan Kerajaan Denmark yang memiliki sebuah observatorium. Di situ, ia bekerja bersama dengan asistennya yang bernama Johannes Kepler. Brahe adalah seorang pengamat yang sangat rajin dan teliti dibandingkan Copernicus.

Hasil-hasil pengamatan Brahe dan teori heliosentris Copernicus dipakai Kepler untuk membuat hipotesis tentang pergerakan planet-planet. Ia berhasil merumuskan hukum-hukum empiris tentang pergerakan planet, yang kemudian dikenal dengan nama hukum-hukum Kepler. Berdasarkan hukum-hukum Kepler ini, Sir Isaac Newton kemudian merumuskan ketiga hukum tentang mekanika dan hukum gravitasi yang dituangkannya dalam buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

B. Hukum-hukum Kepler tentang Pergerakan Planet

Untuk memahami hukum-hukum Kepler, perlu terlebih dahulu memperhatikan lintasan orbit benda langit yang bentuknya secara umum dinyatakan dalam irisan kerucut. Sebuah bidang datar dapat kita iriskan pada sebuah kerucut lingkaran tegak. Hasil irisan kerucut dengan bidang datar ini bermacam-macam, tergantung pada arah isinya: berbentuk lingkaran, elips, parabola, atau hiperbola. Jika arah irisan sejajar alas, hasil irisannya adalah lingkaran. Sebuah elips akan diperoleh jika arah irisan tidak sejajar alasnya. Jika irisan sejajar sisi miringnya dan memotong alasnya, terbentuklah parabola. Sebuah hiperbola

akan terbentuk jika irisannya memotong alas secara tegak lurus.

Sebagian besar objek tata surya bergerak dalam lintasan yang berbentuk elips, kecuali komet yang memiliki bentuk lintasan hiperbola atau parabola. Elips adalah sebuah geometri yang memiliki kelonjongan tertentu. Pada sebuah elips, terdapat dua buah sumbu yang dinamakan *sumbu panjang* dan *sumbu pendek*. Pada sumbu panjang elips, terdapat dua buah titik yang dinamakan *titik api elips*. Jarak kedua titik api ini menentukan kelonjongan elips atau eksentrisitasnya. Semakin besar jaraknya, semakin eksentrik elips tersebut. Jika kedua titik api berimpit, elips memiliki eksentrisitas 0 (nol) atau sama dengan lingkaran. Jika titik api kedua terletak jauh tak berhingga, bentuk yang muncul adalah parabola atau hiperbola.

Kepler merumuskan ketiga hukumnya secara empiris berdasarkan pengamatan-pengamatan pada pergerakan planet, yang dilakukan bersama Tycho Brahe dengan menggunakan hipotesis heliosentris Copernicus.

Hukum-hukum Kepler ini ternyata tidak hanya cocok untuk orbit planet yang mengelilingi Matahari, tetapi juga untuk orbit satelit-satelit planet yang bergerak mengelilingi planet induknya, juga untuk orbit bintang ganda. Oleh sebab itu, hukum Kepler ketiga ini sangat berguna untuk menentukan massa satelit sebuah planet atau sebuah bintang anggota pasangan bintang ganda.

C. Tata Surya dan Planet-planetnya

Dengan melihat orbit planet dari Bumi, planet dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu *planet inferior* dan *planet superior*. Planet inferior adalah planet-planet yang orbitnya terletak di sebelah dalam orbit Bumi, yaitu Merkurius dan Venus. Planet superior adalah planet yang orbitnya terletak di sebelah luar orbit Bumi, yaitu Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, dan Pluto.

Dalam orbitnya mengelilingi Matahari, planet-planet inferior tampak berpindah-pindah kedudukannya dilihat dari Bumi. Ini disebabkan konfigurasi planet, Bumi, dan Matahari yang selalu berubah. Sudut yang dibentuk oleh posisi planet terhadap Matahari dan Bumi disebut *sudut elongasi*. Untuk planet inferior, pada saat elongasi nol dan planet berada di antara Matahari dan Bumi, planet dikatakan berada dalam kedudukan konjungsi bawah. Setelah mencapai kedudukan ini, planet bergerak ke barat dan sudut yang dibentuk adalah sudut elongasi barat. Dengan berjalannya waktu, sudut elongasi planet bertambah besar sampai mencapai suatu harga maksimum; membentuk sudut elongasi barat maksimum. Setelah mencapai harga maksimum, sudut elongasi mengecil lagi sampai menjadi nol.

Pada kedudukan ini, planet dikatakan berada dalam kedudukan *konjungsi atas*. Setelah posisi ini dicapai, planet bergerak ke timur dan memiliki sudut elongasi timur lalu mencapai suatu harga maksimum; membentuk sudut elongasi timur maksimum. Setelah kedudukan ini dicapai, sudut elongasi mengecil lagi dan akhirnya planet sampai pada kedudukannya konjungsi bawah lagi. Waktu yang diperlukan planet untuk mencapai dua kedudukan serupa berturut-turut dinamakan periode sinodis.

Untuk planet superior, keadaannya sedikit berbeda. Karena orbit planet superior terletak di luar orbit Bumi, kedudukan pada sudut elongasi nol hanya dicapai sekali saja, yaitu pada saat konjungsi. Setelah kedudukan ini dicapai, sudut elongasi bertambah besar sampai berharga 90° , dan dalam kedudukan ini, planet dikatakan berada dalam *kuadratur timur*. Pada sudut elongasi 180° , setelah kuadratur timur dicapai, planet superior ini dikatakan berada dalam kedudukan *oposisi*. Setelah oposisi dicapai, planet bergerak terus sampai pada kedudukan kuadratur barat lagi.

D. Dimensi Tata Surya

Tata surya kita adalah suatu kelompok benda langit, yaitu Matahari dan planet-planetnya yang terdiri dari Merkurius, Venus, Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus beserta 165 buah satelit planet yang sudah diketahui sampai sekarang, serta objek-objek tata surya lainnya, seperti asteroid, planet katai, meteoroid, planetoid, komet, dan debu antarplanet, yang bergerak mengikuti hukum-hukum dinamika Newton.

Dilihat dari massa serta ukuran benda langit dan anggotanya, tata surya didominasi oleh Matahari, karena massa seluruh planet hanya 0,0014 kali massa Matahari. Selain itu, jarak antarplanet dan jarak planet-planet dengan Matahari sangat besar jika dibandingkan ukuran planet-planet ini.

Untuk memberikan gambaran mengenai dimensi tata surya dalam perspektif, ukuran tata surya dikecilkan 700.000 kali sehingga Matahari hanya berjari-jari sekitar 1 km. Dalam skala ini, ukuran tata surya dibandingkan dengan ukuran Indonesia. Seandainya Matahari kita letakkan di Sabang, Merkurius hanya menjadi sebuah bola yang berjari-jari 3,5 m, dan orbitnya terletak sejarak dengan sigli. Venus berjari-jari 8,6 m, dan orbitnya terletak 1,5 kali lebih jauh, yaitu di sekitar Bireuen. Orbit Bumi yang berjari-jari kira-kira sama dengan Venus terletak sejarak dengan Takengon, dan pada jarak sejauh Pangkalan Brandan terletak Mars yang berdiameter 4,8 m. Pada jarak yang lebih jauh terletak planet-planet besar. Orbit Yupiter yang berjari-jari 100 m terletak pada jarak Bangko di Jambi. Saturnus yang diameternya sedikit lebih kecil dari Yupiter orbitnya terletak sejarak dengan Yogyakarta. Uranus dan Neptunus yang jari-jarinya sekitar 35 m orbitnya masing-masing terletak sejarak dengan Manokwari dan Port Moresby.

E. Hukum Titius-Bode

Planet-planet yang mengorbit Matahari terpisah pada jarak

yang jauh satu sama lain. Pada 1706, dua orang Jerman bernama Titius dan Bode, setelah memperoleh informasi tentang jarak planet, mencoba membuat hukum empiris yang dipakai sebagai rumus jarak planet dari Matahari. Menurut mereka, hukum ini berbentuk:

$$D = 0,4 + 0,3 \times 2^n$$

D adalah jarak planet dari Matahari diukur dalam satuan astronomi (SA). Satu satuan astronomi adalah jarak rata-rata Bumi-Matahari, yaitu sebesar 150 juta km. Harga n bergerak dari $-\infty$ untuk Merkurius, 0 untuk Venus, dan bertambah dengan satu untuk planet-planet berikutnya.

Hukum Titius-Bode ini ternyata tidak terlalu besar kesalahannya sampai Uranus. Untuk Neptunus kesalahannya cukup besar, yaitu 22 persen. Untuk Pluto, kesalahannya lebih besar lagi, yaitu 49 persen. Untuk $n = 3$, D tidak menunjuk suatu planet, melainkan sabuk asteroid. Mungkin asteroid ini sebenarnya terdiri dari bahan-bahan pembentuk planet yang tidak sempat membentuk planet.

F. Pembentukan Tata Surya

Seperti telah ditunjukkan pada bahasan tentang hukum-hukum Kepler, semua planet bergerak mengelilingi Matahari dalam orbit yang membentuk elips, dengan Matahari terletak di salah satu titik apinya. Meskipun orbit eksentrisitasnya sangat kecil, sehingga bentuknya sangat mirip lingkaran. Sebagai contoh, Venus memiliki eksentrisitas orbit 0,0068, Neptunus memiliki eksentrisitas 0,010, dan sebagainya.

Orbit planet-planet yang berbentuk elips menyebabkan jarak planet ke Matahari selalu berubah. Suatu saat, planet bisa mencapai titik terdekatnya dengan Matahari, disebut *titik perihelio*, dan kemudian planet juga bisa mencapai titik terjauhnya, disebut *titik aphelion*. Orbit Bumi mengelilingi Matahari terletak pada satu bidang yang dinamakan *bidang ekliptika*. Orbit pla-

net-planet lain juga terletak pada satu bidang dan hampir berimpit dengan eliptika. Sebagai contoh, orbit Merkurius memiliki kemiringan terhadap eliptika sebesar 7° , dan bidang orbit planet-planet lain membentuk sudut kurang dari 4° .

Dilihat dari komposisinya, planet-planet di tata surya dibagi menjadi dua jenis, yaitu planet-planet *terstrial* atau planet keBumian dan planet-planet *jovian*. Disebut *terstrial* (berasal dari kata *terra* yang berarti Bumi) karena komposisi bahan-bahan penyusun planet segolongan dengan komposisi bahan penyusun Bumi. Disebut *Jovian* karena komposisi bahan-bahan penyusunannya mirip Yupiter (dalam bahasa Latin, Yupiter disebut *lovis*). Planet-planet Terrestrial adalah Merkurius, Venus, dan Bumi. Planet-planet ini didominasi oleh batuan silikat, memiliki massa jenis sekitar 5 kali massa jenis air, dan ukurannya tidak terlalu besar.

Planet-planet Jovian merupakan planet-planet besar, yaitu Yupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus. Planet-planet Jovian ini memiliki rapat massa yang tidak terlalu besar, bahkan Saturnus bisa mengambang di atas permukaan air. Planet-planet Jovian ini didominasi oleh unsur-unsur ringan seperti hidrogen dan helium. Hal lain yang menarik dari planet-planet ini adalah banyaknya satelit yang dimiliki oleh masing-masing planet dan cincin yang mengelilingi mereka.

Sebelum tahun 2006, Pluto adalah sebuah planet yang dianggap setara dengan delapan planet lainnya. Akan tetapi, dengan semakin berkembangnya teleskop yang mampu mengamati objek-objek yang sangat lemah, para astronom menemukan adanya objek-objek mirip Pluto yang terletak di seberang Neptunus, dan kemudian diberi nama objek *transneptunian*.

Berdasarkan pertimbangan ini, pada saat berlangsungnya *general assembly international astronomical union* di Praha pada bulan Agustus 2006, para astronom memutuskan untuk mengeluarkan Pluto dari planet yang kedudukannya sama dengan planet lainnya. Mereka menyatakan bahwa Pluto bukan

lagi planet seperti delapan planet lainnya, melainkan suatu planet kecil. Yang termasuk planet kecil adalah asteroid Ceres dan 2003UB₃₁₃, yang awalnya populer disebut Xena, dan selanjutnya mempunyai nama resmi 136199 Eris.

Mereka juga membuat definisi baru tentang planet. Definisi ini diharapkan dapat memberikan kata akhir pada nasib Pluto atau planet-planet lain yang mungkin ditemukan kemudian. Menurut mereka, planet adalah benda langit yang mengorbit Matahari, bukan satelit sebuah planet, memiliki massa yang mencukupi sehingga gaya gravitasi yang dibangkitnya sanggup mengatasi gaya-gaya lain. Planet memiliki bentuk bulat karena keseimbangan hidrostatis, dan daerah yang terletak di sekitar orbitnya sudah “dibersihkan” sehingga objek ini menjadi satu-satunya benda yang berukuran besar pada satu jarak tertentu.

Berdasarkan kedua kriteria tentang planet dan planet kecil tersebut, benda langit yang memenuhi dua kriteria pertama akan digolongkan sebagai *planet katai*, sedangkan benda bukan satelit yang hanya memenuhi kriteria pertama digolongkan ke dalam *benda tata surya berukuran kecil*. Dalam tata surya kita, yang masuk dalam golongan planet katai adalah Ceres, Pluto, dan Eris.

Cahaya planet yang sampai ke kita bukan berasal dari planet itu sendiri, melainkan merupakan cahaya Matahari yang dipantulkan oleh planet. Kecerlangan planet yang sampai kepada kita berbeda-beda, tergantung pada jarak planet serta berapa bagian cahaya Matahari yang mampu dipantulkan oleh planet. Untuk ini, diperkenalkan konsep *albedo*, yang menunjukkan berapa bagian dari sinar datang yang bisa dipantulkan oleh planet yang bersangkutan. Jika planet memiliki albedo 1, berarti selalu cahaya Matahari yang datang ke permukaan planet akan dipantulkan.

Tata surya tidak hanya terdiri dari Matahari dan planet-planet, melainkan juga objek-objek lain yang lebih kecil, seperti asteroid, komet, dan meteoroid. Benda-benda ini memiliki per-

gerakan yang berbeda dengan planet-planet dan memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk sampai dekat Bumi dibandingkan dengan planet-planet itu.

Bagian ini hanya membahas tata surya secara umum. Uraian lebih rinci tentang seluruh anggota tata surya dibahas pada bagian lain. Terlebih dahulu pada bagian berikut, akan ditinjau bagaimana tata surya terbentuk sesuai dengan teori yang diterima para ahli sampai sekarang ini.

Teori turbulensi yang diusulkan oleh Rene Descartes (1546-1650) merupakan teori tertua yang membahas tata surya. Dalam bukunya, *Theorie des Vortex* (1644), ia berpendapat bahwa alam semesta yang berisi eter dan materi dipenuhi dengan pusaran-pusaran. Pusaran-pusaran inilah yang mengakibatkan munculnya tata surya. Sekarang, teori ini sudah tidak diterima lagi karena tidak mampu menjelaskan adanya bidang ekliptika.

Teori pasang surut pertama kali diusulkan oleh Buffon (1707-1788). Ia menyarankan bahwa tata surya berasal dari terlemparnya sebagian materi Matahari akibat tumbukan Matahari dengan sebuah komet yang berlangsung sekitar 70.000 tahun yang lalu. Teori ini kemudian diperbaiki, pertama kali oleh Bickerton pada 1880, kemudian oleh Chamberlain pada tahun 1901, dan Moulton pada 1905. Mereka mengemukakan bahwa suatu ketika sebuah bintang lewat di dekat Matahari sehingga sebagian materi Matahari tertarik oleh gaya gravitasi bintang ini. Materi yang tertarik inilah, yang kemudian memadat menjadi planet-planet dan satelit-satelitnya. Teori ini sudah tidak bisa diterima lagi karena jarak antarbintang sangat jauh, dan proses semacam itu kemungkinan terjadinya sangat kecil.

Teori kabut atau teori nebula pertama kali diusulkan oleh Immanuel Kant (1724-1804) dan Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Menurut mereka, tata surya berasal dari sebuah awan gas raksasa yang mengerut sambil berputar akibat gaya gravitasi. Saat mengerut, kecepatan rotasinya semakin bertambah sehingga bentuknya yang berupa bola berubah menjadi piringan yang

terus berputar. Karena terus berputar, ada bagian-bagian piringan ini yang terlempar keluar, memadat, lalu menjadi planet-planet dan satelitnya.

Perkembangan peralatan pengamatan astronomi memungkinkan para ahli mendapatkan data dan fakta yang lengkap serta mendalam tentang tata surya. Ini memungkinkan mereka mengembangkan teori yang lebih lengkap tentang pembentukan tata surya. Untuk bisa mendapatkan teori pembentukan tata surya yang benar-benar mantap, para astronom harus berpegang pada bukti-bukti pengamatan.

Menggunakan segala jenis alat, mulai dari teropong optik dan radio beserta kamera ccd (*charge-couple device*) hingga pesawat-pesawat angkasa yang mampu bergerak sampai mendekati sebuah planet, mereka berhasil mendapatkan banyak data yang kemudian digunakan sebagai alat untuk mendukung teori. Pengamatan para ahli menghasilkan:

- Semua planet mengitari Matahari dalam arah berlawanan dengan arah jarum jam. Demikian juga gerak rotasi Matahari.
- Kecuali pada Merkurius, bidang orbit semua planet hampir berimpit.
- Eksentrisitas orbit planet-planet hampir 0 (orbitnya hampir berbentuk lingkaran) kecuali Merkurius.
- Kecuali Venus dan Uranus, semua planet berotasi searah dengan arah orbitnya.
- Momentum sudut tata surya terkonsentrasi pada planet-planet.
- Satelit-satelit pada planet sebagian besar berevolusi dalam arah yang sama dengan arah rotasi planet induknya dan terletak di bidang ekuator planet yang bersangkutan.
- Adanya unsur-unsur berat, seperti oksigen dan nitrogen yang tidak mungkin terbentuk di Matahari hanya mungkin terbentuk di dalam inti bintang yang massanya sangat besar lalu terlempar keluar pada saat tahap akhir evolusi bintang

itu melalui suatu ledakan yang disebut *ledakan supernova*. Bintang yang massanya sangat besar ini hanya terdapat di lengan-lengan spiral galaksi kita. Akibatnya, gas yang dihamburkan oleh ledakan supernova ini hanya terdapat di lengan-lengan spiral galaksi.

Menggunakan pengetahuan tersebut dan hukum-hukum fisika yang mereka kenal, para ahli kemudian mencoba membuat rekonstruksi proses pembentukan tata surya. Di sini, teori yang mereka pakai adalah teori kabut Kant-Laplace, yang sudah diperbaiki oleh Gerard P. Kuiper.

Menurut para ahli, tata surya terbentuk sekitar 4,6 miliar tahun yang lalu. Tata surya berasal dari suatu awan gas raksa berbentuk bola dan berdiameter sama dengan orbit Pluto. Awan gas ini berputar mengitari pusat galaksi dan suatu ketika bertemu dengan lengan-lengan spiral galaksi, yang merupakan sumber unsur-unsur berat yang dilemparkan oleh ledakan supernova. Unsur-unsur berat ini, misalnya isotope Mg-26 yang berasal dari Al-26, dan unsur ini hanya terbentuk di sebuah supernova. Isotop Mg-26 ini terdapat pada meteorit jenis Allende yang jatuh ke Bumi.

Ledakan supernova di lengan spiral mengakibatkan munculnya gelombang kejut. Gelombang kejut ini membuat kerapatan awan tidak merata. Bagian yang paling mampat menarik bagian-bagian awan yang lain dengan gaya gravitasinya. Bagian yang paling mampat ini akan menjadi Matahari atau protomatahari. Gaya gravitasi yang ditimbulkan oleh pusat awan diimbangi menjadi gerak melingkar oleh bagian-bagian awan yang lain, sehingga seluruh awan berubah menjadi piringan pipih yang berputar.

Bagian pusat (promotari atau calon Matahari) masih terus menarik materi, dan gesekan partikel-partikel awan membuatnya semakin bertambah panas sehingga akhirnya mencapai beberapa juta derajat celcius. Ketika temperatur ini dicapai, terjadilah suatu reaksi pembentukan unsur helium dari hidrogen yang

diikuti dengan pelepasan energi. Pelepasan energi inilah yang membuat Matahari menjadi besinar terus-menerus. Saat dimulainya reaksi ini ditetapkan sebagai saat lahirnya Matahari.

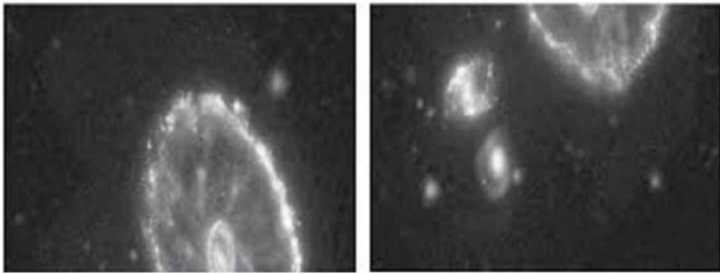
Sementara itu, ada bagian-bagian piringan yang tidak ikut tertarik ke pusat, tetapi menggumpal sendiri sambil mengelilingi promatahari. Materi-materi gumpalan yang paling mam-pat lalu memadat, sambil terus menarik materi-materi lain. Gumpalan-gumpalan inilah yang nantinya akan menjadi planet-planet. Planet-planet yang dekat dengan Matahari muda segera kehilangan sebagian besar lapisan luarnya akibat tiupan angin surya (partikel-partikel dari Matahari). Lapisan luar meninggalkan bagian dalamnya yang terdiri dari besi dan batuan. Proses ini terjadi karena semburan angin surya yang sangat keras, jauh lebih keras dari yang berlangsung sekarang.

Di samping itu, tata surya bagian dalam terlalu hangat, tidak memungkinkan berlangsungnya pemadatan bahan-bahan, seperti air dan menata sehingga planet-planet yang terbentuk relatif kecil (hanya 0,6% dari seluruh massa piringan). Pada jarak yang lebih jauh, di daerah kedudukan planet-planet besar, semburan angin surya yang sampai sudah jauh lebih lemah. Akibatnya, bagian terluar planet yang terdiri dari unsur-unsur ringan seperti hidrogen atau helium masih ada. Selain itu, ukuran planet menjadi jauh lebih besar dari ukuran planet-planet yang lebih dekat ke Matahari. Pada daerah yang lebih jauh lagi, yaitu di seberang orbit Neptunus, terdapat banyak objek yang tidak bisa digolongkan ke dalam planet, yaitu objek trans-Nep-tunian.

Proses berlangsungnya peristiwa-peristiwa di atas berjalan tidak terlalu lama untuk ukuran astronomi. Piringan gas calon sistem ini hanya bertahan 100.000 tahun, dan Bumi terbentuk setelah 100 juta tahun. Merkurius dan Venus terbentuk sebelum kurun waktu ini berlalu, dan pembentukan Mars selesai setelah kurun waktu ini terlewati.

G. Planetesimal

Tidak seluruh materi yang terdapat di piringan pembentuk tata surya menggumpal menjadi planet-planet. Di piringan ini, masih terdapat materi awal pembentuk tata surya yang ukurannya jauh lebih kecil dari planet-planet. Melalui proses yang sama dengan proses pembentukan planet, materi-materi ini kemudian saling bertumbuhan satu sama lain, kemudian membentuk benda-benda langit yang ukurannya jauh lebih kecil dari ukuran planet yang kemudian diberi nama *planetesimal* (planet-planet kecil). Planetesimal-planetesimal ini akan sulit sekali untuk memiliki ukuran sampai beberapa ratus kilometer.



GAMBAR 3.2 Pembentukan Tata Surya Menurut Planetesimal

Untuk planetesimal yang cukup besar, mereka akan memiliki interaksi gravitasi satu sama lain. Hal ini akan membuat orbit menjadi semakin lonjong. Kelonjongan orbit ini memperbesar kemungkinan berlangsungnya tumbuhan antarplanetesimal, sehingga planetesimal-planetesimal ini pecah lagi menjadi potongan kecil-kecil. Dalam hal ini, beberapa contoh planetesimal adalah asteroid yang merupakan bentukan dari tumbuhan beberapa planetesimal. Meteoroid yang sering kita lihat jatuh ke Bumi dianggap sebagai planetesimal sejati. Dari meteoroid-meteoroid ini, didapatkan informasi tentang tata surya awal.

Sampai sekarang, model pembentukan tata surya semacam itu merupakan model yang paling bisa diterima. Hal ini didukung

oleh bukti-bukti pengamatan pada bintang-bintang lain yang diduga baru saja terbentuk.

Pada 1983, Badan Angkasa Luar Eropa atau ESA (*European Space Agency*) meluncurkan sebuah satelit yang khusus mengamati pacaran radiasi infra merah objek-objek langit bernama IRAS (*Infra Red Astronomical Satellite*). Pada satu bintang yang bernama *Beta Pictoris*, satelit ini berhasil mengamati adanya radiasi infra merah di dekat bintang itu yang ditafsirkan sebagai adanya piringan awan debu yang mengelilingi bintang tersebut. Piringan awan debu ini diperkirakan memiliki diameter 300 miliar kilometer, sesuai dengan diameter sebuah tata surya.

Para ahli masih bertanya-tanya, seberapa besar kemungkinan munculnya suatu sistem tata surya seperti tata surya kita di seluruh galaksi. Ada yang berpikiran bahwa sistem semacam ini cukup banyak terdapat. Ada juga yang masih bertanya-tanya, apakah pembentukan planet-planet merupakan proses yang secara alamiah berlangsung saat sebuah bintang terbentuk, atau apakah tata surya kita ini hanya merupakan salah satu perkecualian.

Meskipun demikian, teori pembentukan tata surya sebagaimana diuraikan di atas masih menyisakan beberapa masalah. Masalah pertama terkait dengan momentum sudut yang dimiliki sistem ini. Karena massa tata surya terpusat pada pusat sistem, seharusnya momentum sudut sistem ini juga terletak di pusat pula, sedangkan kenyataannya tidak. Rotasi Matahari jauh lebih lambat daripada yang diperkirakan, sedangkan planet-planet yang seluruh massanya kurang dari 1 persen sistem ini memiliki lebih dari 90 persen momentum sudut seluruh tata surya. Upaya menjelaskan masalah ini adalah dengan membuat hipotesis bahwa debu-debu yang terdapat pada tata surya awal mengakibatkan munculnya gaya gesek yang memperlambat rotasi pusat sistem ini.

Masalah kedua terkait dengan keberadaan planet-planet yang “berada di tempat yang salah”. Planet-planet Uranus dan

Neptunus terdapat di tempat yang pembentukannya sangat tidak mungkin terjadi, karena awan debu calon Matahari di tempat kedua planet sudah sangat renggang, dan periode orbitnya sangat panjang. Masalah ini dicoba dipecahkan dengan mengandaikan bahwa interaksi antarcalon planet dan planetesimal akan menghasilkan peristiwa migrasi planet.

Masalah ketiga berkaitan dengan orbit. Hipotesis nebula Matahari ini meramalkan bahwa semua planet akan terbentuk pada daerah yang persis berimpit dengan bidang ekliptika. Kenyataannya walaupun kecil, bidang orbit planet-planet ini tidak berimpit pada bidang ekliptika tersebut. Bahkan pada planet-planet besar, sumbu rotasinya memiliki kemiringan yang cukup besar terhadap ekliptika, terutama Uranus yang memiliki kemiringan sebesar 98° . Menurut para ahli, semua ini terjadi akibat berbagai peristiwa yang berlangsung setelah proses pembentukan tata surya selesai.

Masalah lain yang cukup mengganggu adalah runtuhnya keyakinan para astronom, bahwa proses pembentukan sistem keplanetan seperti yang berlangsung di tata surya kita bersifat universal. Mereka berharap bahwa upaya-upaya mendapatkan sistem keplanetan di luar tata surya kita akan menemukan planet-planet yang mengelilingi sebuah bintang dengan konfigurasi yang persis seperti yang ada di tata surya kita. Ternyata harapan mereka keliru. Tidak ada satu pun sistem keplanetan yang konfigurasinya mirip dengan tata surya kita, sehingga mereka menyadari bahwa setiap sistem keplanetan itu bersifat unik, dan memiliki sejarah pembentukan yang unik pula.

Sekarang, sistem keplanetan yang terdapat di luar tata surya kita sudah semakin banyak terdapat. Semakin banyaknya penemuan sistem keplanetan yang terdapat di luar tata surya kita ini berkat metode pengamatan yang semakin maju. Berbagai cara dipakai untuk melakukan pencarian planet luar tata surya, seperti dipakainya peralatan-peralatan canggih, seperti satelit IRAS, kamera CCD yang dipasang pada teleskop, dan peralatan

di Teleskop Ruang Angkasa Hubble.

Banyak hal yang bisa dipelajari dari adanya sistem keplanetan yang berada di luar tata surya kita ini, baik yang sedang terbentuk maupun sudah berkembang jauh, dan mungkin kita bisa mulai memikirkan eksplorasi tata surya tetangga atau mulai membuka komunikasi dengan makhluk tata surya lain.

H. Teori-teori Asal Mula Tata Surya

Beberapa teori tentang asal mula tata surya menurut para ahli sebagai berikut.

1. Teori Nebulae (Teori Kant dan Laplace)

Immanuel Kant (1749-1827), seorang ahli filsafat Jerman membuat suatu hipotesis tentang terjadinya tata surya. Dikatakannya bahwa di jagat raya terdapat gumpalan kabut yang berputar perlahan-lahan. Bagian tengah kabut itu lama-kelamaan berubah menjadi gumpalan gas yang kemudian menjadi Matahari dan bagian kabut sekitarnya menjadi planet-planet dan satelitnya.

Pada waktu yang hampir bersamaan, tanpa ada komunikasi, seorang ahli fisika Perancis bernama Pierre Simon de Laplace, mengemukakan teori yang hampir sama. Dikatakan, bahwa tata surya berasal dari kabut panas yang berpilin. Karena pilinannya itu berupa gumpalan kabut, yang membentuk bentuk bulat seperti bola yang besar. Makin kecil bola itu, makin cepatlah pilihannya. Akibatnya, bentuk bola itu memampat pada kutubnya dan melebar di bagian ekuatornya, bahkan kemudian sebagian massa gas di ekuatornya itu menjauh dari gumpalan intinya, membentuk gelang-gelang. Lama-kelamaan gelang-gelang itu berubah menjadi gumpalan padat. Itulah yang disebut planet-planet dan satelitnya. Adapun bagian inti kabut itu tetap berbentuk gas pijar yang kita ketahui sebagai Matahari sekarang ini.

Kedua teori itu mempunyai persamaan tentang material asalnya, yaitu kabut. Itulah sebabnya, keduanya dijadikan satu

nama, yaitu teori *Nebulae* atau teori kabut (*nebular hypotheses*), bahkan lebih dikenal teori Kant dan Laplace.

Teori kabut ini telah dipercaya orang selama kira-kira 100 tahun, tetapi sekarang telah banyak ditinggalkan karena:

- 1) Tidak mampu memberikan jawaban kepada banyak hal atau masalah di dalam tata surya kita.
- 2) Karena munculnya banyak teori baru yang lebih memuaskan.

Namun demikian, belum satu pun dari teori-teori baru seperti itu yang sungguh-sungguh dapat memberikan jawaban yang memuaskan tentang berbagai masalah yang bersangkutan dengan benda-benda langit dalam tata surya kita ini serta gerakan-gerakannya.



GAMBAR 3.3 Menurut Teori Nebulae

2. Teori Planetesimal (Moulton dan Chamberlin)

Kemudian, lahirlah teori-teori lain pada tahun-tahun berikutnya. Thimas C. Chamberlin (1843-1928), seorang ahli Geologi. dan Forest R. Moulton (1872-1952), seorang ahli astronomi, keduanya ilmuwan Amerika. Teorinya dikenal sebagai teori planetesimal (berarti planet kecil), karena planet terbentuk dari benda padat yang memang telah ada.

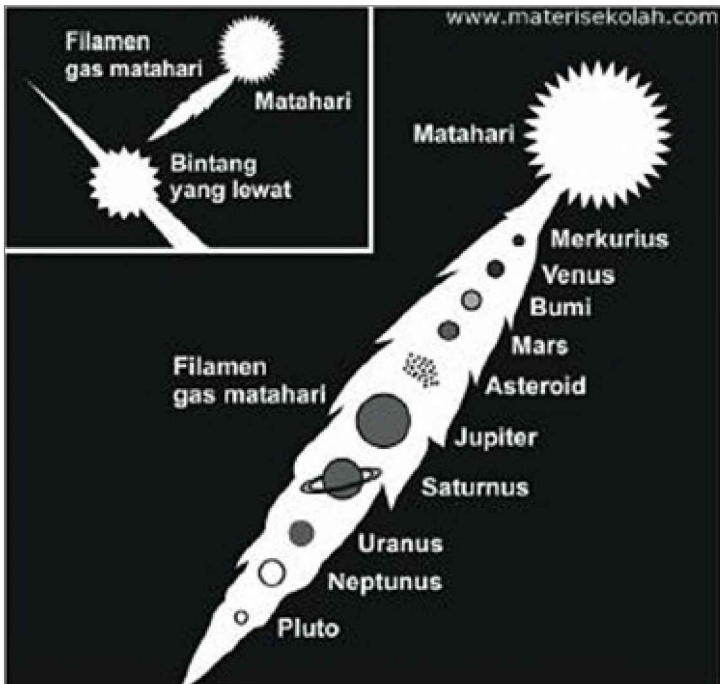
Menurut teori ini, Matahari telah ada sebagai salah satu dari bintang-bintang yang banyak. Pada suatu massa, ada sebuah bintang berpapasan pada jarak yang tidak terlalu jauh. Akibatnya, terjadilah peristiwa pasang naik pada permukaan Matahari

maupun bintang itu. Sebagian dari massa Matahari itu tertarik ke arah bintang.

Pada waktu bintang itu menjauh, menurut Moulton dan Chamberlin, 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 dan beredar pada orbitnya.

3. Teori Pasang Surut (James Jeans dan Jeffreys)

Teori planetesimal itu hampir sama dengan teori pasang surut yang dikemukakan oleh Sir James Jeans (1877-1946) dan Harold Jeffreys (1891), keduanya ilmuwan Inggris.



GAMBAR 3.4 Menurut Teori Pasang Surut

Jeans dan Jeffreys 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 Yupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus merupakan planet raksasa, sedangkan di bagian ujungnya, Merkurius dan Venus di dekat Matahari dan Pluto di ujung lain merupakan planet yang lebih kecil.

4. Teori Proto Planet atau Kondensasi (Teori Von Weizsaecher)

Dari sekian banyak teori yang pernah ada, yang paling baru dan dipandang memuaskan ialah teori yang telah dikemukakan oleh Gerard F. Kuiper pada 1950. Teori ini adalah perbaikan dari beberapa teori yang lain, dan berdasarkan anggapan bahwa Matahari dan semua planet itu terbentuk dari sebuah kabut gas (*a cloud of primordian gas*). Kabut-kabut seperti itu banyak kita jumpai di angkasa raya, dan beberapa di antaranya agaknya sekarang ini berada di dalam proses membentuk bintang-bintang. Kabut gas seperti itu tersebar sangat renggang/tipis, tetapi karena gaya tarik-menarik di antara molekul-molekul yang menyusunnya, maka berangsur-angsur semakin menjadi pekat, dan akan menjadi massa yang lebih padat. (Gaya tarik-menarik di antara molekul-molekul itu timbul karena gerakan berputar putar dari molekul-molekul itu sendiri).

Gerakan-gerakan itu yang berangsur-angsur berubah menjadi gerakan-gerakan yang berputar mengelilingi suatu sumbu (atau gerakan *rotational*), mengakibatkan kabut semakin pepat atau pipih bentuknya, dan terjadilah pula konsentrasi-konsentrasi. Pemusatan atau konsentrasi bahan-bahan pun terjadi sana sini. Konsentrasi yang terbesar terjadi di bagian tengah,

dan yang lebih kecil terjadi di sekelilingnya yang bergerak terus memutarinya. Konsentrasi bahan yang di tengah itu kemudian menjadi gumpalan, yang di kemudian harinya menjadi bintang baru atau Matahari pusat. Adapun gumpalan-gumpalan yang kecil-kecil (calon-calon planet) disebut *protoplanet-protoplanet* (masih berwujud gumpalan gas).

Setelah Matahari itu selesai berkonsentrasi, maka mulailah dia menyala atau bersinar-sinar dengan api *nuclear* yang dihasilkan oleh bagian dalamnya. Sinar cahaya ini kemudian mengusir atau menghilangkan gas-gas yang masih banyak menyelubungi protoplanet-protoplanet yang ada di sekitarnya. Bilamana daya menyinar bintang baru ini sudah cukup kuat, terusirlah seluruh gumpalan-gumpalan gas yang menyelubungi planet-planet (mula-mula planet yang paling dekat letaknya dengan Matahari tersebut) dan tinggallah bagian-bagian dalamnya yang lebih keras bebas dari selubung yang labil.



GAMBAR 3.5 Teori Menurut Awan Debu

Begitulah seterusnya satu demi satu planet-planet itu terjadi, dan pada akhirnya seluruh gas di dalam susunan ini lenyap semuanya. Lahirlah berjenis-jenis planet, yang dekat dengan Matahari kecil bentuknya tetapi lebih pekat/padat, sedangkan yang lebih jauh letaknya lebih besar pula bentuknya, tetapi lebih kecil massanya (lebih bersifat seperti gas). Bahan planet itu dinamakan juga protoplanet, sehingga teori ini dinamakan juga teori protoplanet.

5. Teori Bintang Kembar

Teori ini dikemukakan pada 1930 yang pada dasarnya juga mirip dengan teori planetesimal. Menurut teori ini, pada awalnya ada dua bintang kembar, kemudian satu bintang meledak menjadi serpihan kecil-kecil. Akibat pengaruh medan gravitasi bintang yang tidak meledak, serpihan-serpihan itu berputar mengelilinginya. Serpihan-serpihan ini kemudian dikenal sebagai planet-planet, satelit-satelit pengiring planet, dan benda-benda langit kecil lainnya, sedangkan bintang yang tetap utuh adalah Matahari.

Jembatan Keledainya

NERI PARUT PISANG PEPAYA BUAT KOLAK

Maksudnya Nebula, Planetesimal, Pasang Surut, Protoplanet, Bintang Kembar

Kasus Nyata

Sistem tata surya kita terbentuk lebih dari 4 miliar tahun yang lalu. Sistem tata surya terbentuk dari gumpalan-gumpalan debu dan gas. Gumpalan-gumpalan itu kemudian membentuk Matahari dan planet-planet yang mengelilinginya.

Ada gas-gas yang terdapat di atmosfer merupakan suatu hal yang nyata, bahwa berdasarkan teori kabut atau teori nebula yang diusulkan oleh Immanuel Kant dan Pierre Simon de Laplace, yang menurut mereka, tata surya berasal

dari sebuah awan gas raksasa yang mengerut sambil berputar akibat gaya gravitasi.

Studi Kasus

Bermula dari pemikiran tentang kenapa terbentuknya planet-planet, Matahari, dan benda angkasa lainnya serta bahasa Kepler tentang semua planet bergerak mengelilingi Matahari dalam orbit yang berbentuk elips, dengan Matahari terletak di salah satu titik fokusnya. Maka muncullah pandangan tentang asal mulanya tata surya. Ada beberapa teori tentang terbentuknya tata surya menurut teori nebula satu pun teori-teori baru yang sungguh-sungguh dapat memberikan jawaban yang memuaskan tentang berbagai masalah yang bersangkutan dengan benda-benda langit dalam tata surya kita ini serta gerakan-gerakannya. Teori planetesimal (planet kecil) benda pada seperti apa yang telah membentuk planet dalam tata surya kita ini. Teori pasang surut ada pun yang hendak dipelajari adalah gumpalan-gumpalan gas yang kemudian membeku menjadi planet-planet. Menurut teori protoplanet, teori ini merupakan sebagai teori terpopuler karena dianggap sebagai teori yang tepat melukiskan asal usul tata surya. Selanjutnya, teori bintang kembar yang mirip dengan teori planetesimal, yang satu meledak dan yang lain tetap. Satu lagi akan tetap menjadi bintang (Matahari).

Rangkuman

Pemikiran tentang perkembangan ilmu astronomi memiliki suatu hal yang sangat pesat di kalangan para ahli dari bangsa Yunani yang dimulai dari Thales, kemudian Phytagoras, lalu Plato, Eudoxus, serta Aristoteles. Selain hipotesis Aristoteles dan Ptolomeus, ada hipotesis lain tentang alam semesta yang diusulkan oleh Aristarchus dari Samos. Menurut Aristarchus, pusat alam semesta bukan Bumi, melainkan Matahari. Bumi ha-

nyalah salah satu dari beberapa planet yang mengitari Matahari dalam orbit yang berbentuk lingkaran. Namun hipotesis Aristarchus ditolak oleh Aristoteles dan Ptolomeus yang tetap berpegang pada hipotesis geosentris. Hipotesis geosentris mampu bertahan sampai belasan abad.

Pada abad ke-15, terjadilah revolusi besar dalam teori tentang tata surya seperti yang diusulkan oleh Nicolas Copernicus (1473-1543).

Hasil-hasil pengamatan Brahe dan teori heliosentris Copernicus dipakai Kepler untuk membuat hipotesis tentang pergerakan planet-planet. Ia berhasil merumuskan hukum-hukum empiris tentang pergerakan planet, yang kemudian dikenal dengan nama hukum-hukum Kepler. Berdasarkan hukum-hukum Kepler ini, Sir Isaac Newton kemudian merumuskan ketiga hukum tentang mekanika dan hukum gravitasi yang dituangkannya dalam buku *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Setelah beberapa dekade lahirlah suatu hukum yang ditemukan oleh Johannes Kepler, yang mana dia berpendapat bahwa dengan asumsi untuk memahami hukum-hukum Kepler, perlu terlebih dahulu memperhatikan lintasan orbit benda langit yang bentuknya secara umum dinyatakan dalam irisan kerucut.

Kepler merumuskan ketiga hukumnya secara empiris berdasarkan pengamatan pada pergerakan planet, yang dilakukan bersama Tycho Brahe dengan menggunakan hipotesis heliosentris Copernicus.

Dengan melihat orbit planet dari Bumi, planet dapat dibagi menjadi dua, yaitu *planet inferior* dan *planet superior*. Planet inferior adalah planet-planet yang orbitnya terletak di sebelah dalam orbit Bumi, yaitu Merkurius dan Venus. Planet superior adalah planet yang orbitnya terletak di sebelah luar orbit Bumi, yaitu Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, dan Pluto.

Tata surya kita adalah suatu kelompok benda langit, yaitu Matahari dan planet-planetnya yang terdiri dari Merkurius, Venus, Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus beserta

165 buah satelit planet yang sudah diketahui sampai sekarang, serta objek-objek tata surya lainnya, seperti asteroid, planet katai, meteoroid, planetoid, komet, dan debu antarplanet, yang bergerak mengikuti hukum-hukum dinamika Newton.

Pada 1706, dua orang Jerman bernama Titius dan Bode, setelah memperoleh informasi tentang jarak planet, mencoba membuat hukum empiris yang dipakai sebagai rumus jarak planet dari Matahari. Menurut mereka, hukum ini berbentuk:

$$D = 0,4 + 0,3 \times 2^n$$

D adalah jarak planet dari Matahari diukur dalam satuan astronomi (SA).

Seperti telah ditunjukkan pada bahasan tentang hukum-hukum Kepler, semua planet bergerak mengelilingi Matahari dalam orbit yang membentuk elips, dengan Matahari terletak di salah satu titik apinya.

Terlebih dahulu pada bagian berikut, akan ditinjau bagaimana tata surya terbentuk sesuai dengan teori yang diterima para ahli sampai sekarang ini.

Teori kabut atau teori nebula pertama kali diusulkan oleh Immanuel Kant (1724-1804) dan Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Menurut mereka, tata surya berasal dari sebuah awan gas raksasa yang mengerut sambil berputar akibat gaya gravitasi.

Berdasarkan teori planetesimal, tidak seluruh materi yang terdapat di piringan pembentuk tata surya menggumpal menjadi planet-planet. Di piringan ini masih terdapat materi awal pembentuk tata surya yang ukurannya jauh lebih kecil dari planet-planet.

Teori pasang surut pertama kali diusulkan oleh Buffon (1707-1788). Ia menyarankan bahwa tata surya berasal dari terlemparnya sebagian materi Matahari akibat tumbukan Matahari dengan sebuah komet yang berlangsung sekitar 70.000 tahun yang lalu.

Dari sekian banyak teori yang pernah ada, yang paling baru

dan dipandang memuaskan ialah teori yang telah dikemukakan oleh Gerard F. Kuiper pada 1950. Teori protoplanet adalah perbaikan dari beberapa teori yang lain, dan berdasarkan anggapan bahwa Matahari dan semua planet itu terbentuk dari sebuah kabut gas (*a cloud of primordial gas*). Kabut-kabut seperti itu banyak kita jumpai di angkasa raya, dan beberapa di antaranya agaknya sekarang ini berada di dalam proses membentuk bintang-bintang. Kabut gas seperti itu tersebar sangat renggang/tipis, tetapi karena gaya tarik-menarik di antara molekul-molekul yang menyusunnya, maka berangsur-angsur semakin menjadi pekat, dan akan menjadi massa yang lebih padat. (Gaya tarik menarik di antara molekul-molekul itu timbul karena gerakan berputar putar dari molekul-molekul itu sendiri).

Teori bintang kembar dikemukakan pada 1930 yang pada dasarnya juga mirip dengan teori planetesimal. Menurut teori ini, pada awalnya ada dua bintang kembar, kemudian satu bintang meledak menjadi serpihan kecil-kecil. Akibat pengaruh medan gravitasi bintang yang tidak meledak, serpihan-serpihan itu berputar mengelilinginya. Serpihan-serpihan ini kemudian dikenal sebagai planet-planet, satelit-satelit pengiring planet, dan benda-benda langit kecil lainnya, sedangkan bintang yang tetap utuh adalah Matahari.

4

Teori Pembentukan Alam Semesta

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat menjelaskan
teori pembentukan alam semesta.

Manusia merupakan makhluk yang diciptakan Tuhan dengan segala kelebihan dan kekurangannya. Salah satu kelebihan yang diberikan kepada manusia adalah akal. Dengan akalnya manusia bisa berpikir, sehingga muncul ilmu pengetahuan baru yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan taraf kehidupan manusia. Meskipun demikian, ilmu pengetahuan yang dihasilkan manusia memiliki keterbatasan, yaitu kebenaran ilmu yang dihasilkan manusia bersifat tentatif dan sementara. Artinya, apabila suatu saat ditemukan ilmu pengetahuan baru dengan bukti-bukti yang kuat, maka ilmu pengetahuan lama tidak berlaku lagi.

Adanya keterbatasan ini menuntut manusia untuk terus berpikir, sehingga lahir teori-teori baru yang menjelaskan atau melengkapi teori-teori sebelumnya. Ilmu yang mempelajari mengenai sifat, evolusi, dan asal alam semesta (*universe*) disebut **kosmologi**. Beberapa teori yang menjelaskan proses terbentuknya alam semesta antara lain teori big bang, teori keadaan tunak, serta teori osilasi.

A. Teori Keadaan Tetap (Steady-State Theory)

Teori ini dikemukakan oleh Fred Hoyle, Herman Bondi, Thomas Gold (1948). Teori ini berdasarkan prinsip osmologi sempurna yang menyatakan bahwa alam semesta, di mana pun dan bilamana pun selalu sama. Berdasarkan prinsip tersebutlah alam semesta terjadi pada suatu saat tertentu di masa yang telah lalu sampai sekarang. Segala sesuatu di alam semesta ini selalu tetap sama walaupun galaksi-galaksi saling bergerak menjauhi satu sama lain. Teori ini ditunjang oleh kenyataan, bahwa galaksi baru mempunyai jumlah yang sebanding dengan galaksi lama. Dengan kata lain, bahwa tiap-tiap galaksi yang terbentuk, tumbuh, menjadi tua, dan akhirnya mati. Jadi, teori ini beranggapan bahwa alam semesta itu tak terhingga besarnya dan tak terhingga tuanya (tanpa awal dan tanpa akhir).

B. Teori Big Bang

Teori *big bang* dikemukakan oleh ilmuwan Belgia Abbé Georges Lemaitre pada 1927. Menurut teori *big bang*, alam semesta berasal dari keadaan panas dan padat yang mengalami ledakan dahsyat dan mengembang. Semua galaksi di alam semesta akan memuai dan menjauhi pusat ledakan. Pada model *big bang*, alam semesta berasal dari ledakan sebuah konsentrasi materi tunggal miliaran tahun yang lalu secara terus-menerus berkembang, sehingga lama kelamaan menjadi lebih dingin seperti sekarang.

Mengenai teori *big bang* orang-orang banyak yang bertanya, di mana dentuman besar (*big bang*) itu terjadi? Pertanyaan ini muncul karena pada saat terjadi ledakan, susunan *big bang* merupakan seluruh alam semesta. Ledakan tersebut tidak melemparkan materi ke ruangan. Ruangan mengembang dengan waktu tertentu dan terbentuklah alam semesta.

Pemahaman mengenai teori *big bang* ini dapat dianalogikan dengan mengembangkannya permukaan balon mainan yang ditiup.

Apabila pada balon mainan tersebut diberi beberapa titik yang menggambarkan galaksi, kemudian balon itu ditiup, maka Anda akan mengamati letak titik-titik yang menjauhi Anda. Anda tidak peduli mengamati titik yang mana, namun hasilnya akan sama. Titik-titik pada balon tersebut tidak ada pusatnya. Demikian pula pada galaksi tidak ada bagian pusat dalam alam semesta. Anda dapat memperhatikan pula bahwa permukaan balon tersebut tidak mempunyai tepi. Ini juga menjelaskan bahwa alam semesta tidak mempunyai tepi.

C. Teori Osilasi

Teori osilasi menduga bahwa alam semesta tidak ada awal dan tidak ada akhirnya. Dalam model osilasi dikemukakan bahwa sekarang alam semesta tidak konstan, tetapi berekspansi yang dimulai dengan dentuman besar (big bang), kemudian beberapa waktu yang akan datang gravitasi mengatasi efek ekspansi ini sehingga alam semesta akan mulai mengempis (*collapse*), akhirnya mencapai titik koalsensi (gabungan) asal di mana temperatur dan tekanan tinggi akan memecahkan semua materi ke dalam partikel-partikel elementer (dasar), sehingga terjadi dentuman besar baru dan ekspansi mulai lagi.

Alam semesta mungkin telah memulai dalam sebuah dentuman besar (big bang), atau mungkin berada dalam keadaan tetap atau dalam keadaan berosilasi. Dalam setiap kasus, alam semesta sekarang ditandai dengan proses ekspansi dan dipenuhi oleh radiasi yang mirip dengan radiasi yang diperkirakan dari big bang. Jarak yang besar di antara galaksi membuat alam semesta hampir kosong (hampa), densitas materi di alam semesta secara rata-rata adalah sekitar 10^{30} gram per sentimeter kubik atau dapat dikatakan bahwa dalam alam semesta ditempati 1 atom hidrogen untuk setiap $1,7 \times 10^6 \text{ cm}^3$ (1×10^5 inci³).

Teori ini berpendapat, bahwa ada suatu siklus di jagat raya. Satu siklus mengalami satu masa ekspansi dan satu masa kontraksi. Satu siklus diperkirakan berlangsung selama 30 miliar

tahun. Dalam masa ekspansi terbentuklah galaksi-galaksi serta bintang-bintang di dalamnya. Ekspansi ini diakibatkan oleh adanya reaksi inti hidrogen yang pada akhirnya membentuk unsur-unsur lain yang kompleks. Pada masa kontraksi, galaksi-galaksi dan bintang-bintang yang telah terbentuk meredup dan unsur-unsur yang telah terbentuk menyusut dengan mengeluarkan tenaga berupa panas yang sangat tinggi. Disebut juga *oscillating theory* (teori mengembang dan memampat).

Jembatan Keledai

No.	Nama Teori	Singkatan	Jembatan Keledai
1.	Keadaan Tetap	KT	KAMI TIDAK BISA BERBUAT OGAH
2.	Big Bang	BB	
3.	Osilasi	O	

Kasus nyata

Rasa ingin tahu (*curiosity*) selalu muncul ketika kita dihadapkan pada alam semesta yang di dalamnya mengandung banyak misteri. *Curiosity* manusia dapat mengubah *nothing* menjadi *know a lot of thing*. Rasa ingin tahu jugalah yang memunculkan berbagai penelitian serta pengujian dari hipotesis akhir, dan bila hal itu terbukti kebenarannya maka akan terbentuk suatu bidang ilmu.

Sampai sekarang belum ada teori yang benar-benar tepat untuk menggambarkan masa depan alam semesta. Pertanyaan kita sekarang tentang suatu hal pada akhirnya akan terjawab, namun setelah itu akan muncul beberapa pertanyaan baru. Demikianlah yang akan terjadi jika kita bertanya tentang alam semesta ini, kita tidak akan pernah puas karena sifat *curiosity* kita. Sering kali kita mendapati suatu pertanyaan yang sangat mendasar, yang mendapat jawaban membuat hati kita kagum, heran, takzim, dan sampai pada tingkat suatu perenungan bahwa betapa luar biasa kuasa tuhan alam semesta ini.

Studi Kasus

Menurut prosesnya, terbentuknya alam semesta dipelopori oleh tiga teori, di antaranya teori keadaan tetap, big bang dan osilasi. Menurut teori keadaan tetap alam semesta terjadi pada suatu saat tertentu di masa yang telah lalu sampai sekarang. Menurut teori big bang, orang-orang banyak yang bertanya di mana dentuman besar big bang itu terjadi. Pertanyaan itu muncul pada saat terjadi ledakan, susunan big bang merupakan seluruh alam semesta. Kemudian menurut teori osilasi berpendapat bahwa ada satu siklus di jagat raya, satu siklus mengalami satu ekspansi dan satu masa kontraksi. Satu siklus diperkirakan selama 30 miliar tahun.

Rangkuman

Adanya rasa keingintahuan tentang alam semesta ini, menuntut manusia untuk terus berpikir, sehingga lahir teori-teori baru yang menjelaskan dan melengkapi teori-teori sebelumnya. Ilmu yang mempelajari mengenai sifat, evolusi, dan asal alam semesta (*universe*) disebut **kosmologi**. Beberapa teori yang menjelaskan proses terbentuknya alam semesta antara lain teori keadaan tetap, teori big bang, serta teori osilasi.

Berdasarkan pemaparan beberapa teori tentang pembentukan alam semesta terdapat tiga buah teori, yaitu teori keadaan tetap yang mana teori ini beranggapan bahwa alam semesta itu tak terhingga besarnya dan tak terhingga tuanya (tanpa awal dan akhir). Kemudian dilanjutkan oleh teori big bang. Menurut teori big bang, alam semesta berasal dari keadaan panas dan padat yang mengalami ledakan dahsyat dan mengembang. Semua galaksi di alam semesta akan memuai dan menjauhi pusat ledakan. Pada model big bang, alam semesta berasal dari ledakan sebuah konsentrasi materi tunggal miliaran tahun yang lalu secara terus-menerus berkembang sehingga lama kelamaan menjadi lebih dingin seperti sekarang. Dan yang terakhir adalah teori osilasi menurut teori ini, bahwa ada suatu siklus di jagat raya.

5

Hukum-hukum Fisika yang Digunakan dalam Sistem Tata Surya

Tujuan Instruksional:

1. Mampu memahami hukum Kepler pertama, hukum Kepler kedua, dan hukum Kepler ketiga.
 2. Mampu memahami hukum Titius Bode.
 3. Mampu memahami kesesuaian hukum Newton dengan hukum Kepler.
-

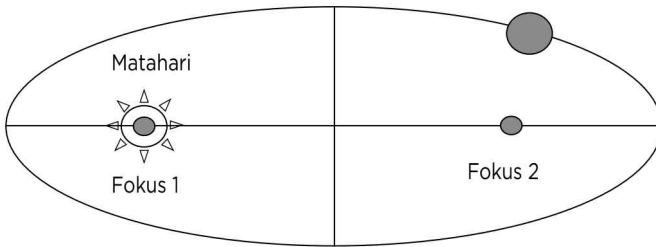
A. Hukum Kepler

Model Copernicus tentang orbit planet kemudian disempurnakan oleh Johannes Kepler (1571-1630), dia adalah asisten dan penerus dari ahli astronomi Tycho Brahe (Tjasyono, 2006). Kepler sangat tertarik dengan gerak tak beraturan planet Mars. Ia menghabiskan waktu dan energinya untuk sampai pada kesimpulan bahwa orbit lingkaran seragam yang diusulkan oleh Copernicus tidak sesuai dengan fakta-fakta hasil pengamatan. Karena Kepler juga adalah seorang ahli matematika, maka ia melakukan analisis matematis atas data-data yang diperoleh dari hasil pengamatan dengan menggunakan teleskop astronomi Brahe.

Hasil analisis matematis yang dilakukan Kepler menghasilkan suatu kesimpulan bahwa lintasan orbit planet adalah berupa elips dan bukan lingkaran. Apakah elips itu? elips merupakan suatu bangun datar berbentuk lonjong ditandai oleh sumbu mayor dan sumbu minor. Hasil-hasil pengamatan dan analisis

Kepler tentang gerak dan orbit planet menghasilkan tiga hukum Kepler yang sangat terkenal dan hingga saat ini masih dipercaya keberlakuannya.

Hukum pertama Kepler yang disebut juga hukum elips yang dipublikasikan pada sekitar tahun 1609, menyatakan bahwa semua planet bergerak dalam lintasan elips mengitari Matahari dengan Matahari berada di salah satu titik fokus elips. Titik fokus lainnya berada di ruang angkasa. Bentuk orbit planet menurut hukum pertama Kepler ditunjukkan pada Gambar 5.1.



GAMBAR 5.1 Bentuk Orbit Planet Menurut Hukum Kepler Pertama

Persamaan elips dari hukum pertama Kepler dirumuskan seperti berikut:

$$\frac{(x + ae)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

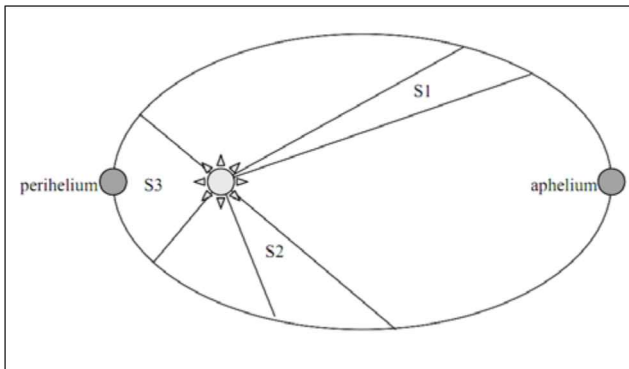
Di mana e adalah eksentrisitas yang merupakan perbandingan antara jarak dua fokus dengan diameter panjang elips. Nilai eksentrisitas menentukan bentuk elips apakah makin lonjong atau makin mendekati bentuk lingkaran. Jika $e = 0$, maka orbit planet akan berupa lingkaran. Eksentrisitas Bumi, $e_{\text{Bumi}} = 0,017$, hampir mendekati nol, jadi orbit Bumi hampir mendekati lingkaran.

Hukum kedua Kepler yang disebut juga sebagai hukum kesamaan luas yang dipublikasikan pada 1609, menyatakan bahwa luas (S) yang disapu oleh garis penghubung antara planet dan Matahari dalam selang waktu (t) yang sama adalah sama ($S_1 =$

$S_2 = S_3$), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2. Apa makna hukum ini? Hukum ini secara tidak langsung menyatakan bahwa kecepatan orbit suatu planet mengitari Matahari tidaklah konstan (*uniform*), tetapi berubah-ubah. Planet akan bergerak lebih cepat dalam orbitnya ketika berada pada daerah yang dekat dengan Matahari, dan akan bergerak lebih lambat dalam orbitnya ketika berada pada daerah yang jauh dari Matahari. Kecepatan orbit planet berbanding terbalik dengan jaraknya terhadap Matahari. Dalam notasi matematis, hukum ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = C$$

Dengan C adalah konstanta. Persamaan ini dapat dibaca laju perubahan luas yang disapu garis penghubung planet-Matahari terhadap waktu adalah tetap, $S_1 = S_2 = S_3$.



GAMBAR 5.2 Hukum Kepler Kedua yang Menggambarkan Kecepatan Planet di Sekitar Matahari, $S_1 = S_2 = S_3$

Hukum kesamaan luas ini terbentuk sebagai konsekuensi dari adanya kekekalan momentum sudut dari planet-planet ketika berputar mengelilingi Matahari. Apakah momentum sudut itu? Momentum sudut (L) merupakan suatu besaran fisika ter-

kait gerak rotasi yang didefinisikan sebagai perkalian antara momentum linier dan jarak radial suatu benda (r) dari sumbu putarnya:

$$L = pr$$

Di mana momentum linier (p) adalah suatu besaran fisika yang didefinisikan sebagai perkalian antara massa (m) dengan kecepatan (v):

$$p = mv$$

Jadi, jika momentum sudut suatu planet yang mengitari Matahari adalah kekal, maka planet harus bergerak lebih cepat bila dekat dengan Matahari, dan bergerak lebih lambat jika berada jauh dari Matahari. Planet-planet yang berputar mengelilingi Matahari memiliki momentum sudut yang tetap, karena tidak ada gaya yang bekerja dalam arah geraknya. Gaya tarik Matahari arahnya membentuk sudut 90° terhadap arah gerak planet. Sekali planet bergerak mengelilingi Matahari, maka planet tersebut akan terus berputar dengan momentum sudut yang konstan, kecuali jika dikenakan gaya yang arahnya dalam arah gerak planet.

Sebagai contoh, satelit buatan seperti satelit Palapa yang diorbitkan dalam atmosfer Bumi, akan bergerak mengelilingi Bumi dalam orbit eliptik dengan momentum sudut mula-mula konstan. Akan tetapi, akibat adanya gaya gesek dari atmosfer Bumi yang arahnya berlawanan dengan arah gerak satelit, maka momentum sudut satelit lama kelamaan akan terus berkurang seiring berjalannya waktu. Jadi, adanya gaya gesekan udara dapat menyebabkan hukum kekekalan momentum tidak berlaku, tetapi planet-planet bergerak di ruang hampa sehingga gaya gesek dengan udara dapat diabaikan, sehingga hukum kekekalan momentum sudutnya terjamin.

Waktu yang diperlukan oleh sebuah planet untuk beredar satu kali mengitari Matahari disebut periode revolusi. Untuk

Bumi, periode revolusinya didefinisikan sebagai satu tahun. Adapun waktu yang diperlukan oleh suatu planet untuk berputar satu kali mengitari porosnya disebut periode rotasi. Untuk Bumi, periode rotasinya didefinisikan sebagai satu hari. Periode revolusi suatu planet berhubungan erat dengan orbitnya (jari-jari atau diameter orbit). Hubungan antara periode revolusi suatu planet dengan jaraknya dari Matahari, dijelaskan dalam hukum ketiga Kepler. Bagaimana bunyi hukum ketiga Kepler?

Hukum ketiga Kepler yang disebut juga sebagai hukum harmonik yang dipublikasikan pada 1618, menyatakan bahwa perbandingan kuadrat periode revolusi (T^2) terhadap pangkat tiga dari jarak rata-rata planet ke Matahari (jari-jari elips = R^3) adalah sama untuk semua planet. Secara matematika, pernyataan tersebut dapat dirumuskan seperti berikut:

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

Di sini C adalah suatu konstanta yang memiliki nilai yang sama untuk semua planet. Hukum ini secara eksplisit menyatakan hubungan antara periode revolusi suatu planet dan jaraknya terhadap Matahari. Makin jauh jarak planet ke Matahari (makin besar diameter orbit planet), makin lama periode revolusinya. Planet yang memiliki diameter orbit paling kecil adalah Merkurius dan yang paling besar adalah Pluto. Sehingga Merkurius memiliki periode revolusi paling kecil, yaitu sekitar seperempat periode revolusi Bumi (0,25 tahun Bumi), sedangkan Pluto memiliki periode revolusi paling besar yaitu sekitar 248 tahun Bumi.

Apakah jarak suatu planet ke Matahari juga memengaruhi periode rotasi planet tersebut? Periode rotasi tidak ada hubungannya dengan jarak planet ke Matahari. Periode rotasi planet Venus yang jaraknya ke Matahari lebih dekat dibanding planet Bumi, memiliki periode rotasi yang lebih besar dari periode rotasi Bumi, yaitu sekitar 243 hari Bumi. Adapun planet Yupiter

yang jaraknya lebih jauh dari Bumi, memiliki periode rotasi yang lebih kecil dari periode rotasi Bumi, yaitu sekitar setengah hari Bumi.

Jika Bumi dijadikan sebagai acuan, di mana jarak antara Bumi dan Matahari adalah sekitar 150×10^6 km yang disebut sebagai 1 SA, dan periode revolusi Bumi adalah 1 tahun, maka konstanta $C = 1$, dan persamaan hukum ketiga Kepler menjadi:

$$\frac{T^2}{R^3} = 1, \text{ atau } T^2 = R^3$$

Di sini R adalah jarak rata-rata planet ke Matahari dalam satuan SA dan T adalah periode revolusi planet dalam satuan tahun.

Jarak rata-rata setiap planet ke Matahari dan periode revolusinya dirangkumkan dalam Tabel 5.1.

TABEL 5.1 Jarak Rata-rata Planet-Matahari dan Periode Revolusinya

Planet	Jarak rata-rata planet ke Matahari (SA)	Periode revolusi planet
Merkurius	0.39	88.0 hari
Venus	0.72	225.0 hari
Bumi	1.00	365.3 hari
Mars	1.52	687.0 hari
Yupiter	5.20	11.9 tahun
Saturnus	9.54	29.5 tahun
Uranus	19.19	84.0 tahun
Neptunus	30.07	164.0 tahun
Pluto	39.52	248.0 tahun

B. Hukum Titius Bode

Adakah suatu aturan umum atau ketentuan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak planet-planet ke Matahari? Suatu metode sederhana yang dapat memudahkan dalam

mengingat atau menentukan jarak rata-rata antara sebuah planet dan Matahari dalam satuan astronomis, yaitu hukum Titius Bode. Disebut demikian, karena metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Johann Daniel Titius, seorang ahli fisika dan matematika berkebangsaan Jerman pada sekitar tahun 1766. Adapun Johann Bode, seorang astronom Jerman adalah pendukung kuat metode ini.

Bagaimana dapat menentukan jarak rata-rata antara suatu planet dengan Matahari dengan hukum Titius Bode? Titius Bode menandai jarak antara planet dan Matahari dengan angka-angka 0, 3, 6, 12, 24, ... dan seterusnya (menggandakan angka setiap bilangan kecuali untuk nol). 0 untuk Merkurius, 3 untuk Venus, 6 untuk Bumi, dan seterusnya. Kemudian setiap bilangan ini ditambah dengan 4, dan hasilnya dibagi dengan 10. Sebagai contoh, untuk planet Merkurius (planet terdekat dengan Matahari) jaraknya dari Matahari (dalam SA) menurut hukum Titius Bode adalah:

$$(0 + 4) : 10 = 0,4 \text{ SA}$$

Adapun untuk planet Venus, jaraknya dari Matahari adalah:

$$(3 + 4) : 10 = 0,7 \text{ SA}$$

Sekarang berapakah jarak planet Bumi ke Matahari? Tanda untuk planet Bumi adalah 6, kemudian angka 6 ini ditambah dengan 4 dan hasil penjumlahan ini dibagi dengan 10, sehingga jarak Bumi ke Matahari adalah:

$$(6 + 4) : 10 = 1 \text{ SA}$$

dan seterusnya. Cukup mudah bukan? Coba Anda tentukan jarak rata-rata planet-planet lainnya dari Matahari dengan menggunakan hukum Titius Bode ini.

Jembatan Keledainya:

Kepala Titi Bocor kena batu

Singkatan dari Hukum Kepler, Hukum Titius-Bode

C. Kesesuaian Hukum Newton dengan Hukum Kepler

Penemuan teleskop pada 1610 dan karya ilmiah besar Galileo (1564 –1642) telah mempercepat perkembangan astronomi dan penetapan teori heliosentris tata surya. Siapakah dia? Galileo yang nama lengkapnya Galileo Galilei adalah seorang ahli matematika, fisika, dan astronomi Italia. Ia termasuk salah satu ilmuwan besar sepanjang sejarah. Dari sekian banyak sumbangan ilmiahnya, yang paling penting adalah dalam bidang mekanika. Ia menyumbangkan ide dasar asli untuk formulasi kedua hukum pertama Newton, dan ia menemukan pendekatan eksperimen modern dalam ilmu pengetahuan (dikenal dengan sebutan metode ilmiah). Selain itu, gerak benda-benda, khususnya planet-planet, juga merupakan bahan kajian utama Galileo. Konsep gerak dan gayanya menghasilkan gerakan pendekatan baru secara keseluruhan pada astronomi.

Hasil kerja Copernicus, Kepler, dan Galileo dipadukan oleh Sir Isaac Newton, seorang ahli fisika dan matematika berkebangsaan Inggris menghasilkan suatu hukum gravitasi universal yang dipublikasikan dalam *Principia* pada 1687. Bagaimana pernyataan hukum ini? Hukum gravitasi Newton menyatakan, bahwa gaya gravitasi (gaya tarik-menarik) antara dua benda bermassa sebanding dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut. Karya Newton ini memperlihatkan bahwa hukum-hukum Kepler yang diturunkan secara empiris, sesuai dengan hukum-hukum dasar tentang gerak. Secara matematis hukum gravitasi Newton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Di mana F adalah gaya tarik-menarik Newton, m_1 dan m_2 adalah massa benda 1 dan benda 2, r adalah jarak kedua benda yang

diukur dari masing-masing pusat massanya, dan G adalah konstanta universal yang besarnya $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$. Hukum ini disebut pula hukum interaksi massa.

Apakah akibat dari adanya interaksi massa? Sebagai efek dari adanya gaya gravitasi ini, maka setiap benda akan saling berinteraksi dengan satu sama lain mengerahkan gaya gravitasi yang sama, dan benda yang massanya jauh lebih kecil dapat tertarik ke benda yang massanya jauh lebih besar. Apakah buktinya? Buah durian yang lepas dari tangkainya akan jatuh tertarik ke permukaan Bumi (tanah). Hal ini terjadi karena massa durian sangat jauh lebih kecil dibanding dengan massa Bumi.

Matahari dan planet-planet juga saling tarik-menarik satu sama lain, karena masing-masing memiliki massa. Dan sudah pasti massa Matahari akan jauh lebih besar dari massa planet-planet, karena memiliki ukuran volume yang jauh lebih besar. Mestinya planet-planet jatuh tertarik ke Matahari bukan? Tetapi mengapa planet-planet termasuk Bumi kita tidak jatuh tertarik ke Matahari? Atau Bulan yang massanya jauh lebih kecil tidak jatuh tertarik ke Bumi? Jawabannya adalah karena planet-planet tidak diam, tetapi bergerak mengitari Matahari dengan kecepatan orbit tertentu. Demikian juga dengan Bulan bergerak mengelilingi Bumi. Sebagai efek dari pergerakan ini, maka seolah-olah akan timbul suatu gaya pengimbang yang menetralkan gaya tarik Matahari. Gaya pengimbang ini biasa disebut sebagai gaya sentrifugal. Wujud nyata dari gaya ini adalah sama seperti ketika kita sedang duduk di dalam mobil, kemudian mobil itu bergerak dalam jalan menikung, maka seolah-olah kita tertarik ke arah yang berlawanan dengan arah tikungan. Jika kecepatan mobil saat menikung cukup tinggi, maka seolah-olah kita akan terlempar ke luar.

Besarnya gaya tarik-menarik antara Matahari (bermassa M) dengan suatu planet (bermassa m_p) yang satu sama lain terpisah sejauh R , yaitu:

$$F = G \frac{Mm_p}{R^2}$$

Dan, gaya sentrifugal akibat planet bergerak mengitari Matahari dengan kecepatan linier v , yaitu:

$$F_2 = \frac{m_p v^2}{R}$$

Dalam hal ini lintasan orbit planet dianggap berupa lingkaran.

Karena gaya sentrifugal ini (F_2) mengimbangi gaya tarik Matahari (F_1), maka: $F_1 = F_2$

atau

$$G \frac{Mm_p}{R^2} = \frac{m_p v^2}{R}$$

yang menghasilkan hubungan:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Gaya tarik (F_1) mengarah ke pusat orbit (Matahari), sehingga gaya ini disebut juga gaya sentripetal.

Dari persamaan-persamaan di atas dapat diamati bahwa:

- Kecepatan linier orbit planet berbanding terbalik dengan jaraknya dari Matahari, ini berarti semakin dekat jarak suatu planet ke Matahari, maka gerak planet akan semakin cepat, atau periodenya akan semakin kecil (sesuai dengan hukum kedua Kepler).
- Jika planet diam tidak bergerak mengitari Matahari, atau kecepatannya (v) sama dengan nol, maka gaya sentrifugal (F_2) juga sama dengan nol, dan karena gaya tarik F_1 tidak nol, maka planet akan jatuh tertarik ke Matahari. Selanjutnya, dengan menggabungkan konsep gerak melingkar dan hukum ketiga Kepler, Newton dapat menentukan nilai

konstanta C pada persamaan hukum ketiga Kepler, dengan langkah analisis seperti berikut:

Seperti telah diungkapkan di atas, gaya sentripetal (besarnya sama dengan gaya sentrifugal) yang dikerjakan Matahari terhadap planet adalah.

$$F = \frac{m_p v^2}{R}$$

Tapi kecepatan linier v dapat dinyatakan dalam kecepatan sudut (ω) melalui hubungan $v = \omega R$, dengan demikian persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$F = m_p \omega^2 R$$

Dan, karena kecepatan sudut (ω) terkait dengan periode orbit planet (T) melalui hubungan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

maka persamaan di atas dapat dituliskan seperti berikut:

$$F = m_p \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

Kemudian dengan menggunakan perumusan hukum ketiga Kepler dan persamaan hukum gravitasi Newton dapat dirumuskan persamaan untuk konstanta pada hukum ketiga Kepler (C) seperti berikut:

$$C = \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Studi Kasus

Gejala munculnya interaksi yang berupa gaya tarik-menarik antarbenda yang ada di alam ini disebut gaya gravitasi. Setiap benda di alam ini mengalami gaya gravitasi. Jika

Anda sedang duduk di kursi, sedang berjalan, atau sedang melakukan kegiatan apa pun, terdapat gaya gravitasi yang bekerja pada Anda. Gaya gravitasi merupakan gaya interaksi antarbenda. Pernahkah Anda bertanya kenapa gaya gravitasi yang Anda alami tidak menyebabkan benda-benda yang terdapat di sekitar Anda tertarik ke arah Anda, atau sebaliknya? Di alam semesta, gaya gravitasi menyebabkan planet-planet, satelit-satelit, dan benda-benda langit lainnya bergerak mengelilingi Matahari dalam sistem tata surya dalam lintasan yang tetap.

Isaac Newton adalah orang pertama yang mengemukakan gagasan tentang adanya gaya gravitasi. Menurut cerita, gagasan tentang gaya gravitasi ini diawali dari pengamatan Newton pada peristiwa jatuhnya buah apel dari pohonnya. Kemudian, melalui penelitian lebih lanjut mengenai gerak jatuhnya benda-benda, ia menyimpulkan bahwa apel dan setiap benda jatuh karena tarikan Bumi.

Hukum Kepler mempertanyakan kebenaran astronomi dan fisika warisan zaman Aristoteles dan Ptolomeus. Ungkapan Kepler bahwa Bumi beredar sekeliling, berbentuk elips dan bukannya *epicycle*, dan membuktikan bahwa kecepatan gerak planet bervariasi, mengubah astronomi dan fisika. Hampir seabad kemudian, Isaac Newton mendeduksi Hukum Kepler dari rumusan hukum karyanya, hukum gerak dan hukum gravitasi Newton, dengan menggunakan Euclidean geometri klasik.

Pada era modern, hukum Kepler digunakan untuk aproksimasi orbit satelit dan benda-benda yang mengorbit Matahari, yang semuanya belum ditemukan pada saat Kepler hidup (contoh: planet luar dan asteroid). Hukum ini kemudian diaplikasikan untuk semua benda kecil yang mengorbit benda lain yang jauh lebih besar, walaupun beberapa aspek seperti gesekan atmosfer (contoh: gerakan di orbit rendah), atau relativitas (contoh: prosesi preihelion

Merkurius), dan keberadaan benda lainnya dapat membuat hasil hitungan tidak akurat dalam berbagai keperluan.

Kasus Nyata

Adanya interaksi massa merupakan efek dari adanya gaya gravitasi, maka setiap benda akan saling berinteraksi dengan satu sama lain mengerahkan gaya gravitasi yang sama, dan benda yang massanya jauh lebih kecil dapat tertarik ke benda massanya yang jauh lebih besar. Apakah buktinya? Buah durian yang lepas dari tangkainya akan jatuh tertarik ke permukaan Bumi (tanah). Hal ini terjadi karena massa durian sangat jauh lebih kecil dibanding dengan massa Bumi.

Rangkuman

1. **Hukum Pertama Kepler** menyatakan, bahwa semua planet bergerak dalam lintasan elips mengitari Matahari dengan Matahari berada di salah satu titik fokus elips.
2. **Hukum Kedua Kepler** menyatakan, bahwa luas (S) yang disapu oleh garis penghubung antara planet dan Matahari dalam selang waktu (t) yang sama adalah sama.
3. **Hukum Ketiga Kepler** menyatakan, bahwa perbandingan kuadrat periode revolusi (T^2) terhadap pangkat tiga dari jarak rata-rata planet ke Matahari adalah sama untuk semua planet.
4. **Hukum Titius Bode**, yaitu suatu metode sederhana yang dapat memudahkan dalam mengingat atau menentukan jarak rata-rata antara sebuah planet dengan Matahari dalam satuan astronomis.

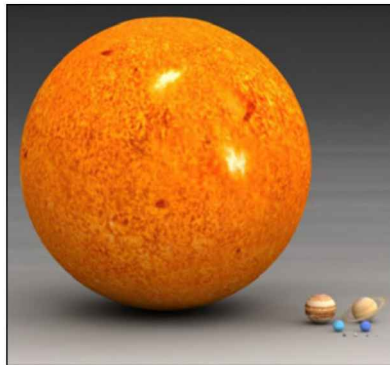
6

Matahari

Tujuan Instruksional:

1. Mampu mendeskripsikan karakteristik Matahari.
 2. Mampu menjelaskan pergerakan Matahari.
 3. Mampu menjelaskan struktur Matahari sebagai bintang.
 4. Mampu memahami jarak dan pergerakan bintang.
 5. Mampu memahami kedudukan Matahari sebagai simbol kepercayaan dan kebudayaan.
 6. Mampu menjelaskan manfaat dan peran Matahari dalam kehidupan sehari-hari.
-

A. Pengertian Umum Matahari



GAMBAR 6.1 Bintang-bintang dan Planet

Matahari adalah bola raksasa yang terbentuk dari gas hidrogen dan helium. Matahari termasuk bintang berwarna putih yang berperan sebagai pusat tata surya. Seluruh komponen

tata surya termasuk delapan planet dan satelit masing-masing, planet-planet kerdil, asteroid, komet, dan debu angkasa berputar mengelilingi Matahari. Matahari mewakili kurang lebih 99,86 persen massa total tata surya. Di samping sebagai pusat peredaran, matahari juga merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan. Panas matahari menghangatkan Bumi dan membentuk iklim, sedangkan cahayanya menerangi Bumi serta dipakai oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis. Tanpa Matahari, tidak akan ada kehidupan di Bumi karena banyak reaksi kimia yang tidak dapat berlangsung.

Nicolas Copernicus adalah orang pertama yang mengemukakan teori bahwa Matahari adalah pusat peredaran tata surya pada abad ke-16. Teori ini kemudian dibuktikan oleh Galileo Galilei dan pengamat angkasa lainnya. Teori yang kemudian dikenal dengan nama heliosentrisme ini mematahkan teori geosentrisme (Bumi sebagai pusat tata surya) yang dikemukakan oleh Ptolomeus dan telah bertahan sejak abad ke-2 SM. Konsep fusi nuklir yang dikemukakan oleh Subrahmanyan Chandrasekhar dan Hans Bethe 1930 akhirnya dapat menjelaskan apa itu Matahari secara tepat.

B. Karakteristik Matahari

Matahari berbentuk bola yang berpijar dengan senyawa penyusun utama berupa gas hidrogen (74%) dan helium (25%) terionisasi. Senyawa penyusun lainnya terdiri dari besi, nikel, silikon, sulfur, magnesium, karbon, neon, kalsium, dan kromium. Cahaya Matahari berasal dari hasil reaksi fusi hidrogen menjadi helium.

Berdasarkan penghitungan menggunakan hukum Newton dengan melibatkan nilai kecepatan orbit Bumi, jarak Matahari, dan gaya gravitasi, diperoleh massa Matahari sebesar $1,989 \times 10^{30}$ kilogram. Angka tersebut sama dengan 333.000 kali massa Bumi. Sementara itu, diameter Matahari adalah 1.392.000 kilometer atau 865.000 mil, sama dengan 109 kali diameter Bumi. Sebagai

perbandingan, sebanyak 1,3 juta planet seukuran Bumi dapat masuk ke dalam Matahari. Oleh karena itu, Matahari menjadi objek terbesar di tata surya dengan massa mencapai 99,85% dari total massa tata surya.

Matahari merupakan bintang yang paling dekat dengan Bumi, yaitu berjarak rata-rata 149.600.000 kilometer (92,96 juta mil). Jarak Matahari ke Bumi ini dikenal sebagai satuan astronomi dan biasa dibulatkan (untuk penyederhanaan hitungan) menjadi 150 juta km.

Berdasarkan penghitungan dengan metode analisis radioaktif, diketahui bahwa batuan Bulan, meteorit, dan batuan Bumi tertua yang pernah ditemukan berusia sekitar 4,6 miliar tahun. Sementara itu, sampel batuan Matahari belum pernah didapatkan, sehingga penghitungan dilakukan secara matematika menggunakan model interior Matahari. Berdasarkan hasil penghitungan matematika adalah Matahari diperkirakan berusia $5 \pm 1,5$ miliar tahun. Namun oleh karena tata surya diketahui terbentuk sebagai satu kesatuan dalam waktu yang berdekatan maka kini secara umum Matahari dianggap berusia 4,6 miliar tahun.

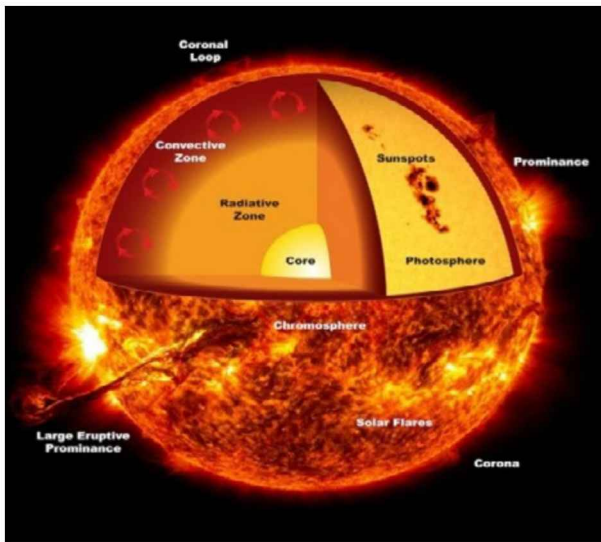
Matahari tergolong bintang tipe G V, dengan ciri memiliki suhu permukaan sekitar 6.000 K dan umumnya bertahan selama 10 miliar tahun. Matahari diperkirakan berusia sekitar 7 miliar tahun lagi, sebelum hidrogen di intinya habis. Bila hal tersebut terjadi, Matahari akan berekspansi menjadi bintang raksasa berwarna merah yang dingin dan 'memakan' planet-planet kecil di sekitarnya (mungkin termasuk Bumi) sebelum akhirnya kembali menjadi bintang kerdil berwarna putih kembali.

Gaya gravitasi di Matahari sebanding dengan 28 kali gravitasi di Bumi. Secara teori hal tersebut berarti bila seseorang memiliki berat 100 kg di Bumi, maka bila berjalan di permukaan Matahari beratnya akan terasa seperti 2.800 kg. Gravitasi Matahari memungkinkannya menarik semua komponen penyusunnya membentuk suatu bentuk bola sempurna. Gravitasi Matahari jugalah

yang menahan planet-planet yang mengelilinginya tetap berada pada orbit masing-masing. Pengaruh dari gravitasi Matahari masih dapat terasa hingga jarak 2 tahun cahaya.

Radiasi Matahari, lebih dikenal sebagai cahaya Matahari, adalah campuran gelombang elektromagnetik yang terdiri dari gelombang inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet. Semua gelombang elektromagnetik ini bergerak dengan kecepatan sekitar $3,0 \times 10^8$ m/s. Oleh karena itu, radiasi atau cahaya memerlukan waktu 8 menit untuk sampai ke Bumi. Matahari juga menghasilkan sinar gamma, namun frekuensinya semakin kecil seiring dengan jaraknya meninggalkan inti.

C. Struktur Matahari



GAMBAR 6.2 Struktur Matahari

Matahari memiliki enam lapisan yang masing-masing memiliki karakteristik tertentu. Keenam lapisan tersebut meliputi inti Matahari, zona radiatif, dan zona konvektif yang memben-

tuk lapisan dalam (interior); fotosfer; kromosfer; dan korona sebagai daerah terluar dari Matahari.

1. Inti Matahari

Inti adalah area terdalam dari Matahari yang memiliki suhu sekitar 15 juta derajat Celcius (27 juta derajat Fahrenheit). Berdasarkan perbandingan radius/diameter, bagian inti berukuran seperempat jarak dari pusat ke permukaan dan 1/64 total volume Matahari. Kepadatannya adalah sekitar 150 g/cm^3 . Suhu dan tekanan yang sedemikian tingginya memungkinkan adanya pemecahan atom-atom menjadi elektron, proton, dan neutron. Neutron yang tidak bermuatan akan meninggalkan inti menuju bagian Matahari yang lebih luar. Sementara itu, energi panas di dalam inti menyebabkan pergerakan elektron dan proton sangat cepat dan bertabrakan satu dengan yang lain menyebabkan reaksi fusi nuklir (sering juga disebut termonuklir). Inti Matahari adalah tempat berlangsungnya reaksi fusi nuklir helium menjadi hidrogen. Energi hasil reaksi termonuklir di inti berupa sinar gamma dan neutrino memberi tenaga sangat besar sekaligus menghasilkan seluruh energi panas dan cahaya yang diterima di Bumi. Energi tersebut dibawa keluar dari Matahari melalui radiasi.

2. Zona Radiatif

Zona radiatif adalah daerah yang menyelubungi inti Matahari. Energi dari inti dalam bentuk radiasi berkumpul di daerah ini sebelum diteruskan ke bagian Matahari yang lebih luar. Kepadatan zona radiatif adalah sekitar 20 g/cm^3 dengan suhu dari bagian dalam ke luar antara 7 juta hingga 2 juta derajat Celcius. Suhu dan densitas zona radiatif masih cukup tinggi, namun tidak memungkinkan terjadinya reaksi fusi nuklir.

3. Zona Konvektif

Zona konvektif adalah lapisan di mana suhu mulai menurun.

Suhu zona konvektif adalah sekitar 2 juta derajat Celcius (3.5 juta derajat Fahrenheit). Setelah keluar dari zona radiatif, atom-atom berenergi dari inti Matahari akan bergerak menuju lapisan lebih luar yang memiliki suhu lebih rendah. Penurunan suhu tersebut menyebabkan terjadinya perlambatan gerakan atom, sehingga pergerakan secara radiasi menjadi kurang efisien lagi. Energi dari inti Matahari membutuhkan waktu 170.000 tahun untuk mencapai zona konvektif. Saat berada di zona konvektif, pergerakan atom akan terjadi secara konveksi di area sepanjang beberapa ratus kilometer yang tersusun atas sel-sel gas raksasa yang terus bersirkulasi.

Atom-atom bersuhu tinggi yang baru keluar dari zona radiatif akan bergerak dengan lambat mencapai lapisan terluar zona konvektif yang lebih dingin, menyebabkan atom-atom tersebut “jatuh” kembali ke lapisan teratas zona radiatif yang panas yang kemudian kembali naik lagi. Peristiwa ini terus berulang menyebabkan adanya pergerakan bolak-balik yang menyebabkan transfer energi seperti yang terjadi saat memanaskan air dalam panci. Oleh sebab itu, zona konvektif dikenal juga dengan nama zona pendidihan (*the boiling zone*). Materi energi akan mencapai bagian atas zona konvektif dalam waktu beberapa minggu.

4. Fotosfer

Fotosfer atau permukaan Matahari meliputi wilayah setebal 500 kilometer dengan suhu sekitar 5.500 derajat Celcius (10.000 derajat Fahrenheit). Sebagian besar radiasi Matahari yang dilepaskan keluar berasal dari fotosfer. Energi tersebut diobservasi sebagai sinar Matahari di Bumi, 8 menit setelah meninggalkan Matahari.

5. Kromosfer

Kromosfer adalah lapisan di atas fotosfer. Warna dari kromosfer biasanya tidak terlihat karena tertutup cahaya yang begitu terang yang dihasilkan fotosfer. Namun saat terjadi gerhana

Matahari total, di mana Bulan menutupi fotosfer, bagian kromosfer akan terlihat sebagai bingkai berwarna merah di sekeliling Matahari. Warna merah tersebut disebabkan oleh tingginya kandungan helium di sana.

6. Korona

Korona merupakan lapisan terluar dari Matahari. Lapisan ini berwarna putih, namun hanya dapat dilihat saat terjadi gerhana karena cahaya yang dipancarkan tidak sekuat bagian matahari yang lebih dalam. Saat gerhana total terjadi, korona terlihat membentuk mahkota cahaya berwarna putih di sekeliling Matahari. Lapisan korona memiliki suhu yang lebih tinggi dari bagian dalam Matahari dengan rata-rata 2 juta derajat Fahrenheit, namun di beberapa bagian bisa mencapai suhu 5 juta derajat Fahrenheit.

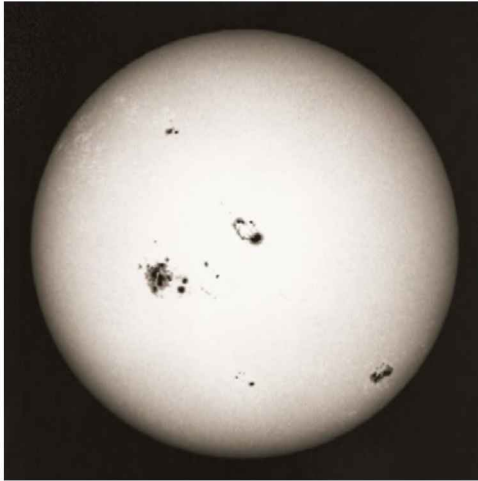
Jembatan Keledai

Lapisan penyusun Matahari: IMA, ZORA, ZOKO, FOKROKO
Singkatan dari Inti Matahari, ZO_na RA_diatif, ZO_na KO_nvektif,
FO_tosfer, KRO_mosfer, KO_rona.

D. Pergerakan Matahari

Matahari mempunyai dua macam pergerakan, yaitu:

1. Matahari berotasi pada sumbunya selama sekitar 27 hari untuk mencapai satu kali putaran. Gerakan rotasi ini pertama kali diketahui melalui pengamatan terhadap perubahan posisi bintik Matahari. Sumbu rotasi Matahari miring sejauh $7,25^\circ$ dari sumbu orbit Bumi, sehingga kutub utara Matahari akan lebih terlihat di bulan September, sementara kutub selatan Matahari lebih terlihat di bulan Maret. Matahari bukanlah bola padat, melainkan bola gas, sehingga Matahari tidak berotasi dengan kecepatan yang seragam. Ahli astronomi mengemukakan bahwa rotasi bagian interior Matahari tidak sama dengan bagian permukaannya.



GAMBAR 6.3 Bintang Matahari

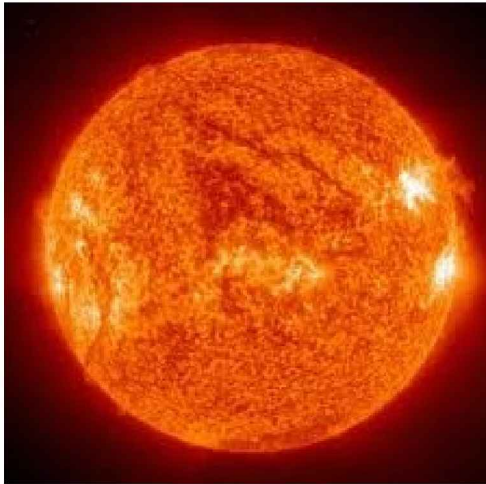
2. Bagian inti dan zona radiatif berotasi bersamaan, sedangkan zona konvektif dan fotosfer juga berotasi bersama namun dengan kecepatan yang berbeda. Bagian ekuatorial (tengah) memakan waktu rotasi sekitar 24 hari, sedangkan bagian kutubnya berotasi selama sekitar 31 hari. Sumber perbedaan waktu rotasi Matahari tersebut masih diteliti.
3. Matahari dan keseluruhan isi tata surya bergerak di orbitnya mengelilingi galaksi Bimasakti. Matahari terletak sejauh 28.000 tahun cahaya dari pusat galaksi Bimasakti. Kecepatan rata-rata pergerakan ini adalah 828.000 km/jam sehingga diperkirakan akan membutuhkan waktu 230 juta tahun untuk mencapai satu putaran sempurna mengelilingi galaksi.

E. Jarak Matahari ke Bintang Terdekat

Sistem bintang yang terdekat dengan Matahari adalah Alpha Centauri. Bintang yang dalam kompleks tersebut yang memiliki posisi terdekat dengan matahari adalah Proxima Centauri, sebuah bintang berwarna merah redup yang terdapat dalam rasi bintang Centaurus. Jarak Matahari ke Proxima Centauri adalah

sejauh 4,3 tahun cahaya (39.900 juta km atau 270 ribu unit astronomi), kurang lebih 270 ribu kali jarak matahari ke Bumi. Para ahli astronomi mengetahui bahwa benda-benda angkasa senantiasa bergerak dalam orbit masing-masing. Oleh karena itu, perhitungan jarak dilakukan berdasarkan pada perubahan posisi suatu bintang dalam kurun waktu tertentu dengan berpatokan pada posisinya terhadap bintang-bintang sekitar. Metode pengukuran ini disebut paralaks (*parallax*).

F. Struktur Matahari sebagai Bintang



GAMBAR 6.4 Bentuk Matahari

Bintang adalah benda angkasa yang mempunyai cahaya sendiri dan gas pijar. Kekuatan cahaya bintang ditentukan berdasarkan magnitude (tingkat terang). Matahari disebut bintang karena Matahari mampu menghasilkan dan memancarkan cahaya sendiri melalui reaksi fusi nuklir. Matahari merupakan bintang terdekat dengan Bumi yang menjadi pusat dari tata surya, sehingga matahari mampu “menarik dan mengatur” anggota tata surya lainnya. Cahaya Matahari dibandingkan bintang yang

lain terasa lebih cemerlang. Hal itulah yang menyebabkan pada waktu siang hari kita tidak dapat melihat bintang selain Matahari.

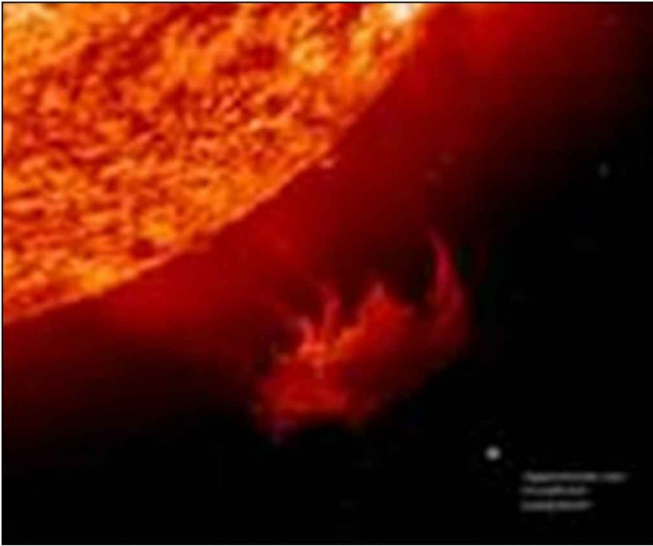
Matahari adalah bintang terdekat dengan Bumi dengan jarak rata-rata 149.680.000 kilometer (93.026.724 mil). Matahari serta kedelapan buah planet (yang sudah diketahui/ditemukan oleh manusia) membentuk tata surya. Matahari dikategorikan sebagai bintang kecil jenis G.

Matahari adalah suatu bola gas yang pijar dan ternyata tidak berbentuk bulat betul. Matahari mempunyai khatulistiwa dan kutub karena gerak rotasinya. Garis tengah ekuatorialnya 864.000 mil, sedangkan garis tengah antarkutubnya 43 mil lebih pendek. Matahari merupakan anggota tata surya yang paling besar, karena 98 persen massa tata surya terkumpul pada Matahari.

Di samping sebagai pusat peredaran, Matahari juga merupakan pusat sumber tenaga di lingkungan tata surya. Matahari terdiri dari inti dan tiga lapisan kulit, masing-masing fotosfer, kromosfer, dan korona. Untuk terus bersinar, Matahari, yang terdiri dari gas panas menukar zat hidrogen dengan zat helium melalui reaksi fusi nuklir pada kadar 600 juta ton, dengan itu kehilangan empat juta ton massa setiap saat.

Matahari dipercayai terbentuk pada 4,6 miliar tahun lalu. Kepadatan massa Matahari adalah 1,41 berbanding massa air. Jumlah tenaga Matahari yang sampai ke permukaan Bumi yang dikenali sebagai konstan surya menyamai 1.370 watt per meter persegi setiap saat. Matahari sebagai pusat tata surya merupakan bintang generasi kedua. Material dari Matahari terbentuk dari ledakan bintang generasi pertama seperti yang diyakini oleh ilmuwan, bahwasanya alam semesta ini terbentuk oleh ledakan big bang sekitar 14.000 juta tahun lalu.

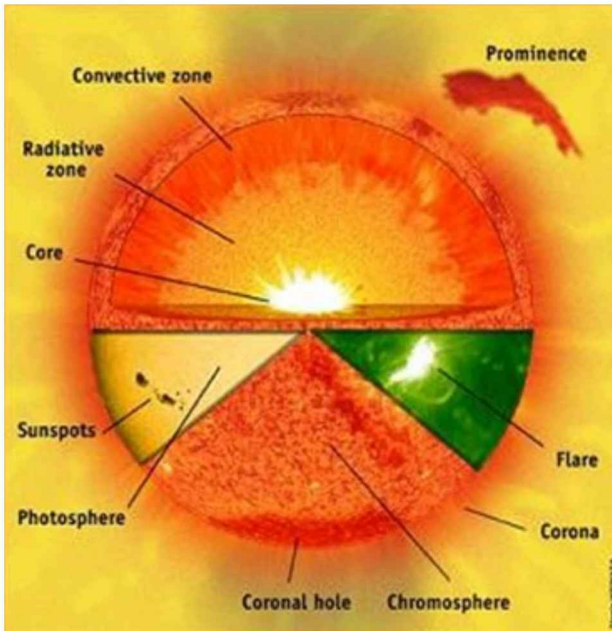
Matahari memancarkan energi dalam bentuk cahaya ke segala arah. Energi yang dipancarkan tersebut hanya sebagian kecil yang sampai di Bumi. Namun sejumlah energi yang kecil tersebut sudah cukup sebagai sumber energi di Bumi. Berdasar-



GAMBAR 6.5 Ledakan Matahari

kan hasil penelitian, setiap 1 cm^2 atmosfer Bumi rata-rata menerima energi Matahari sebesar 2 kalori setiap menit (8,4 joule/menit). Nilai 2 kalori per menit ini selanjutnya disebut konstanta Matahari. Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa Matahari merupakan bola gas yang sangat panas. Bola gas tersebut terdiri atas 70% gas hidrogen, 25% gas helium, dan 5% unsur-unsur lain seperti gas oksigen, karbon, neon, besi, nitrogen, silikon, magnesium, nikel, dan belerang (sulfur).

Wujud Matahari adalah bola gas berpijar yang sangat besar. Berpijarnya bola gas tersebut disebabkan oleh adanya reaksi fusi di bagian inti Matahari. Oleh karena itu, inti Matahari mempunyai suhu yang paling tinggi dibandingkan bagian-bagian yang lain. Berdasarkan letaknya, susunan lapisan Matahari dapat dibedakan menjadi empat macam. Lapisan-lapisan tersebut mulai dari yang terdalam berturut-turut adalah lapisan inti, fotosfer, kromosfer, dan korona.



GAMBAR 6.6 Susunan Tubuh Matahari

1. Inti

Inti merupakan bagian yang paling dalam dari Matahari. Suhu di lapisan ini diperkirakan mencapai 16 juta °C. Oleh karena itu, di lapisan inilah reaksi fusi dapat berlangsung. Energi hasil reaksi fusi dipancarkan ke luar secara radiasi.

2. Fotosfer (Lapisan Cahaya)

Fotosfer merupakan permukaan Matahari yang tebalnya kurang lebih 350 km. Lapisan inilah yang memancarkan cahaya sangat kuat. Oleh karena itu, fotosfer juga disebut lapisan cahaya. Suhu di fotosfer diperkirakan rata-rata 6.000 °C. Pada suhu tersebut, suatu benda memancarkan cahaya berwarna kuning. Hal ini sesuai dengan cahaya Matahari yang berwarna kekuning-kuningan.

3. Kromosfer

Kromosfer merupakan lapisan gas di atas fotosfer yang tebalnya sekitar 16.000 km. Oleh karena itu, kromosfer sering disebut lapisan atmosfer Matahari. Di lapisan bawah (dekat fotosfer), suhu kromosfer diperkirakan sekitar 4.000 °C. Makin ke atas, suhu kromosfer makin tinggi. Pada lapisan yang paling atas, suhu kromosfer diperkirakan mencapai 10.000 °C. Kromosfer hanya dapat dilihat pada saat terjadi gerhana Matahari total. Pada saat itu, kromosfer tampak seperti gelang atau cincin yang berwarna merah.

4. Korona

Korona merupakan lapisan Matahari yang paling luar. Lapisan ini juga sering disebut lapisan atmosfer Matahari bagian luar. Korona juga merupakan lapisan gas yang sangat tipis. Gas tersebut sering tampak seperti mahkota putih cemerlang yang mengelilingi Matahari. Oleh karena itu, lapisan gas tersebut disebut korona, artinya mahkota. Karena merupakan lapisan gas tipis, bentuk korona selalu berubah-ubah. Tebal korona diperkirakan mencapai 2,5 juta km. Adapun suhunya diperkirakan mencapai 1 juta °C. Korona dapat diamati setiap saat dengan teleskop. Teleskop yang digunakan untuk mengamati korona disebut koronagraf.

G. Asal Usul Bintang

Setiap tahun, bintang-bintang terbentuk di dalam nebula yang sekaligus merupakan bahan bakarnya. Melalui reaksi nuklir yang luar biasa, bintang mengonsumsi miliaran ton bahan bakar setiap detik. Cadangan hidrogen Matahari sangat besar sekitar 2000 miliar ton.

Bintang terlahir di dalam awan hidrogen dan debu yang sangat besar yang disebut nebula. Ledakan sebuah atau beberapa bintang di sekitarnya memengaruhi nebula, dan gravitasi mu-



GAMBAR 6.7 Pembentukan Bintang

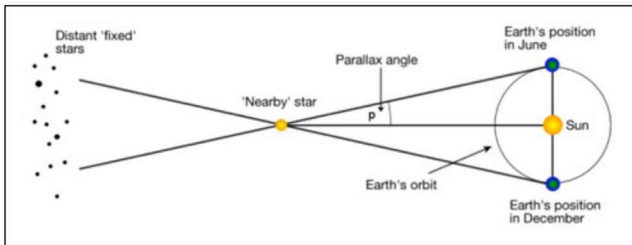
lai yang memegang. Awan lambat laun berkontraksi di bawah pengaruh gravitasi, dan materi akan menggumpal secara alami. Awan mulai berotasi dan temperaturnya meningkat. Embrio bintang (protostar) terbentuk. Tak lama kemudian reaksi nuklir terjadi. Protostar membutuhkan waktu 10 miliar tahun untuk kemudian menjadi sebuah bintang yang akan bersinar sampai seluruh cadangan hidrosfer yang dimilikinya berubah menjadi helium.

Jika protostar tidak memiliki cukup massa untuk membangkitkan reaksi nuklir, ia akan menjadi katai coklat. Protostar dengan massa yang cukup akan memicu proses fusi termonuklir dan mengawali kehidupan dewasanya sebagai bintang deret utama.

Ini seperti Matahari kita saat ini. Setelah 10 miliar tahun, bintang tersebut akan berubah menjadi raksasa merah dengan diameter 100 diameter Matahari dan ratusan kali lebih terang. Lambat laun, lapisan bagian luar raksasa merah terlontar ke angkasa dan membentuk planetari nebula selama 1 miliar tahun.

Kemudian, inti bintang akan terus berkontraksi hingga menjadi seukuran Bumi dan menjadi katai putih, objek dengan kepadatan luar biasa. Jika katai putih memiliki bintang pasangan, akan menarik materialnya dan akan menjadi nova 1 yang sangat terang. Bintang akan meredup terus hingga tidak bersinar kembali. Setelah beberapa miliar tahun akan menjadi bintang mati, katai gelap.

H. Jarak Bintang



GAMBAR 6.8 Jarak Bintang

Bintang yang terdekat dari kita setelah Matahari (jarak 150.000.000 km) adalah bintang Proksima Centauri yang berjarak 40.000.000 km. Begitu banyaknya angka yang harus ditulis membuat astronom menggunakan satuan lain untuk menyatakan jarak bintang. Dengan mengetahui bahwa dalam 1 detik cahaya bergerak melintasi 300.000 km, maka astronom mendefinisikan satuan cahaya (1 tahun cahaya = $9,46 \times 10^{12}$ km) sebagai acuan jarak bintang. Dengan demikian, cahaya membutuhkan waktu sekitar 500 detik untuk sampai ke Bumi dari Matahari, dan 4,3 tahun dari bintang Proksima Centauri. Dengan kata lain jarak Bumi-Proksima Centauri adalah 4,3 tahun cahaya.

Penentuan jarak bintang baru dapat dilakukan pada abad ke-19, dan dikenal dengan nama cara *paralaks trigonometri*. Akibat gerak edar Bumi mengelilingi Matahari, maka bintang yang dekat akan terlihat bergeser letaknya relatif terhadap bin-

tang-bintang yang lebih jauh. Bintang tersebut seolah bergerak menempuh lintasan berbentuk elips yang sebenarnya merupakan pencerminan gerak Bumi. Jika sudut p adalah bentangan sudut yang dibentuk antara posisi bintang saat tertentu relatif pada saat acuan, maka dari trigonometri sederhana dapat dirumuskan sebagai $p = \alpha_0 / \alpha$ dengan α_0 adalah jarak Matahari Bumi, dan α adalah jarak Bumi ke bintang. Karena p sudut yang kecil, maka jika dinyatakan dalam radian dapat dituliskan $\sin p = \alpha_0 / \alpha$.

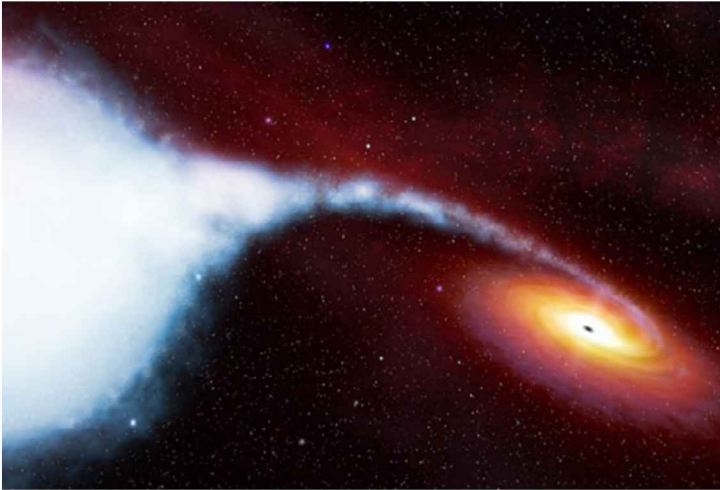
Sebagai ilustrasi, bintang 61 Cygni (di rasi *Cygnus*) diukur paralaksnya 0,3 detik busur, maka dengan rumus di atas dengan mudah dapat dihitung jaraknya 10^{14} km. Astronom kerap kali menggunakan satuan jarak parsek, yang didefinisikan sebagai jarak bintang yang paralaksnya 1 detik busur. Hubungan yang diperoleh adalah 1 parsek = 3,26 tahun cahaya.

TABEL 6.1: Bintang-bintang yang Terdekat dengan Matahari yang Sudah Ditentukan Paralaksnya

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

I. Gerak Bintang

Bintang tidak diam, tetapi bergerak di ruang angkasa. Pergerakan bintang ini sangat sukar diikuti karena jaraknya yang sangat jauh, sehingga kita melihat bintang seolah-olah tetap diam pada tempatnya sejak dahulu hingga sekarang. Bila diamati, bintang selalu bergerak di langit malam, baik itu tiap jam maupun tiap hari akibat pergerakan Bumi relatif terhadap bintang



GAMBAR 6.9 Pergerakan Bintang

(rotasi dan revolusi Bumi). Walaupun begitu, bintang sebenarnya benar-benar bergerak karena mengitari pusat galaksi, namun pergerakannya itu sangat kecil sehingga hanya dapat dilihat dalam pengamatan berabad-abad. Gerak semacam inilah yang disebut gerak sejati bintang. Gerak sejati biasanya diberi simbol dengan μ dan dinyatakan dalam detik busur per tahun. Bintang yang gerak sejatinya terbesar adalah *bintang Barnard* dengan $\mu = 10'',25$ per tahun (dalam waktu 180 tahun bintang ini hanya bergeser selebar bulan purnama).

Gerak sejati bintang dibedakan menjadi dua berdasarkan arah geraknya, yaitu:

1. Kecepatan radial: kecepatan bintang menjauhi atau mendekati pengamat (sejajar garis pandang).
2. Kecepatan tangensial: kecepatan bintang bergerak di bola langit (pada bidang pandang).

Adapun kecepatan total adalah kecepatan gerak sejati bintang yang sebenarnya (semua komponen).

1. Kecepatan Radial

Kecepatan radial, seperti telah dijelaskan sebelumnya, adalah kecepatan bintang menjauhi atau mendekati pengamat. Kecepatan ini biasanya cukup besar, sehingga terjadi peristiwa pergeseran panjang gelombang. Kecepatan radial bintang dapat diukur dengan metode Efek Doppler.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{c + v_r}{c - v_r}} - 1$$

Atau, dengan pendekatan untuk $v_r \ll c$ dapat digunakan versi nonrelativistik yaitu:

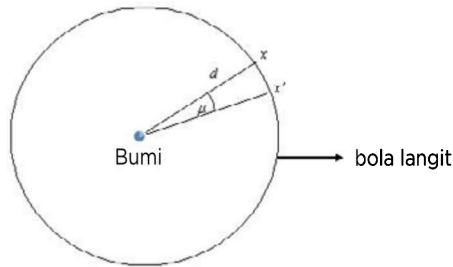
$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$$

Kebanyakan gerak bintang-bintang yang dapat diamati geraknya memiliki kelajuan yang jauh di bawah kelajuan cahaya, sehingga kita gunakan saja persamaan yang kedua. Penting untuk mengetahui kecepatan bintang dan galaksi umumnya dinyatakan dalam km/s.

2. Kecepatan Tangensial

Kecepatan tangensial adalah kecepatan gerak bintang pada bola langit. Misalkan pada suatu tahun, bintang tersebut berada pada α, δ sekian, namun pada tahun berikutnya posisinya berubah. Perubahan koordinat dalam tiap tahun ini disebut *proper motion* (μ) yang merupakan kecepatan sudut bintang (perubahan sudut per perubahan waktu). Kecepatan liniernya dinyatakan dalam satuan kilometer per detik. Kecepatan linier inilah yang dikatakan kecepatan tangensial, yang dapat dicari dengan menggunakan rumus keliling lingkaran. Misal perubahan posisi bintang dari x ke x' , yaitu sebesar μ (detik busur) setiap tahunnya.

Perhatikan gambar gerak tangensial bintang:



d (parsec) dan μ (")

Kita juga memiliki hubungan $d = 1/p$ untuk d dalam parsec dan p dalam detik busur.

$$\text{Keliling} = 360^\circ = 1296000''$$

$$\text{Keliling} = 2\pi d = 2\pi/p$$

$$x - x' = 8 = \frac{\mu}{1296000} \times \text{keliling}$$

Dan, mengingat definisi kecepatan sudut, $v = \omega d$, maka:

$$v = \frac{\mu}{1296000} \times \frac{2\pi}{p} \text{ parsec/tahun}$$

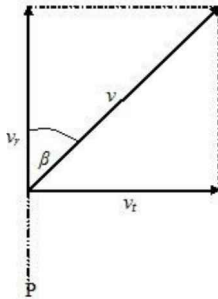
$$v = \frac{\mu}{1296000} \times \frac{2\pi}{p} \times \frac{(3,086 \times 10^{13}) \text{ km}}{(365,25 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}}$$

$$v = \frac{4,74 \mu}{p} \text{ km/s}$$

3. Kecepatan Total

Di atas kita telah membahas kecepatan bintang dalam arah radial dan tangensial, sekarang kita akan mencari kecepatan total bintang, v . Karena arah sumbu radial dan tangensial tegak lurus, maka dengan mudah kita dapat menyelesaikannya menggunakan dalil Pythagoras atau trigonometri. Ingatlah sudut yang dibentuk antara sumbu radial dan vektor kecepatan bintang

disebut sudut β .



GAMBAR 6.10 Diagram Kecepatan Total

$$v^2 = v_r^2 + v_t^2$$

$$v_r = v \cos \beta$$

$$v_t = v \sin \beta$$

J. Magnitudo Bintang



GAMBAR 6.11 Magnitudo Bintang

Bintang merupakan benda langit yang sangat besar. Jika kita amati secara saksama, maka warna bintang di langit berbeda-beda, ada yang kekuning-kuningan, merah, dan biru. Dapat kita simpulkan (dengan hukum Wien pada fisika radiasi, di mana $\lambda_{maks} T = \text{konstan}$) bahwa bintang yang biru memiliki suhu tinggi, sedang yang bersuhu rendah berwarna merah. Jadi, dengan mengamati warna bintang astronom dapat mengukur suhu bintang tersebut. Pada kenyataannya diperlukan alat ukur yang sangat teliti untuk keperluan pengukuran warna bintang.

Kalau diperhatikan, maka jelas kita memiliki kesan ada bintang yang terang dan ada yang lemah cahayanya. Hipparchus (100 SM) mencoba secara kuantitatif memberikan skala terang bintang dalam konsep magnitude, yang dalam versi modernnya digambarkan sebagai berikut. Ua bintang yang salah satunya lebih terang 100 kali memiliki magnitude 5 kali lebih kecil, atau dengan kata lain, jika E_1 adalah fluks energi bintang 1 dan E_2 adalah fluks energi bintang 2. m_1 adalah magnitude bintang 1, m_2 adalah magnitude bintang 2, maka dapat dirumuskan:

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

Terang bintang yang diukur di Bumi hanyalah terang semu (magnitude nisbi), yaitu terang yang kita lihat, bukan terang sebenarnya. Ada bintang yang sebenarnya sangat terang, tetapi karena begitu jauhnya maka tampak redup. Sebaliknya ada bintang yang sebenarnya tidak terlalu terang, tetapi karena dekat, jadi tampak berkilau. Untuk mengetahui keadaan intrinsik suatu bintang, astronom perlu mengetahui terang sebenarnya (terang mutlak) bintang, yakni magnitude mutlak. Magnitude mutlak suatu bintang adalah terang bintang dalam magnitude jika diamati dari jarak 32,6 tahun cahaya atau 10 parsek (pc), dan dirumuskan:

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

Dengan m magnitude semu (nisbi), M magnitude mutlak, dan

$d(pc)$ adalah jarak bintang dalam satuan parsek. Oleh karena itu, jarak sebuah bintang merupakan informasi yang sangat penting dalam astronomi.

Dari pembicaraan mengenai Matahari diungkapkan, bahwa gelombang elektromagnetik yang dipancarkan sebagai cahaya polikromatik dapat diuraikan ke dalam warna-warna. Uraian cahaya inilah yang disebut spektrum. Dengan hukum Kirchoff untuk spektrum kontinu (malar), emisi dan absorbs, maka dasar spektroskopi (ilmu penelaahan spektrum cahaya) dibentuk.

Bila spektrum berbagai bintang diamati, terlihat pola garis spektrumnya berbeda-beda. Astronom mengelompokkan spektrum bintang berdasarkan kemiripan susunan garis spektrumnya. Klasifikasi spektrum bintang dalam astronomi modern dinyatakan dengan simbol-simbol kelas spektrum O, B, A, F, G, K, dan M. Untuk memudahkan mengingat urutan klasifikasi spektrum bintang tersebut dibuat jembatan keledai sebagai berikut: *"Oh Be A Fine Girl (Cuy) Kiss Me"*.

Awalnya perbedaan pola spektrum bintang diduga karena perbedaan komposisi kimiawi bintang, tetapi ternyata teori struktur dan angkasa bintang modern menunjukkan bahwa penyebab utamanya adalah perbedaan suhu bintang. Unsur dasar yang paling dominan dalam tubuh bintang adalah hidrogen, diikuti oleh helium dan dengan fraksi kecil sekali unsur-unsur atom berat.

TABEL 6.2 Klasifikasi Spektrum Bintang

Kelas spectrum	Suhu	Warna
O	> 25.000 K	Biru
B	11.000 - 25.000 K	Biru
A	7.500 - 11.000 K	Biru
F	6.000 - 7.500 K	Biru keputih - putihan
G	5.000 - 6.000 K	Putih kekuning - kuningan
K	3.500 - 5.000 K	Jingga kemerah - merahan
M	< 3.500 K	Merah

K. Matahari sebagai Simbol Kepercayaan dan Kebudayaan

Ra (atau Re) adalah dipuja sebagai Dewa Matahari sekaligus pencipta di kebudayaan Mesir Kuno. Pada hieroglif, Matahari digambarkan sebagai sebuah cakram. Ra menyimbolkan mata langit sehingga sering digambarkan sebagai cakram yang berada pada kepala burung falkon atau cakram bersayap. Dewa Ra dipercaya mengendarai kereta perang melintasi langit di siang hari. Dewa Ra juga digambarkan sebagai penjaga *pharaoh* atau Raja Mesir. Selain itu, Ra digambarkan sebagai dewa yang sudah tua dan tinggal di langit untuk mengawasi dunia.

Dalam mitologi India, Matahari disebut dengan nama “Surya”. Selain sebagai Matahari itu sendiri, surya juga dikenal sebagai Dewa Matahari. Kata *surya* berasal dari bahasa Sanskerta *sur* atau *svar* yang berarti bersinar. Surya digambarkan sebagai dewa yang memegang keseimbangan di muka Bumi. Penyembahan Matahari telah dilakukan oleh penganut kepercayaan Hindu selama ribuan tahun. Kini perayaan Matahari terbit masih dilangsungkan di pinggiran Sungai Gangga yang terletak di kota tersuci di India, Kota Benares. Surya Namaskar atau penghormatan kepada Matahari adalah sebuah gerakan penting dalam yoga.

Helios adalah dewa Matahari dalam mitologi Yunani. Helios disebut juga sebagai Sol Invictus di kebudayaan Romawi. Selain itu, Helios juga merupakan sisi lain dari Apollo. Dikisahkan Helios adalah dewa yang bermahkotakan halo Matahari dan mengendarai kereta perang menuju ke angkasa. Helios adalah dewa yang bertanggung jawab memberikan cahaya ke surga dan Bumi dengan cara menambat Matahari di kereta yang dikendalainya.

Bangsa Inca menyembah dewa Matahari yang bernama Inti, sebagai dewa tertinggi. Dewa Inti dipercaya menganugerahkan peradaban Inca kepada anaknya, Manco Capac, yang juga me-

rupakan raja bangsa Inca yang pertama. Bangsa Inca menyebut diri mereka sebagai anak-anak Matahari. Setiap tahun mereka memberikan persembahan hasil panen dalam jumlah besar untuk upacara-upacara yang berhubungan dengan penyembahan Matahari.

Dewa Matahari yang disembah oleh bangsa Maya adalah Kinich-ahau. Kinich-ahau adalah pemimpin bagian utara. Suku Aztec menyembah Huitzilopochtli, yang merupakan dewa perang dan simbol Matahari. Setiap hari Huitzilopochtli dikisahkan menggunakan sinar Matahari untuk mengusir kegelapan dari langit, namun setiap malam dewa ini mati dan kegelapan datang kembali. Untuk memberi kekuatan pada dewa mereka, bangsa Aztec mempersembahkan jantung manusia setiap hari.

Shintoisme merupakan agama yang berinti pada penyembahan Dewi Matahari yang bernama Amaterasu masih terus bertahan di Jepang. Jepang memiliki julukan “Negara Matahari Terbit”. Intihuatana, bangunan yang berfungsi sebagai penanda waktu di masa peradaban Inca.

L. Bangunan dan Benda yang Berhubungan dengan Matahari

1. Jam Matahari adalah seperangkat alat yang dipakai sebagai penunjuk waktu berdasarkan bayangan gnomon (batang atau lempengan penanda) yang berubah-ubah letaknya seiring dengan pergerakan Bumi terhadap Matahari. Jam Matahari berkembang di antara kebudayaan kuno Babylonia, Yunani, Mesir, Romawi, China, dan Jepang. Jam Matahari tertua yang pernah



GAMBAR 6.12 Jam Matahari

ditemukan oleh Chaldean Berosis, yang hidup sekitar 340 SM. Beberapa artefak jam Matahari lain ditemukan di Tivoli, Italia tahun 1746, di Castel Nuovo tahun 1751, di Rigano tahun 1751, dan di Pompeii tahun 1762.

2. Stonehenge yang terletak di Wiltshire, Inggris, memiliki pilar batu terbesar yang disebut Heelstone, menandai posisi terbitnya Matahari tanggal 21 Juni (posisi Matahari tepat di utara Bumi).
3. Observatorium kuno yang dibangun bagi Dewa Ra masih dapat ditemui di Luxor, sebuah kota di dekat sungai Nil di Mesir. Adapun El Karmak adalah kuil yang juga dibangun untuk Dewa Ra dan terletak di timur laut Luxor. Ratusan obelisk Mesir yang berfungsi sebagai jam Matahari pada masanya juga dapat ditemukan di Luxor dan Heliopolis (kota Matahari).
4. Salah satu bangunan terkenal yang didedikasikan untuk surya dibangun pada abad ke-13 bernama Surya Deula (Candi Matahari) yang terletak di Konarak, India.
5. Pilar Intihuatana yang terletak di kawasan Machu Picchu adalah bangunan yang didirikan oleh bangsa Inca. Pada tengah hari setiap tanggal 21 Maret dan 21 September, posisi Matahari akan berada hampir tepat di atas pilar sehingga tidak akan ada bayangan pilar sama sekali. Pada saat inilah, masyarakat Inca akan mengadakan upacara di tempat tersebut karena mereka percaya bahwa Matahari sedang diikat di langit. Intihuatana dipakai untuk menentukan hari di mana terjadi *equinox* (lama siang hari sama dengan malam hari) dan periode-periode astronomis lainnya. Bangsa Maya terkenal dengan kalender berisikan 365 hari dan 260 hari yang dibuat berdasarkan pengamatan astronomis, termasuk terhadap Matahari. Kalender 365 hari ini disebut Haab, sedangkan kalender 260 hari disebut Tzolkin.
6. Kalender Aztec dipahat di atas sebuah batu berbentuk lingkaran. Isinya adalah 365 siklus kalender berdasarkan Ma-

tahari dan 260 siklus ritual. Kalender batu Aztec ini kini disimpan di National Museum of Anthropology and History di Chapultepec Park, Mexico City.

7. Matahari juga telah menjadi objek yang menarik bagi pelukis dan penulis terkenal dunia. Claude Monet, Joan Miro, Caspar David Friedrich (judul lukisan: *Woman in Morning Sun*—Wanita dalam Matahari Pagi, dan Vincent van Gogh (judul lukisan: *Another Light, A Stronger Sun*—Cahaya lain, Matahari yang Lebih Kuat) adalah beberapa pelukis yang pernah menjadikan Matahari sebagai objek lukisannya. Adapun Ralph Waldo Emerson dan Friedrich Nietzsche adalah penulis dan filsuf yang pernah membuat cerita, puisi, maupun kata-kata mutiara dengan subjek Matahari.

M. Manfaat dan Peran Matahari

Matahari adalah sumber energi bagi kehidupan. Matahari memiliki banyak manfaat dan peran yang sangat penting bagi kehidupan, seperti:

1. Panas Matahari memberikan suhu yang pas untuk kelangsungan hidup organisme di Bumi. Bumi juga menerima energi Matahari dalam jumlah yang pas untuk membuat air tetap berbentuk cair, yang mana merupakan salah satu penyokong kehidupan. Selain itu, panas Matahari memungkinkannya adanya angin, siklus hujan, cuaca, dan iklim.
2. Cahaya Matahari dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan berklorofil untuk melangsungkan fotosintesis, sehingga tumbuhan dapat tumbuh serta menghasilkan oksigen dan berperan sebagai sumber pangan bagi hewan dan manusia. Makhluk hidup yang sudah mati akan menjadi fosil yang menghasilkan minyak Bumi dan batu bara sebagai sumber energi. Hal ini merupakan peran dari energi Matahari secara tidak langsung.
3. Panel surya dipasang di atap rumah untuk menangkap sinar Matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik.

4. Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik ini terdiri dari kaca-kaca besar atau panel yang akan menangkap cahaya Matahari dan mengonsentrasikannya ke satu titik. Panas yang



GAMBAR 6.13 Panel Surya

- ditangkap kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas bertekanan, yang akan dipakai untuk menjalankan turbin sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Prinsip panel surya adalah penggunaan sel surya atau sel *photovoltaic* yang terbuat dari silikon untuk menangkap sinar Matahari. Sel surya sudah banyak dipakai untuk kalkulator tenaga surya. Panel surya sudah banyak dipasang di atap bangunan dan rumah di daerah perkotaan untuk mendapatkan listrik dengan gratis.
5. Pergerakan rotasi Bumi menyebabkan ada bagian yang menerima sinar Matahari dan ada yang tidak. Hal inilah yang menciptakan adanya hari siang dan malam di Bumi. Adapun pergerakan Bumi mengelilingi Matahari menyebabkan terjadinya musim.
 6. Matahari menjadi penyatu planet-planet dan benda angkasa lain di sistem tata surya yang bergerak atau berotasi mengelilinginya. Keseluruhan sistem dapat berputar di luar angkasa karena ditahan oleh gaya gravitasi Matahari yang sangat besar.

Kasus Nyata

Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah model baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik ini terdiri dari kaca-kaca besar atau panel yang

akan menangkap cahaya matahari dan mengonsentrasikannya ke satu titik. Panas yang ditangkap kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas bertekanan, yang akan dipakai untuk menjalankan turbin sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Prinsip panel surya adalah penggunaan sel surya atau sel *photovoltaic* yang terbuat dari silikon untuk menangkap sinar Matahari. Sel surya sudah banyak dipakai untuk kalkulator tenaga surya. Panel surya sudah banyak dipasang di atap bangunan dan rumah di daerah perkotaan untuk mendapatkan listrik dengan gratis.

Studi Kasus

Ada berbagai fenomena menarik diamati di atmosfer Matahari berkaitan dengan medan magnetik Matahari, seperti bintik Matahari (*sun spot*), ledakan Matahari (*solar flare*), prominensa, dan pelontaran material korona (CME–Coronal Mass Ejection). Hal-hal inilah yang berkaitan dengan badai Matahari.

Masih ada beberapa contoh peristiwa lain yang berkaitan dengan badai Matahari yang terjadi dalam abad ke-20 dan 21:

1. 13 maret 1989: Terjadi CME besar 4 hari sebelumnya. Badai geomagnetik menghasilkan arus listrik induksi eksekutif hingga ribuan ampere pada sistem interkoneksi kelistrikan Ontario Hydro (Canada). Arus induksi eksekutif ini menyebabkan sejumlah trafo terbakar. Akibat dari terbakarnya trafo tersebut, jaringan listrik di seluruh Quebec (Canada) putus selama 9 jam. Guncangan magnetik badai sekitar seperempat Carrington event, (sekitar 400 nT). Aurora teramati sampai di Texas.
2. Januari 1994: dua buah satelit komunikasi Anik milik Canada rusak akibat digempur elektron-elektron energetik dari Matahari. Satu satelit bisa segera pulih dalam waktu beberapa jam, namun satelit lainnya baru bisa

- dipulihkan enam bulan kemudian. Total kerugian akibat lumpuhnya satelit ini disebut mencapai US \$ 50-70 juta.
3. November 2003: Mengganggu kinerja instrumen WAAS berbasis GPS milik FAA AS selama 30 jam.
 4. Januari 2005: Berpotensi mengakibatkan *black-out* di frekuensi HF radio pesawat, sehingga penerbangan United Airlines 26 terpaksa dialihkan menghindari rute polar (kutub) yang biasa dilaluinya.

Rangkuman

1. Matahari adalah bola raksasa yang terbentuk dari gas hidrogen dan helium yang merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan.
2. Matahari berpijar dengan senyawa penyusun utama berupa gas hidrogen (74%) dan helium (25%) terionisasi. Senyawa penyusun lainnya terdiri dari besi, nikel, silikon, sulfur, magnesium, karbon, neon, kalsium, dan kromium.
3. Matahari memiliki enam lapisan yang masing-masing memiliki karakteristik tertentu, yaitu inti Matahari, zona radiatif, dan zona konvektif yang membentuk lapisan dalam (interior), fotosfer, kromosfer, dan korona sebagai daerah terluar dari Matahari.
4. Matahari memiliki dua gerakan, yaitu bergerak pada sumbunya dan bergerak di orbitnya mengelilingi galaksi Bima-sakti.
5. Kecepatan gerak bintang terbagi dua, yaitu kecepatan radial dan kecepatan tangensial
6. Cahaya Matahari dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan berklorofil untuk melangsungkan fotosintesis.

7

Planet

Tujuan Instruksional:

1. Mampu memahami pengertian, orbit, dan klasifikasi planet.
 2. Mampu memahami karakteristik planet.
-

A. Pengertian Planet

Planet berasal dari bahasa Yunani “*asters planetai*” yang berarti bintang pengelana, karena bila diamati dari Bumi, planet dari waktu ke waktu terlihat berpindah-pindah dari rasi bintang yang satu ke rasi bintang yang lain. Secara istilah, planet merupakan benda langit yang gelap (padam), tidak mempunyai cahaya sendiri dan selalu beredar mengelilingi sebuah bintang sejati (Matahari), sering juga disebut bintang beredar. Planet tampak berkilau (bukan berkedip-kedip) karena memantulkan sinar yang diterimanya dari Matahari (Sujadi: 2009).

B. Orbit Planet

Orbit planet berupa elips, makin dekat fokus-fokus elips, maka elips mendekati bentuk lingkaran. Penyimpangan elips dari lingkaran diukur dengan eksentrisitas, yaitu perbandingan jarak kedua fokus dengan diameter panjang. Eksentrisitas sebuah lingkaran adalah nol, eksentrisitas orbit Bumi hanya 0,017,

jadi mendekati lingkaran.

Selama planet berevolusi mengelilingi Matahari satu kali disebut tahun planeter, maka jarak antara planet dan Matahari berubah. Bila planet mendekati Matahari, dikatakan planet berada pada perihelion (bahasa Yunani *peri* artinya di sekitar atau dekat, dan *helios* artinya Matahari). Bila planet berada pada jarak terjauh dari Matahari dikatakan planet berada pada *aphelion* (*ap* artinya jauh dan *helios* artinya Matahari).

Semua planet berevolusi (berputar) mengelilingi Matahari dalam arah yang sama, demikian juga revolusi Bulan mengelilingi Bumi dan rotasi Bumi sekitar sumbunya mempunyai arah sama. Semua planet kecuali Uranus juga berotasi dalam arah yang sama sekitar sumbunya. Selain itu, semua orbit planet kecuali Merkurius dan Pluto terletak hampir dalam bidang yang sama. Bidang orbit Bumi disebut *ekliptika*.

Newton menunjukkan bahwa bentuk eliptik orbit planet disebabkan oleh atraksi gravitasional antara Matahari dan planet. Newton membuktikan bahwa lintasan setiap benda yang berputar yang dilakukan oleh gaya sentral (gaya gravitasional antara matahari dan planet) yang mempunyai besar bervariasi secara terbalik dengan kuadrat jarak adalah harus sebuah elips.

Hukum Kepler kedua menyatakan, bahwa planet-planet menyapu “luas yang sama dalam waktu yang sama,” ini berarti planet-planet akan bergerak lebih cepat dalam orbitnya jika planet dekat dengan Matahari dibandingkan jika planet jauh dari Matahari. Hukum “area sama dalam waktu yang sama” adalah konsekuensi fakta bahwa planet mengekalkan (mengawetkan) momentum sudutnya ketika berputar di sekitar Matahari.

Hukum Kepler ketiga menyatakan hubungan antara jarak planet dari Matahari dan periode revolusi. Periode revolusi atau tahun planeter dari planet meningkat dari 88 hari untuk planet terdekat Merkurius sampai 248 tahun untuk planet terjauh (Tjasyono: 2003).

C. Klasifikasi Planet

Sampai dewasa ini sudah ada sembilan buah planet yang dikenal. Menurut kebiasaan planet-planet tersebut dibagi menjadi dua golongan, yaitu planet-planet dalam dan planet luar.

1. Planet Dalam

Menurut (Endarto, 2009) planet dalam adalah planet-planet yang lintasannya berada dekat dengan Matahari. Mengenai hal ini ada dua pendapat, yaitu: pendapat pertama menyatakan bahwa planet dalam adalah planet yang lintasannya terletak antara Bumi dan Matahari, sehingga yang termasuk planet dalam adalah planet Merkurius dan Venus.

Pendapat lain menyatakan, bahwa planet dalam adalah planet yang lintasannya berada antara Matahari dan sabuk asteroid/planetoid. Dengan demikian, termasuk ke dalam golongan planet dalam adalah Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars. Keempatnya juga disebut planet *terrestrial* atau juga planet yang seperti Bumi, yaitu bentuknya kecil, terdiri dari batuan dengan inti dari metal dan mempunyai lapisan atmosfer yang tipis (kecuali Merkurius).

2. Planet Luar

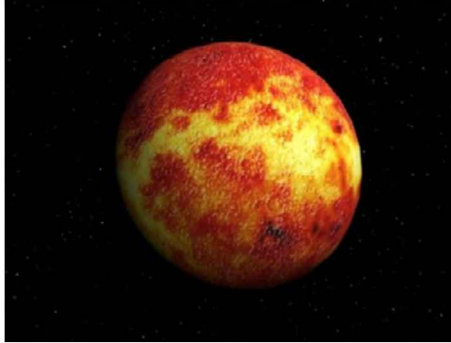
Planet luar adalah planet-planet lainnya di luar keempat planet tersebut, yang juga disebut “raksasa gas”. Di planet ini tidak terdapat permukaan yang padat, atmosfernya tebal (tinggi) dan mengental menjadi cairan yang panas, yang mengalir ke segala arah menjadi batuan inti yang keras. Seperti halnya saturnus yang mempunyai cincin yang aneh, ternyata Yupiter dan Uranus juga memiliki cincin yang tipis, dan baru diketahui adanya belum lama ini.

Batas antara planet luar dan planet dalam adalah sabuk asteroid/planetoid. Kecuali Merkurius dan Venus, ternyata semua planet memiliki satelit (Bulan) yang selalu beredar mengelilinginya.

D. Karakteristik Planet

Planet-planet yang tersusun dalam gugusan tata surya memiliki karakteristik/ciri masing-masing yang membuat perbedaan di antara mereka.

1. Merkurius



GAMBAR 7.1 Planet Merkurius

Merkurius dikenal dalam bahasa Arab sebagai *utarid* dan dalam bahasa Sanskerta sebagai *lintang Budha*. Merkurius merupakan planet terkecil dalam tata surya dan terdekat dengan Matahari. Merkurius dapat terlihat pada saat subuh atau magrib di Bumi, pada saat bintang-bintang yang sangat cerah pun tidak menampakkan sinarnya yang terbaik. Di samping itu, Merkurius sering kali terlihat kabur disebabkan oleh kabut dekat horizon (Endarto: 2005).

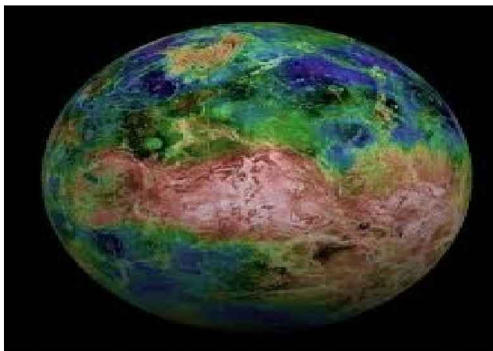
Hampir mirip dengan Bulan, Merkurius memiliki banyak kawah dan tidak mempunyai satelit alami serta atmosfer. Kawah yang terbentuk adalah akibat benturan meteor yang menghantam permukaannya. Merkurius mempunyai kekuatan 0,1 persen dari kekuatan medan magnet Bumi. Suhu permukaan dari Merkurius berkisar antara 90-700 Kelvin (-180-430 derajat celcius), tetapi pada malam hari suhunya menjadi sangat dingin

yaitu bisa mencapai -178 derajat Celcius. Jarak dari Bumi sekitar 92 juta km.

Merkurius memiliki diameter sebesar 4.879 km di khatulistiwa, Merkurius terdiri dari 70 persen logam dan 30 persen silikat serta mempunyai kepadatan sebesar $5,43 \text{ g/cm}^3$. Kepadatan Merkurius ini digunakan untuk memperkirakan struktur dalam Merkurius. Kepadatan Bumi yang tinggi tercipta karena tekanan gravitasi, terutama di bagian inti. Merkurius jauh lebih kecil dan bagian dalamnya tidak terdapat seperti Bumi sehingga kepadatannya yang tinggi diduga karena planet tersebut mempunyai inti yang besar dan kaya akan besi. Inti Merkurius menempati 42 persen dari volumenya, dibandingkan dengan Bumi menempati 17 persen dari volume Bumi.

Lapisan mantel setebal 600 km menyelimuti inti Merkurius dan kerak/kulit luarnya diperkirakan setebal 100 sampai 200 km. Permukaan Merkurius mempunyai banyak perbukitan yang kuru, beberapa mencapai ratusan kilometer panjangnya. Hal ini diduga karena inti dan mantel Merkurius mendingin pada saat kerak sudah membatu dan membentuk perbukitan (Gunawan: 2009).

2. Venus



GAMBAR 7.2 Planet Venus

Planet Venus dikenal dalam bahasa Arab adalah *Zuhara*, sedangkan dalam bahasa Sanskerta sebagai *Sita*. Venus adalah bintang yang terang yang selalu tampak di langit bagian barat pada waktu Matahari terbenam (bintang senja) dan di langit timur pada waktu Matahari terbit (bintang fajar).

Venus memiliki diameter sekitar 1.100 km. Massanya kurang sedikit dari empat perlima massa Bumi. Kepadatannya sekitar 9/10 planet Bumi. Venus berputar di sekeliling Matahari sekali setiap 2.225 hari dalam orbit yang hampir serkuler. Pada saat berputar, planet ini berotasi pada sumbunya sekali 243,1 hari Bumi, dari timur ke barat bukan dari barat ke timur seperti kebanyakan benda langit lainnya. Planet ini berotasi sedikit miring terhadap bidang orbitnya.

Venus selalu diselimuti oleh awan-awan yang sangat tebal. Awan inilah yang menyebabkan Venus sangat banyak memantulkan sinar Matahari yang diterimanya. Atmosfer Venus sangat tebal/pekat yang mengandung banyak uap air, karbon dioksida dan juga oksigen. Suhu dan tekanan pada planet Venus adalah sekitar 480°C cukup panas untuk melebur logam seperti timbal, aluminium, dan seng. Suhu yang sangat tinggi sekurang-kurangnya sebagian karena proses dari “efek rumah kaca”.

Tekanan udara pada dasar selubung awan Venus mencapai 100 kali tinggi tekanan pada permukaan Bumi. Tekanan massif ini merupakan suatu rintangan besar bagi penyelidikan Venus. Alat penyelidikan tak berawak jarang-jarang bertahan lebih dari satu jam dalam keadaan tersebut. Sekitar 95 persen Venus terdiri dari karbon dioksida. Sedikit tanda adanya oksigen dan sedikit hidrogen, nitrogen, neon, dan amoniak juga telah ditemukan dalam atmosfer Venus.

Hampir seluruh Venus kering. Uap air hanya ada dalam jumlah yang sangat kecil, yaitu kurang dari 1 persen dari jumlah total berat udara. Pastilah bahwa di permukaan planet yang sangat panas ini tidak terdapat air karena akan mendidih habis. Zat padat yang menjadi selubung awan itu warnanya kekuning-

kuningan dan telah diidentifikasi sebagai unsur belerang. Beberapa zat itu mungkin berupa debu yang diterbangkan dari permukaan planet.

Seperti Merkurius, kadang-kadang Venus melakukan transit yaitu lewat menyilang cakram Matahari, seperti terlihat dari Bumi. Venus terdapat di antara Bumi dan Matahari sekali setiap 584 hari. Oleh karena itu, transit oleh Venus akan terjadi sekitar sekali setiap 19 bulan pada saat Venus selalu berada dalam bintang orbit Bumi. Namun bintang orbit Venus miring 3° terhadap bidang orbit Bumi. Empat kali setahun Venus berada di konjungsi bawah dan juga dalam bidang orbit Bumi pada waktu yang bersamaan. Pada saat inilah transit terjadi.

Transit selalu terjadi pada bulan Juni atau Desember tetapi pada selang waktu yang tidak teratur. Transit terjadi berpasangan, setiap transit dipisahkan dari transit yang lainnya oleh selang waktu delapan tahun. Setelah transit kedua terjadi, tidak akan ada lagi transit selama lebih dari seratus tahun. Dalam bulan Desember 1874 dan Desember 1882 telah terjadi transit Venus. Dua transit selanjutnya terjadi dalam bulan Juni 2004 dan selanjutnya terjadi dalam bulan Juni 2012.

Pada saat Venus dalam transit, mata telanjang dapat melihatnya sebagai sebuah titik hitam pada wajah Matahari. Namun Anda jangan memandang langsung Matahari tanpa ada pelindung pada mata. Jika dilihat dengan teleskop, planet ini tampak seperti sebuah cakram hitam, yang diperkecil oleh cakram Matahari yang jauh lebih besar. Venus memerlukan waktu delapan jam atau kurang untuk melintasi permukaan Matahari. Tepat pada saat Venus kontak dengan cakram Matahari dan juga tepat pada saat Venus meninggalkan cakram itu. Planet itu dikelilingi seluruhnya atau sebagian oleh cincin cahaya yang cerah (Endarto: 2005).

3. Bumi

Kita menganggap bahwa dunia tempat tinggal kita adalah

**GAMBAR 7.3** Planet Bumi

planet paling biasa, namun semakin kita mempelajari tata surya kita akan semakin menyadari bahwa Bumi sangat aneh. Bumi adalah satu-satunya planet yang memiliki air dalam wujud cair yang melimpah. Hal ini terjadi karena temperatur rata-rata permukaannya hanya 22°C . Lebih dari tiga perempat Bumi berupa sungai, danau, laut, samudera, serta air beku berupa gletser dan tutupan es (Parker: 2007).

Jarak rata-rata Bumi ke Matahari sekitar 150 juta kilometer. Eksentrisitas orbit Bumi 0,017, artinya garis edar Bumi mendekati lingkaran. Periode revolusi Bumi 365.3 hari disebut satu tahun siderik dan periode rotasinya 23 jam 56 menit disebut hari siderik. Massa jenis Bumi adalah $5,52 \text{ gram/cm}^3$, merupakan benda yang paling padat dalam tata surya. Bumi mempunyai satu satelit yaitu Bulan. Bentuk Bumi mendekati bulatan (*sphere*) atau lebih tepatnya bentuk Bumi adalah *spheroid* dengan jari-jari equator= 6378,4 km dan jari-jari kutub= 6356,9 km. Dalam praktik biasanya Bumi dianggap bulat dengan jari-jari = 6371 km. Bumi berputar terhadap sumbunya dari barat ke timur dengan kecepatan sudut konstan (Tjasyono: 2003).

Di permukaan Bumi senyawa besi nikel dan silikat cukup dingin, sehingga dalam keadaan padat. Di selubung atas, silikat juga dalam keadaan padat, karena selubung atas ini relatif panas

dan tekanan yang dialaminya tidak terlalu tinggi serta viskositasnya cukup rendah. Akan tetapi, selubung bawah mendapatkan tekanan yang tinggi sehingga viskositasnya menjadi tinggi. Inti luar bersifat cair, karena walaupun mengalami tekanan yang sangat tinggi, titik leburnya lebih rendah daripada titik lebur selubung silikat yang terdapat di atasnya. Inti dalam berada dalam keadaan padat karena tekanan sangat besar yang dialaminya. Komposisi lapisan selubung sebagian besar adalah silikon besi dan magnesium. Lapisan ini memiliki kerapatan sekitar $3\text{-}6\text{ gr/cm}^3$ dan berada sampai kedalaman 2.900 km. Tekanan yang terdapat di bagian bawah mantel mencapai 1,4 juta atmosfer (Gunawan: 2009).

4. Mars



GAMBAR 7.4 Planet Mars

Planet Mars dikenal dalam bahasa Arab sebagai *marikh*, sedangkan di dalam bahasa Sanskerta sebagai *anggoro*. Jika dilihat dengan mata telanjang (tanpa teropong) maupun dengan teropong, Mars tampak berwarna merah. Itulah sebabnya planet ini dianggap sebagai Dewa Perang oleh orang Yunani Purba. Orang Jawa menyebutnya “Lintang Joko Belek”.

Mars berukuran jauh lebih kecil daripada Bumi. Rata-rata panjang garis tengahnya 6.780 km, yang lebih sedikit dari $\frac{1}{2}$ garis

tengah Bumi. Daerah permukaannya lebih sedikit dari $\frac{1}{4}$ daerah permukaan Bumi. Volumennya hanya sekitar $\frac{1}{7}$ volume planet kita. Perbandingan massa Mars dengan massa Bumi adalah 11: 110. Perbandingan kepadatan Mars dengan kepadatan Bumi adalah 70: 100.

Jumlah cahaya dan panas yang diterima oleh Mars dari Matahari, pada tiap-tiap permukaannya adalah kurang dari $\frac{1}{2}$ yang diterima oleh Bumi. Seperti orang memperkirakan, Mars memang sedikit lebih dingin daripada planet kita. Telah dikatakan bahwa suhu di Mars berkisar dari dingin ekstrem yang cukup untuk membekukan gas karbon dioksida “es kering,” sampai panas ekstrem yang cukup mencairkan es biasa.

Jarak rata-rata Mars dari Matahari adalah sekitar 228.000.000 km, kalau dibandingkan dengan jarak rata-rata Bumi dari Matahari yang mendekati 149.600.000 km. Di perihelion titik terdekat ke Matahari Mars terletak sekitar 203.000.000 km. Di afelion titik terjauh dari Matahari, jarak itu sekitar 250.000.000 km. Oleh karena itu, di perihelion Mars berada kira-kira 47.000.000 km lebih dekat pada Matahari daripada afelion. Hal itu berarti bahwa orbit elipsnya benar-benar ganjil. Semakin jauh bentuk sebuah elips dari bentuk sebuah lingkaran, dapat dikatakan akan makin ganjil bentuk elipsis itu.

Jarak antara Mars dan Bumi beragam dalam titik batas yang sangat lebar. Bila Mars berada di konjungsi, yaitu pada sisi Matahari yang lain dari Bumi, jaraknya dari Bumi rata-rata 337.000.000 km. Bila Mars berada dalam oposisi, yaitu pada sisi Bumi yang lain dari Matahari maka jaraknya dari Bumi bergerak dari sekitar 56.000.000 km sampai kira-kira 98.000.000 km, bergantung pada titik dalam orbit Mars, tempat oposisi terjadi. Mars berada dalam oposisi dengan interval 780 hari sekitar 26 bulan. Akibatnya, bagi kita dan pada titik ini cakramnya tampak jauh lebih besar daripada posisi-posisi lain dalam orbitnya. Oleh karena itu, waktu oposisi ini memberikan kesempatan yang sangat menguntungkan untuk mempelajari ini dengan teliti.

Garis tengah Mars yang terbukti beragam antara sekitar 3,5 detik busur pada konjungsi sampai kurang sedikit dari 25 detik busur pada oposisi. Pada saat berada pada posisi terdekat dengan Bumi, Mars memiliki 3 kali lipat berkemilauan dibandingkan Sirius, yaitu bintang tercerah di langit sesudah Matahari. Pada saat berada pada posisi terjauh dari Bumi kecemerlangannya berkurang sampai taraf kecemerlangan bintang kelas kedua.

Orbit Mars selama 687 hari, berjalan sepanjang lintasannya pada kecepatan 24 km/detik. Penelaahan instrumental memperlihatkan bahwa debu atmosfer dan karang permukaan Mars mengandung berbagai jenis mineral. Secara kimia semua itu mirip dengan batuan Bumi, dengan demikian memperlihatkan bahwa Mars seperti Bumi mempunyai perkembangan yang panjang dan rumit, juga serupa Bumi Mars juga mungkin mempunyai inti yang padat dipusatnya, yang menghasilkan medan magnet, dan kedua ujung-ujungnya juga terpampatkan seperti Bumi. Khatulistiwa miring dengan sudut 25 derajat terhadap bidang datar orbit planet. Kemiringan tersebut menyebabkan perubahan musim. Karena Mars memerlukan hampir dua kali waktu yang diperlukan Bumi untuk menyelesaikan satu orbit mengelilingi Matahari, maka panjang setiap musim Mars hampir 6 bulan, yaitu lamanya hampir dua kali musim yang sama di Bumi.

Bertahun-tahun para ahli astronomi menyangka bahwa Mars seharusnya sangat menyerupai Bumi dengan oksigen, air, dan es kutubnya. Agaknya kemudian mereka menyadari bahwa Mars itu kering, sama sekali tidak terdapat kumpulan air besar yang tampak. Permukaan Mars lebih tidak rata dari pada permukaan Bumi. Hampir tidak ada bentukan permukaan tanah di Bumi yang juga tidak terdapat di Mars. Mars mempunyai berbagai gunung tinggi dan plato, gunung berapi raksasa, kawah-kawah dengan garis tengah berkilo meter, dataran luas, lembah, punggung bukit bergerigi, jurang yang lebih dalam dari pada Grand Canyon di AS, bukit pasir, goresan panjang, dan celah-

celah, atau lembah yang memanjang dalam jarak yang besar dan beberapa gunung yang berpuncak sangat tinggi.

Tekanan udara di Mars sama dengan tekanan pada beberapa kilometer di atas gunung tertinggi yang ada di bagian permukaan Bumi. Puncak atmosfer Mars itu jauh lebih rendah dari puncak atmosfer Bumi dan sering kali lebih rendah dari puncak-puncak dari sejumlah tanah tinggi Mars, ionosfer, yaitu lapisan gas bermuatan listrik yang berada tinggi dalam atmosfer Mars.

Mars mempunyai dua buah satelit atau Bulan yang ditemukan pada 1877 oleh ahli astronomi Amerika, Asap Hall. Ia menamakannya Deimons dan Fobos mengikuti nama dua orang anak laki-laki yang mengawalinya dalam mitos dewa kuno Mars (Endarto: 2005).

5. Yupiter



GAMBAR 7.5 Planet Yupiter

Yupiter dikenal dalam bahasa arab sebagai *mustari* dan di dalam bahasa Sanskerta dikenal sebagai *wrespati*. Yupiter merupakan planet terbesar dalam tata surya kita, lebih besar dari bintang-bintang lainnya. Volumennya 1.300 kali volume Bumi. Garis tengahnya 142.860 km. Untuk perbandingan garis tengah Bumi kurang dari 13.000 km, hampir tidak ada 1/11 garis tengah Yupiter.

Yupiter sering kali tampak cerah oleh mata telanjang. Di antara planet-planet lain, hanya Venus dan Mars yang mungkin lebih cerah. Sekalipun jaraknya sangat jauh dari kita. Yupiter dapat mudah dilihat karena dua sebab utama, yaitu planet itu sangat besar dan planet tersebut memantulkan lebih dari 70 persen cahaya Matahari yang jatuh di atas permukaannya.

Yupiter merupakan suatu panorama yang menarik. Cakramnya yang luas disilang oleh banyak pita warna bayang-bayang pastel biru, coklat, merah muda, merah, jingga, dan kuning. Pita-pita ini atau ikat pinggang sebagaimana para ahli astronomi menyebutnya, terletak sejajar dengan khatulistiwa Yupiter.

Sekalipun Yupiter luar biasa besarnya, planet itu berputar pada sumbunya jauh lebih cepat daripada planet kita dan menyelesaikan perputarannya kurang dari 10 jam. Fakta ini dapat menjelaskan mengapa Yupiter terlihat memipih pada kutub utara dan kutub selatannya serta menggembung di sekeliling khatulistiwanya. Yupiter 318 kali lebih pejal daripada Bumi. Gaya tarik gravitasi Yupiter 2,65 kali daya tarik Bumi, jadi jika berat Anda sekarang 50 kg, di Yupiter berat Anda akan menjadi 2,65 kali sebanyak itu, yaitu lebih dari 130 kg.

Para ahli juga telah menghitung bahwa Yupiter hanya mempunyai $\frac{1}{4}$ kepadatan Bumi. Sebenarnya, kepadatan hanya sekitar $\frac{1}{3}$ kali kepadatan air. Hal ini disebabkan planet raksasa ini terdiri sebagian besar dari gas-gas hidrogen, helium, metan, dan amoniak.

Fakta-fakta lain yang menarik dari Yupiter yaitu Yupiter bergerak mengelilingi Matahari di antara orbit Mars dan orbit Saturnus pada jarak rata-rata hampir 779.000.000 km dari Matahari. Karena jarak yang sangat jauh ini Yupiter memerlukan waktu hampir 12 tahun untuk menyelesaikan sekali jalan di sekeliling Matahari. Pada titik pendekatannya yang paling rapat kepada kita, Yupiter berada kira-kira sejauh 59.000.000 km. Pada titik terjauh dari Bumi jaraknya kira-kira 966.000.000 km.

Zat-zat yang terapat pada Yupiter akan mematikan makhluk

dari Bumi apabila menghirup zat tersebut, karena zat dalam atmosfer Jupiter akan meracuni dan mematilemaskan sebagian besar makhluk Bumi. Zat-zat berbahaya ini adalah unsur-unsur hidrogen dan helium dan senyawa metan pembawa hidrogen, amoniak, dan mungkin hidrogen sulfide di Bumi, semua zat ini pada umumnya berupa gas. Jupiter kekurangan zat pokok atmosfer Bumi, molekul oksigen, nitrogen, dan karbon dioksida yang bebas.

Bagian-bagian pokok yang lain dari atmosfer Jupiter yang terdiri dari hidrogen, helium, metan, dan air itu tidak berbau. Metan merupakan suatu senyawa kimia yang terdiri dari hidrogen dan karbon. Di Bumi, metan dibentuk oleh pembusukan zat organik karena tiadanya oksigen atmosfer. Metan disebut juga gas paya, karena metan sering kali timbul di daerah rawa-rawa (Endarto: 2005).

6. Saturnus



GAMBAR 7.6 Planet Saturnus

Planet Saturnus dalam bahasa Arab disebut *zahal*, sedangkan dalam bahasa Sanskerta adalah *syanaiscara*. Baik dari sudut keindahan maupun dari sudut minat terhadap angkasa yang penuh bintang ini, hanya terdapat sedikit benda angkasa yang dapat disetarakan dengan Saturnus. Sistem Saturnus tidak hanya meliputi planet dan cincin-cincinnya yang mungkin terdiri

dari beribu-ribu cincin dengan ukuran yang berbeda-beda, tetapi termasuk juga sebanyak 21 buah satelit atau bulan.

Jarak rata-rata Saturnus dari Matahari 1.428.000.000 km, atau sekitar 9,5 kali jarak Bumi dari Matahari. Saturnus menyelesaikan orbitnya sekali setiap 29,5 tahun. Planet itu sendiri, Bumi, mengelurnya dan berada dalam satu garis antara Saturnus dan Matahari sekali dalam setiap 378 hari, yaitu kira-kira dalam setahun dua minggu. Saturnus cenderung ke eliptika, lintasan nyata Matahari di langit sekitar $2,5^\circ$ orbitnya, pada saat Saturnus berputar mengelilingi Matahari, jauh lebih ganjil daripada orbit Bumi.

Jarak Saturnus dari Bumi bervariasi menurut posisi kedua planet dalam orbitnya, dari 1.197.000.000 km sampai 1.654.000.000 km suatu variasi yang belum cukup untuk menyebabkan perbedaan besar dalam kecerahan kedua planet itu.

Rotasinya yang cepat pada sumbunya yaitu periode rotasi ekuatorial itu 10 jam 14 menit, kurang 2 menit. Sumbu Saturnus condong ke bidang orbitnya sekitar 72 persen sehingga planet itu sama condongnya seperti Bumi terhadap bidang orbitnya. Kemiringan sumbu Bumi inilah yang menyebabkan terjadinya musim di Bumi.

Hanya sedikit yang diketahui tentang cuaca dan musim di Saturnus. Perubahan musim di Saturnus dalam 9,5 bulan yaitu antara kunjungan Voyager 1 dan 2 adalah sepadan dengan hampir seminggu waktu di Bumi. Akan tetapi terdapat perubahan cuaca di planet ini. Bintik putih yang luas di hemisfer utara telah kehilangan batas hitamnya. Jaringan badai besar yang tak beraturan telah menghasilkan bentuk baru. Hal ini menunjukkan bahwa Saturnus, seperti juga di Yupiter badai terjadi sepanjang waktu. Terdapat sabuk putih yang sangat cemerlang di sekitar equator Saturnus. Kedua kutubnya tertutup warna hijau kusam.

Selain memiliki cincin, Saturnus juga memiliki 2 satelit yang umumnya sangat kecil, yang terbesar diberi nama Titan dan memiliki atmosfer tebal, dan yang terkecil diberi nama Phoebe (Endarto: 2005).

7. Uranus



GAMBAR 7.7 Planet Uranus

Jarak rata-rata Uranus dari Matahari adalah 2.870.000.000 km dan menyelesaikan satu lintasan keliling Matahari dalam 84,01 tahun. Jadi, tahunnya sama dengan 84 tahun Bumi. Orbitnya cenderung ke bidang datar eliptikan dengan kurang dari 1° . Bidang datar equatornya hampir tegak lurus pada bidang datar orbitnya. Uranus mempunyai diameter sekitar 500,100 km pada equator dan kepadatannya kira-kira seperempat kepadatan Bumi. Uranus berotasi di sekeliling sumbuannya setiap 24 jam.

Uranus mempunyai lima buah Bulan, yaitu diberi nama beranjak: Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, dan Miranda, yang terakhir yang paling suram dan terdekat pada Uranus ditemukan pada tahun 1984 oleh astronomi Amerika. Satelit-satelit itu berputar di sekeliling Uranus dalam bidang datar equator planet.

8. Neptunus

Jarak rata-rata antara Neptunus dari Matahari 4.500.000.000 km. Orbit eliptiknya sedikit agak ganjil, yaitu Matahari berada hampir di pusatnya. Bidang datar equator Neptunus miring pada kira-kira 29° terhadap bidang datar orbit planet. Neptunus



GAMBAR 7.8 Planet Neptunus

memerlukan waktu sekitar 165 tahun untuk menyelesaikan rotasinya di sekitar Matahari, periode rotasinya 22 jam. Diameter planet itu sekitar 48.600 km pada equatornya. Kepadatan Neptunus lebih sedikit dari seperdua kepadatan Bumi.

Neptunus berbentuk sebuah cakram yang kehijau-hijauan yang tidak terlihat oleh mata telanjang, tetapi cukup jelas bila dilihat melalui sebuah teleskop. Di permukaan planet ini tidak terdapat tanda-tanda yang jelas, meskipun di bawah keadaan pemandangan yang paling menguntungkan dari ikat pinggang yang kabur pun dapat dilihat. Atmosfer Neptunus terdiri atas metan dan amoniak dengan jumlah metan lebih banyak, suhu maksimum pada permukaan Neptunus sekitar -190°C .

Neptunus mempunyai dua satelit yang dikenal. Yang satu disebut Triton agak lebih besar dari Bulan, triton berputar di sekiling Neptunus dari timur ke barat. Ini merupakan gerak mundur berlawanan arah dari gerak neptunus. Satelit Neptunus lainnya disebut Nereid, yang jauh lebih kecil daripada triton dan berjarak sangat jauh dari Neptunus.

Jembatan Keledai:

Makan Vormalin Bisa Membuat You Sakit Urat Nadi

Singkatan dari: Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus

Kasus Nyata

Penemuan planet baru di galaksi oleh tim peneliti dari San Diego State University (SDSU) yang dipimpin oleh astronom dari NASA Goddard Space Flight Center melaporkan hasil penemuan mereka terkait planet terbesar yang mengelilingi Matahari. Planet ini dinamakan Kepler-1647b. Keberadaan Kepler-1647b, seperti dikutip dari *Astrophysical Journal*, memang sangat jauh jika dilihat dengan posisi mata telanjang. Namun dengan bantuan teleskop angkasa luar milik NASA bernama Kepler, planet yang kini dinamakan sesuai teleskop yang mengamatnya itu tampak terlihat dengan jelas. Para peneliti memperkirakan usia Kepler-1647b berkisar 4,4 miliar tahun. Usia planet itu sama lamanya dengan usia Bumi. Hal yang sama diungkapkan para ilmuwan. Mereka percaya bahwa Kepler-1647 b memiliki orbit terpanjang untuk planet yang melakukan transit atau melintas di depan bintangnya. Kepler-1647b membutuhkan 1.107 hari atau lebih dari tiga tahun untuk mengorbit bintangnya.

Studi Kasus

Dahulu kita diberitahu bahwa ada sembilan planet dalam tata surya, yakni Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, Pluto. Namun yang terakhir kemudian didiskualifikasi karena dianggap terlalu kerdil. Status Pluto diturunkan sebagai planet katai (*dwarf planet*) oleh International Astronomical Union pada 2006. Belakangan, para peneliti dari California Institute of Technology (Caltech) mengklaim menemukan eksistensi pengganti Pluto sebagai 'planet ke-9'. Profesor astronomi Caltech, Mike Brown, yang terkenal sebagai 'pembunuh Pluto (*Pluto Killer*)' dan koleganya, Konstantin Batygin, mengumumkan temuan itu di *Astronomical Journal*.

Julukan '*Pluto Killer*' didapat karena mereka membuat Pluto kehilangan status sebagai planet, hingga mereduksi tata surya kita menjadi delapan planet. Padahal, awalnya keduanya membantah teori soal 'planet tersembunyi'. "Meski mula-mula kami skeptis terkait eksistensi planet seperti itu. Tapi saat kami menginvestigasi orbitnya yang berada di bagian luar tata surya, kami menjadi kian yakin bahwa ia ada di sana," kata Batygin dalam pernyataannya yang Liputan6.com kutip dari CNET, Senin (25/1/2016). "Untuk kali pertamanya dalam 150 tahun, ada bukti yang kuat bahwa sensus planet dalam tata surya sudah komplet.

Rangkuman

1. Planet merupakan benda langit yang gelap (padam), tidak mempunyai cahaya sendiri dan selalu beredar mengelilingi sebuah bintang sejati (Matahari), sering juga disebut bintang beredar.
2. Orbit planet berupa elips, makin dekat fokus-fokus elips, maka elips mendekati bentuk lingkaran.
3. Anggota planet dalam adalah Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars sedangkan planet luar adalah semua planet selain anggota planet dalam.
4. Planet Venus dikenal dengan sebutan planet senja dan planet Mars dikenal dengan sebutan planet merah.

8

Komet

Tujuan Instruksional:

1. Mampu menjelaskan bagian-bagian komet.
2. Mampu mendeskripsikan asal komet.
3. Mampu menjelaskan orbit, periode, dan struktur komet.

Komet adalah benda langit yang misterius, yang sering muncul dengan tiba-tiba di langit untuk beberapa waktu, untuk kemudian hilang kembali. Benda langit ini bentuknya menyerupai bintang yang diselubungi kabut yang remang-remang. Kabut yang menyelubunginya itu sering mencuat di bagian belakangnya menyerupai ekor, atau seolah-olah bintang itu mengeluarkan uap (kukus). Karena itu benda langit ini disebut bintang berekor atau juga lintang kemukus (Endarto: 2005).

A. Bagian-bagian Komet

Bagian yang lebih terang itu sering kali tampak lebih besar dari bagian lain. Inilah yang dinamakan dengan “kepala komet”. Bagian lainnya dinamakan ekor komet. Kepala komet itu terdiri dari inti komet pada pusatnya dan koma yang membungkus inti. Inti komet terdiri atas segumpal benda padat yang berdiameter beberapa km, sehingga terlalu kecil untuk diamati dari Bumi. Mungkin sekali inti komet itu gumpalan es yang terdiri atas air,

asam arang, amoniak, metan, dan debu.



GAMBAR 8.1 Bagian-bagian Komet

Yang menyelubungi inti komet itu adalah koma. Koma terdiri atas debu dan gas. Ekor komet dapat menjadi panjang mencapai 1 satuan astronomik. Karena ekornya ilmiah, komet menarik perhatian orang. Ekor komet terdiri atas dua macam, ekor debu dan ekor gas. Kedua jenis ekor ini dapat dibedakan dengan melihat bentuknya. Ekor debu melengkung, sedangkan ekor gas lurus.

Arah ekor komet selalu menjauh dari Matahari. Ketika kita mengamati komet di langit sebelah barat setelah Matahari terbenam, maka ekornya akan muncul ke atas, yang berarti menunjuk arah timur. Sebaliknya jika komet itu di ufuk timur pada dini hari, ekornya akan menunjukkan arah barat. Ekor komet ditekan oleh angin Matahari dan radiasi Matahari.

Kepala komet mempunyai garis tengah dari tingkatan 100.000 km, dan panjang ekor ada 10 sampai 100 juta km. Intinya sendiri dengan garis tengah sebesar 10–20 km terdiri atas sekelompok bongkahan-bongkahan batu yang mengeluarkan zat-zat disebabkan oleh panas Matahari tetapi oleh tekanan sinar cahaya terdesak kembali dan merupakan koma di sekitar inti, dengan ekor di belakangnya. Ekor membentang lurus apabila letak komet jauh dari Matahari, di mana gravitasi Matahari ada

lebih kecil daripada tekanan sinarnya. Makin jauh letak komet dari Matahari makin kecil tampak koma dan ekor untuk kemudian hilang sehingga tinggal intinya seperti semula. Jadi, inti adalah badan komet yang permanen, sedangkan koma dan ekor bersifat sementara, hanya dapat tampak di dekat Matahari yang memberi panas dan tekanan sinar cahaya.

Teori-teori yang umum diterima untuk menerangkan dari mana zat-zat (gas-gas) itu berasal, kemungkinan dalam perjalanan sepanjang lintasannya, komet melalui tempat-tempat dingin mengandung zat-zat atau gas-gas yang oleh inti komet diisap. Ketika komet mendekati Matahari lagi, gas-gas atau zat-zat ini oleh panas dan tekanan sinar dikeluarkan lagi sebagai koma dan ekor.

Di samping komet yang berekor, ada pula yang tak berekor, yang telah kehabisan bahan-bahan untuk dapat membentuk ekor, dan tak dapat kesempatan lagi untuk mengisap gas-gas. Ini pada umumnya mengenai komet-komet yang lintasannya pendek, yang tak ada tempat cukup dingin untuk mengisap gas-gas atau zat-zat.

Cahaya yang datang dari kepala ekor komet bukanlah cahaya komet sendiri. Penyelidikan lebih lanjut menunjukkan bahwa cahaya komet adalah cahaya fluorescent atau resonansi disebabkan sinar ultraviolet Matahari, yang diisap oleh gas-gas dikoma dan ekor. Jika koma dan ekor terdiri dari zat-zat (materi) cahaya, yang disinarkan adalah cahaya Matahari yang dipantulkan. Koma sering terdiri atas lapisan-lapisan cahaya, yang disebut sampul, suatu gejala yang dapat timbul juga ditabung sinar katoda. Pada ekor lapisan-lapisan ini tidak terlihat oleh sebab tipisnya gas. Penyelidikan spektroskopis menunjukkan, bahwa gas-gas ekor sering terdiri dari CO, gas Cyan (CN_2), dan gas-gas labil CH_2 , NH_2 , dan OH. Radikal unsur-unsur yang hanya dapat berwujud di ruang sangat tipis tekanannya, dan menerima sinar panas yang sangat kuat. Di ekor komet tekanan gas memang sangat tipis, antara lain jikalau Bumi melalui ekor sesuatu

komet orang terasa akibatnya sekalipun. Ekor yang lurus dengan cahaya yang homogen sering menunjukkan adanya metal-metal ringan maupun berat. Mengenai inti komet badan ini tidak sebegitu besar mengingat bayangannya yang kadang-kadang dapat dilihat dari ekor. Inti terdiri dari sekelompok batu-batu mempunyai garis tengah sebesar 10 s/d 20 km. Cahaya yang disinarkan, bukanlah cahaya inti komet sendiri, melainkan cahaya Matahari yang dipantulkan.

Jembatan Keledai:

Kecap Ibu kurang manis

Singkatan dari Kepala komet, inti, koma

B. Asal Komet

Pertanyaan yang sukar dijawab ialah apakah komet-komet itu terdiri dari semula anggota Matahari, apakah benda-benda kosmis yang datang dari luar kemudian tertangkap oleh Matahari atau planet-planet besar, sehingga menjadi anggota susunan Matahari? Atas beberapa pertimbangan pertanyaan pertama mempunyai kemungkinan terbesar. Jika komet mempunyai lintasan, tetapi sangat terbentang, sehingga waktu peredarannya sangat panjang, mungkin ribuan atau jutaan tahun, sukar diketahui apakah lintasan itu berbentuk elips atau parabola, sebab bagian lintasan yang dapat dipelajari hanya sebagian kecil saja sekitar perheliumnya. Jika lintasan berupa parabola, maka komet hanya satu kali mendekati Matahari, yang berarti bahwa komet datang dari luar susunan Matahari. Dari beberapa komet dengan lintasan-lintasan hiperbola telah diketahui, bahwa lintasan-lintasan itu semula berbentuk elips, yang oleh gangguan-gangguan planet menjadi hiperbola, dan komet menghilang, meninggalkan susunan Matahari untuk selama-lamanya.

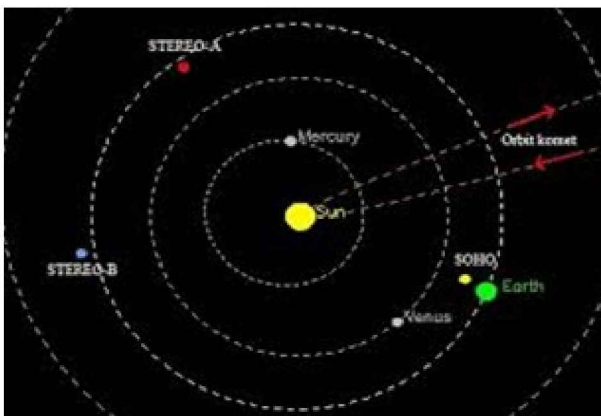
Tampaknya komet di langit umumnya disambut dengan perasaan khawatir terhadap hari-hari yang akan datang, gejala dianggap “tanda tidak baik”.

C. Nama Komet

Banyak komet telah menampakkan dirinya di langit. Setiap kali sebuah komet tampak dan selalu menarik perhatian, karena bentuknya yang aneh itu. Menurut konvensi, komet diberi nama orang yang pertama kali melihat komet itu. Mereka itu tidak selalu seorang ahli astronomi kebanyakan astronom amatir, yang gemar astronomi. Setelah seseorang melihat benda aneh itu, ia segera melaporkannya kepada lembaga yang berhubungan dengan astronomi. Di Indonesia jika Anda menemukan komet baru, segeralah melaporkan ke observatorium Boscha di lembaga Bandung. Jika Anda orang pertama yang melaporkan itu, mungkin komet itu akan diberi nama seperti nama Anda.

Beberapa orang yang namanya diabadikan sebagai nama komet adalah Lubos Kohoutek, menemukan komet Kohoutek secara kebetulan, dan masih banyak lainnya. Komet yang terang dapat diamati dengan mata telanjang dalam beberapa malam berturut-turut, bahkan sampai beberapa minggu. Akan lebih lama lagi jika pengamatan itu menggunakan teropong atau teleskop.

D. Orbit Komet



GAMBAR 8.2 Orbit Komet

Komet Helley datang berulang pada periode yang tetap, yaitu 76 tahun. Penyebabnya adalah lintasannya yang berbentuk elips. Komet lain mungkin hanya satu kali saja menampakkan diri, artinya datang mendekati Matahari. Orbit komet seperti ini pasti bukan elips. Memang ada tiga bentuk lintasan komet, yaitu elips, parabola, dan hiperbola.

Dari Bumi, kita dapat mengikuti lintasan komet itu di antara bintang-bintang sekitar eliptika. Komet Helley pada akhir tahun 1985-1986 bergeser sebagai berikut:

- a) Bulan November 1985 sekitar ras Taurus.
- b) Bulan Desember 1985 melintasi equator sekitar rasi Pegasus.
- c) Bulan Januari, Februari, dan Maret 1986 dekat Capriornus.
- d) Akhir Maret pada rasi Sagitarius.
- e) Bulan April melintasi Scorpio dan Centaurus.

E. Periode Komet

Waktu yang berlalu antara dua kembalinya sebuah komet pada perihelion disebut periode komet itu. Beberapa komet bergerak dalam elips yang boleh dikatakan kecil, sehingga komet-komet ini datang kembali ke perihelion selang sejumlah tahun, yaitu komet-komet ini adalah komet periode pendek. Komet Encke mempunyai periode yang diketahui terpendek, yaitu kira-kira 3,3 tahun. Komet ini pertama ditemukan pada 1789, dan sejak itu telah terlihat kembali perihelion lebih dari 40 kali. Tidak ada komet periode pendek yang cemerlang. Di bawah keadaan terbaik komet Encke hampir tidak terlihat dengan mata telanjang.

Kebanyakan ahli astronomi menerima pendapat bahwa semua komet bersifat berkala, walaupun periode-periodenya dapat beribu-ribu atau bahkan berjuta-juta tahun. Sangat memungkinkan bahwa orbit beberapa komet dapat merupakan suatu kurva terbuka, yang ujungnya tidak pernah dapat bertemu. Dalam kasus seperti itu, komet itu mungkin telah beredar dalam

satu orbit eliptik, yaitu ketika komet itu memasuki wilayah planet dalam tata surya, dan mungkin telah dilontarkan ke dalam suatu orbit yang membentuk suatu kurva terbuka karena tarikan gravitasi dari planet-planet besar.

F. Struktur Komet

Komet memiliki empat bagian, yaitu:

- a) Nukleus, merupakan bagian komet yang padat, berada di tengah kepala komet yang semar.
- b) Coma, merupakan atmosfer gas yang melingkupi nukleus ketika komet berada didekat Matahari.
- c) Ekor melengkung merupakan bentuk gas yang terdorong menjauh oleh radiasi Matahari, dan ekor lurus merupakan gas terionisasi yang ditembus menjauh oleh Matahari.
- d) Coma dan ekor tampak terang karena keduanya memantulkan cahaya Matahari.

Kasus Nyata

Komet Lovejoy adalah komet yang ditemukan oleh astronom amatir asal Australia, Terry Lovejoy, pada 17 Agustus 2014 dengan bantuan teleskop 0,2 meter Schmidt-Cassegrain. Seperti banyak komet, Lovejoy berasal dari Awan Oort (*Oort Clouds*), sebuah kawasan luas yang terdiri dari miliaran batu-batu angkasa sebagai gudang komet yang terletak di tepian tata surya. Karena Awan Oort itu terdiri dari batu-batu mirip asteroid, maka jika ada gangguan, misal saling berbenturan antarbatu-batu itu dan saling terpental. Jika ada yang terpental ke arah dalam tata surya, itu artinya gravitasi Matahari akan berpengaruh lebih kuat terhadapnya. Kemudian ia mulai bergerak makin ke arah dalam tata surya karena tertarik gravitasi Matahari yang semakin kuat itu. Maka batu asteroid dari kawasan Awan Oort itu terus bergerak makin cepat ke arah Matahari, dan jadilah ia ko-

met. Komet lalu meluncur “terbang” ke arah Matahari dari kawasan Awan Oort (*Oort Clouds*), menuju kawasan kedua yang juga terdiri dari jutaan batu-batu bernama Sabuk Kuiper (*Kuiper Belt*).

Studi Kasus

Ragam takhayul dari tahun ke tahun bermunculan silih berganti seolah tanpa istirahat, bahkan hingga menyisip ke isu kiamat. Tahun 1908, memang ada komet cemerlang (Komet Morehouse atau C/1908 R1), tetapi apakah terlihat dari Indonesia belum dapat dipastikan. Yang jelas tanggal 30 Juni 1908 di Rusia terjadi bencana saat pecahan komet Encke jatuh. Dikenal sebagai Peristiwa Tunguska, terjadi dekat Sungai Tunguska–Siberia. Cikal bakalanya adalah pecahan komet Encke yang meledak di ketinggian 10 km, menghancurkan lebih dari 2.000 km² hutan di sana. Gema ledakan hingga radius 1.000 km dan seismometer dari segala penjuru dunia mencatatnya. Kecelakaan ledakan bahkan mengalahkan terangnya Matahari. Adapun tahun 1927/8, untuk komet Skjellerup–Maristany di atas, identifikasi lainnya C/1927 X1, 1927 IX, dan 1927k, merupakan komet periode panjang dan sangat cemerlang. Sangat mudah dilihat dalam kisaran 1 bulan lebih. Secara terpisah ditemukan oleh astronom amatir John Francis Skjellerup (Australia, 28/11/1927) dan Edmundo Maristany (Argentina, 06/12/1927) dengan warna kuning terang yang ternyata karena kelimpahan sodium yang tinggi pada komet tersebut.

Bila hendak merunut kehadiran benda ini pada masa lalu memang sangat sulit. Sekadar contoh, astronom dari Tiongkok, Li Qibin, harus menelusuri lebih dari 150.000 manuskrip dan 10.000 prasasti yang relevan serta puluhan tinggalan lain selama 13 tahun hingga 1987 bersama 200 mahasiswanya untuk mencari dan mengidentifikasi benda langit yang di sana dikategorikan sebagai bintang Zhoubo, Bei, Jing,

atau sebutan lainnya. Tercampurnya beragam istilah cukup menyulitkan apakah benda yang tercatat benar komet atau lainnya seperti bintang, planet, nova, supernova, atau lainnya. Sama dengan di Indonesia, apa pun benda langit umumnya disebut dengan awalan Lintang/Wintang. Hingga kini, dengan banyak lagi tambahan manuskrip, pekerjaan ini masih terus berlangsung dan jauh dari tuntas. Catatan tentang hadirnya komet yang terlihat di Tiongkok salah satunya telah ditulis pada manuskrip *Book of Prince Huai Nan* (komandan pasukan raja Wu saat melawan Zhou dari Yin tahun 1057 SM), yaitu komet Halley

Rangkuman

1. Komet dikenal dengan sebutan bintang berekor.
2. Arah ekor komet selalu menjauh dari Matahari.
3. Ekor komet terdiri atas dua macam, ekor debu dan ekor gas. Ekor debu melengkung, sedangkan ekor gas lurus.
4. Cahaya komet adalah cahaya *fluorescent* atau resonansi disebabkan sinar ultraviolet Matahari, yang diisap oleh gas-gas di koma dan ekor.
5. Penamaan komet berdasarkan kepada orang yang pertama kali melaporkan penemuannya dan dihapatenkan.
6. Periode komet adalah waktu yang berlalu antara dua kembalinya sebuah komet pada perihelion.

9

Meteor

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat membedakan antara meteor, meteorit, dan hujan meteor.

A. Meteor



GAMBAR 9.1 Meteor

Pada waktu malam dengan udara yang bersih orang sering melihat benda bersinar muncul dengan sekonyong-konyong

sebagai bintang yang bergerak cepat untuk segera padam lagi. Inilah yang disebut dengan bintang beralih atau bintang meteor, benda kosmis yang sangat kecil dengan garis tengah 0,2 sampai 0,5 mm dan dapat disebut “debu pasir” atau kersik langit. Apabila benda-benda tersebut jatuh di alam udara kita dengan kecepatan lebih dari 40 km/detik, pada jarak 50-160 km di atas permukaan Bumi, mulailah pijar mereka. Oleh karena kecepatannya dengan sekonyong-konyong debu atau pasir langit itu menekan molekul-molekul udara di depannya, sehingga udara yang sangat tertekan ini menjadi sangat panas dan pijar, debu langit terbakar menjadi abu dan melayang di angkasa. Meteor sering diikuti oleh ekor yang terdiri atas uap pijar yang mengandung ion. Ini semua memberi kesan mengapa bintang beralih terlihat lebih besar dari debu atau pasir kosmis.

Proses yang menyebabkan benda itu bercahaya sedikitnya meliputi dua tahap. Pertama, tahap yang tidak tampak yang terjadi di udara jernih di ruang angkasa. Molekul udara yang sangat sedikit memukul permukaan massa yang memasuki lapisan udara yang bergerak cepat. Atom disebarkan dari permukaan massa yang mulai meleleh dan bahkan menguap, terutama karena efek penguapan itu, lapisan luar benda yang memasuki udara diubah menjadi semacam atmosfer miniatur yang mengelilingi benda itu dan terus-menerus bertambah besar.

Campuran benda padat, benda cair, dan gas yang semakin bertambah besar ini sekarang menembus lapisan atmosfer yang lebih dekat dengan permukaan Bumi dan memasuki tahap kedua. Sejumlah besar tabrakan menjadi karena molekul-molekul udara semakin besar jumlahnya dalam atmosfer yang lebih dekat dengan Bumi. Tenaga gerakan benda yang memasuki atmosfer itu diubah menjadi bentuk-bentuk tenaga lain termasuk tenaga yang mengeluarkan sinar. Tenaga ini dapat mengambil bentuk cahaya. Pada saat itu, benda yang bergerak cepat tadi tampak oleh pengamat di Bumi sebagai “bintang beralih”.

Beberapa meteor terang disebut bolide, meledak di atmos-

fer dengan suara seperti guntur. Para ilmuwan memperkirakan sebanyak 4 miliar meteor melintasi atmosfer Bumi setiap harinya.

B. Meteorit



GAMBAR 9.2 Batu Meteorit

Meteorit yang sampai ke Bumi dinamakan meteorit, biasanya merupakan gumpalan yang kecil, namun ada juga yang beratnya sampai 34 ton seperti meteorit Anhighito yang ditemukan oleh Greenland. Sebuah meteor yang sangat besar pernah jatuh di Arizona USA dan bekas jatuhnya dikenal sebagai Kawah Barringer, sebuah kawah meteor yang garis tengahnya sekitar 1,4 km dan di dalamnya sekitar 190 meter. Mungkin meteor yang membenturnya seberat 50.000 ton.

Dari batu-batu tanggul kawah orang dapat menaksir bahwa peristiwa yang terjadi beberapa ribu tahun yang lalu. Setelah berulang-ulang menjara (mengebor) mencari batu meteornya, dapatlah sekarang diketahui bahwa meteorit pecah menjadi empat atau lima bagian dan terbenam ke dalam 570 m. Penyelidikan menunjukkan bahwa meteorit terdiri atas besi, nikel, dan paltina.

Meteorit partikel bakal meteor memasuki atmosfer Bumi dengan kecepatan sekitar 70 km/detik (250.000 km/jam). Meteorit memberi kita contoh benda-benda yang menghuni ruang angkasa, sehingga kita dapat menentukan komposisi benda-benda yang terdapat di luar Bumi atau Bulan. Kita juga dapat menentukan berbagai kesimpulan tentang kondisi yang mengakibatkan terjadinya dan berevolusinya benda-benda itu serta kapan benda itu muncul atau tercipta. Berdasarkan ukurannya, terdapat meteorit yang lebih besar daripada meteorit mikro, yang memiliki dimensi maksimum kira-kira 1 cm. Meteorit-meteorit inilah yang bersinar sewaktu memasuki atmosfer.

Meteorit yang lebih besar lagi memasuki atmosfer Bumi tidak sesering meteorit kecil, tetapi kalau sampai terjadi, meteorit ini menampilkan lintasan cahaya yang lebih terang. Karena efek cahayanya semakin menakjubkan, mulailah terjadi efek suara. Efek-efek cahaya dan suara yang ditimbulkan oleh meteorit ini pada waktu memasuki atmosfer memiliki tingkatan mulai dari yang hanya mengherankan hingga yang mengerikan. Jalan yang dilewati meteorit besar dapat menghasilkan sebuah bola api yang sangat terang dan gelombang listrik yang dahsyat tepat di bawah garis cahaya. Pada saat terbentur “pecahan meteorit” yang berkecepatan tinggi pernah memotong-motong cabang pohon seperti layaknya sebuah kapak yang tajam. Meteorit pernah pula melubangi benda-benda yang keras dan rapuh seperti atap dari batu tulis, tanpa merusaknya. Pernah pula meteorit melubangi lapisan es pada kolam dan lautan dan juga atap logam mobil.

Batu-batu kosmos ini setelah mendekati Bumi sampai tinggi +15 km menjumpai udara yang lebih padat, yang menghambat atau mengerem kecepatannya, sehingga udara di depannya yang pijar berkurang tekanannya dan padam. Sering kali bola api sebelum jatuh di permukaan Bumi meletus dengan suara yang dahsyat dan sinar cahaya yang sangat kuat. Ini disebabkan oleh penghambatan kecepatan dengan sekonyong-konyong tadi,

sehingga tenaga kinetika menjadi tenaga panas. Meteorit menjadi pecah, sebelum jatuh di permukaan Bumi. Meteor-meteor batu yang jatuh di permukaan Bumi ada yang sebesar hanya beberapa cm^3 dan berat 1 kg sampai 5 kg saja, tetapi ada pula yang sebesar 5 sampai 10 m^3 dengan berat 25 sampai 60 ton lebih.

Meteorit raksasa yang pernah jatuh di Siberia sebelah utara Danau Baikal pada tanggal 30 Juni 1908. Penyelidikan di tempat bejana belum dapat memberikan hasil yang memuaskan. Lebih kurang 200 kawah meteor ditimbulkan oleh pecahan meteorit yang terpecah di sekitarnya. Tetapi meteornya sendiri belum ditemukan.

Dari berbagai batu yang ditemukan telah diadakan penyelidikan dengan saksama. Batu-batu meteor ini mengandung bahan-bahan yang juga dikenal di ekor komet, terutama zat air (H) dan Helium (He). Penyelidikan tentang perbandingan uranium dan timbel yang tertutup di batu meteor menunjukkan umur meteorit dari 100 sampai 3.000 juta tahun. Jadi, setingkat dengan umur batu di Bumi lebih kurang 2.000 juta tahun.

Ada tiga buah jenis meteorit yang dikenal, yaitu:

1. Meteorit batu yang mengandung banyak kalsium dan magnesium.
2. Meteorit besi nekel mengandung besi (90%) dan nikel (8%).
3. Toktit yang mengandung asam kiesel 80% dan serupa dengan pecahan gelas hijau. Batu-batu ini ditemukan dalam rombongan-rombongan tersebar sepanjang lingkaran Bumi yang melalui Bohemen, India belakang, Beliton, Australia, Tasmania, Peru. Umur batu lebih kurang 2 miliar tahun, berat jenis kira-kira sama dengan berat jenis Bulan.

C. Hujan Meteor

Arah gerak meteor-meteor umumnya tak tertentu, kecuali pada waktu ada “hujan bintang beralih”, maka meteor seolah-olah datang dari satu titik yang disebut titik sinar atau radiant.



GAMBAR 9.3 Hujan Meteor

Hujan bintang beralih disebut dengan nama rasi, di mana radiantnya terletak misalnya: Persedia, Leeonida, Lydira, dan sebagainya. Tiap tahun pada hari-hari tertentu orang dapat menyaksikan hujan bintang ini pada waktu antara jam 3 dan jam 4. Penyelidikan tentang beberapa lintasan meteor-meteor menunjukkan lintasan itu serupa dengan lintasan-lintasan komet yang telah dikenal. Ini menimbulkan prasangka bahwa komet-komet sedang bergerak melepaskan debu dan kersik sepanjang lintasannya. Lapisan-lapisan debu dan kersik ini tentu tak sama tebal dan padatnya, bahkan adanya sarang batu-batu dari berbagai ukuran, sebagai sisa-sisa peledakan komet.

Berbeda dengan jatuhnya meteorit yang tidak diramalkan sebelumnya, beberapa kelompok meteor tampak pada selang yang dapat dikatakan teratur jaraknya. Tontonan yang disebut dengan hujan meteor. Frekuensi penampakan meteor pada hujan itu pada suatu periode aktivitas maksimum sangat berbeda-beda. Mungkin kurang dari lima dari setiap jam dan maksimumnya tidak lebih dari 75. Namun kadang-kadang angka penampakan jauh lebih besar beribu-ribu meteor dapat diamati

dalam waktu satu jam. Diperkirakan misalnya kira-kira 35.000 meteor jatuh dalam satu jam selama hujan meteor Leonid pada Bulan November tahun 1833. Tontonan spektakuler ini yang merupakan hujan meteor yang sangat deras, menakutkan setiap orang yang melihatnya. Termasuk di dalam hujan spektakuler lainnya adalah Giacobinid pada Bulan Oktober 1933 dan 1946 serta hujan Leonid pada 17 November 1966.

Hujan meteor kadang-kadang diberi nama sesuai dengan nama komet. Namun pada umumnya konstelasi tempat terjadinya bidang gerak yang dapat dilihat dari hujan meteor menentukan nama yang diberikan pada hujan meteor itu. Sering ditemukan bahwa orbit hujan meteor sesuai dengan orbit komet yang sudah dikenal, dan oleh karenanya para ahli pada umumnya menganggap bahwa hujan adalah reruntuhan dari komet yang ada.

Meteorit-meteorit yang dapat masuk ke atmosfer Bumi dilihatnya dari ukuran yang dapat dibagi dua, yaitu *mikrometroit* dan *meteorit*. Mikrometroit hanya berukuran sekitar 1/10 mm sampai beberapa sentimeter. Partikel-partikel ini bisa terdapat di berbagai tempat di permukaan Bumi, termasuk di kutub. Mikrometroit berasal dari debu lepasan komet yang menerima semburan angin surya dan Matahari.

Partikel-partikel yang ukurannya lebih besar dari 10 cm disebut meteorit. Jika menembus atmosfer dan sampai ke Bumi, meteorit ini akan menumbuk permukaan Bumi dengan kecepatan sekitar 100 km/detik. Kecepatannya yang tinggi ini mengakibatkan timbulnya kawah meteor. Diduga meteorit berasal dari asteroid yang bergerak di dekat Bumi, dan terpengaruh gravitasi Bumi sehingga bergerak menembus atmosfer.

Dari komposisinya meteorit bisa dibagi menjadi tiga macam, yaitu meteorit yang hampir seluruhnya logam, meteorit yang mirip batuan Bumi, dan meteorit campuran besi dan batuan. Meteorit logam memiliki komposisi nikel dan besi. Meteorit jenis ini berwarna coklat dan memiliki kecepatan yang

tinggi. Struktur Kristal bahan ini menunjukkan adanya proses pemanasan dan pendinginan yang dialami meteorit. Di daerah Prambanan Jawa Tengah pernah ditemukan meteorit semacam ini yang kemudian dipakai sebagai salah satu bahan dasar pembuatan pusaka-pusaka/keris keratin. Para pembuat keris mungkin berpikir bahwa segala sesuatu yang datang dari langit pasti memiliki kesaktian, sehingga meteorit yang mereka temukan dijadikan pusaka agar pusaka-pusaka ini juga sakti.

Meteorit jenis lain yaitu campuran besi dan batuan biasa yang disebut juga *lithosiderit*. Logam-logam yang ada dalam meteorit ini adalah besi, magnesium, aluminium, dan logam-logam lain. Meteorit batuan merupakan meteorit yang paling banyak terdapat dari seluruh meteorit yang jatuh ke Bumi. Meteorit ini jika diamati dengan mikroskop ternyata banyak yang mengandung bola-bola silikat kecil yang disebut *chondrule*. Meteorit yang mengandung ini disebut *chondrit* dan yang tak mengandung *chondrule* disebut *achondrit*. *Chondrit* yang hanya terdapat dalam meteorit ini belum tentu asal usulnya.

Dari semua *chondrit* yang menarik perhatian adalah kondrit karbon. Meteorit jenis ini banyak mengandung air, karbon, dan bahan lain seperti silikat dan logam. Hal yang membuatnya sangat menarik adalah adanya bahan-bahan organik seperti asam amino, hidro karbon, dan lipida. Zat-zat organik ini terbentuk di awan gas pembentuk Matahari. Menurut para ahli, ini merupakan salah satu bukti bahwa kehidupan di alam semesta bisa muncul secara alamiah.

Jembatan Keledai

Mama Memasak Hingga Menangis

Singkatan dari Meteor, meteorit, dan hujan meteor

Kasus Nyata

Di Bulan November 2015, para pengamat cukup beruntung untuk bisa menikmati hujan meteor Leonid tanpa gangguan

cahaya Bulan yang terbenam pada pukul 21:59 WIB. Sambil menikmati hujan meteor Leonid, para pengamat juga bisa menikmati kehadiran planet Yupiter, Mars, dan Venus yang secara berurutan akan terbit di timur setelah tengah malam. Yupiter akan mendahului keempat planet tersebut dan terbit pada pukul 00:05 WIB disusul oleh Mars pada pukul 00:54 WIB, Venus pada pukul 01:20 WIB. Dan ketika Matahari mulai menampakkan diri di ufuk timur, planet cincin Saturnus juga ikut hadir pada pukul 04:53 WIB.

Hujan meteor kadang-kadang diberi nama sesuai dengan nama komet. Namun pada umumnya konstelasi tempat terjadinya bidang gerak yang dapat dilihat dari hujan meteor menentukan nama yang diberikan pada hujan meteor itu. Sering ditemukan bahwa orbit hujan meteor sesuai dengan orbit komet yang sudah dikenal, dan oleh karenanya para ahli pada umumnya menganggap bahwa hujan adalah runtuhnya dari komet yang ada.

Studi Kasus

Dalam dunia tata surya atau astronomi sering sekali kita kenal dengan istilah meteor. Apa sih sebenarnya definisi atau pengertian meteor? Meteor adalah benda langit yang masuk ke dalam wilayah atmosfer Bumi yang mengakibatkan terjadinya gesekan permukaan meteor dengan udara dalam kecepatan tinggi. Akibat adanya gesekan yang cepat tersebut menimbulkan pijaran api dan cahaya yang dari kejauhan kita melihatnya seperti bintang jatuh.

Ketika kita melihat sejenak ke langit yang cerah pada malam hari, tampak seberkas cahaya bergerak cepat lalu hilang. Itulah meteor. Meteor atau disebut juga bintang jatuh merupakan bagian dari asteroid yang terpisah. Meteor yang jatuh mengarah ke Bumi akan tampak seperti bola api. Meteor yang jatuh terkadang sangat banyak dan disebut sebagai hujan meteor. Ketika terjadi hujan meteor, jutaan meteor

masuk ke dalam atmosfer Bumi, tetapi sebagian besar terbakar habis sebelum mencapai permukaan Bumi. Kadang-kadang meteor yang besar tidak terbakar habis dan akhirnya sampai ke permukaan Bumi dan disebut sebagai meteorit. Meteor besar yang jatuh ke Bumi akan membentuk kawah besar seperti kawah Barringer di wilayah Arizona. Kawah ini terbentuk oleh meteor yang jatuh kira-kira 40.000 tahun yang lalu.

Rangkuman

Meteor adalah penampakan jalur jatuhnya meteoroid ke atmosfer Bumi, lazim disebut sebagai bintang jatuh. Penampakan tersebut disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh tekanan ram pada saat meteoroid memasuki atmosfer. Meteor yang sangat terang, lebih terang daripada penampakan Planet Venus, dapat disebut sebagai bolide. Jika suatu meteoroid tidak habis terbakar dalam perjalanannya di atmosfer dan mencapai permukaan Bumi, benda yang dihasilkan disebut meteorit. Meteor yang menabrak Bumi atau objek lain dapat membentuk *impact crater*.

Selain meteor, kita juga perlu tahu pengertian meteorit. Meteorit adalah benda-benda di luar angkasa dengan kecepatan yang cepat. Jumlah meteorit di angkasa raya tidak terhitung karena sangat banyak dengan berbagai bentuk, jenis, bahan kandungan, warna, sifat, dan sebagainya. Dan, yang tidak kalah menarik terkait meteor adalah fenomena hujan meteor.

Hujan meteor adalah fenomena astronomi yang terjadi ketika sejumlah meteor terlihat bersinar pada langit malam. Meteor ini terjadi karena adanya serpihan benda luar angkasa yang dinamakan meteoroid, yang memasuki atmosfer Bumi dengan kecepatan tinggi. Ukuran meteor umumnya hanya sebesar sebutir pasir, dan hampir semuanya hancur sebelum mencapai permukaan Bumi. Serpihan yang mencapai permukaan Bumi disebut meteorit. Hujan meteor umumnya terjadi ketika Bumi

melintasi dekat orbit sebuah komet dan melalui serpihannya. Setelah mengetahui pengertian meteor, hal lain yang terkait meteor adalah atmosfer Bumi.

10

Asteroid

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat memahami sejarah penemuan asteroid, langkah-langkah penemuan asteroid, serta orbit dan jenis-jenis asteroid.

A. Sejarah Penemuan Asteroid

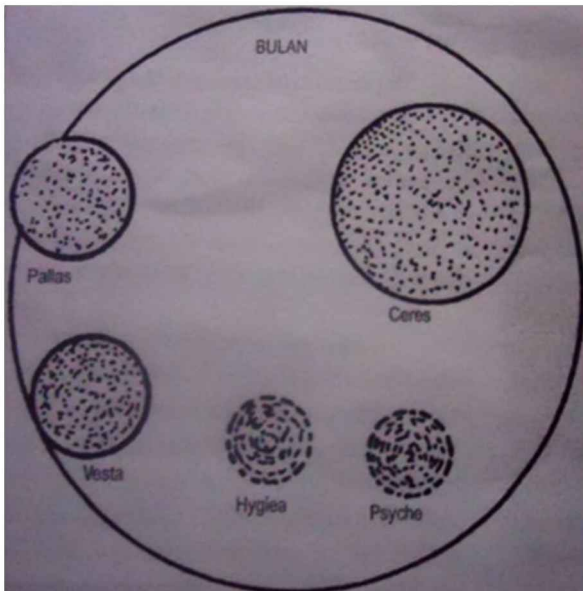
Pada awalnya ada yang berpikir bahwa ada sebuah planet yang terdapat di sekitar orbit Mars dan Yupiter yang kemudian pecah. Para ahli cenderung berpikiran asteroid adalah sebuah planet yang gagal terbentuk. Saat pembentukan planet waktu tata surya baru terbentuk, ada sekumpulan materi yang terletak antara Mars dan Yupiter yang tidak bisa memadat menjadi planet. Ini terjadi karena gaya gangguan gravitasi Yupiter menghalangi pembentukan planet ini. Pada saat itu, kohesi calon planet dikalahkan oleh gravitasi Yupiter sehingga muncul bukan planet, tetapi butiran-butiran kecil yaitu asteroid, dan dari mana asal usul asteroid itu sampai sekarang belum tahu dari mana asalnya serta masih menjadi bahan spekulasi.

Pada 1766 Titius dan Bode yang mencoba membuat rumus jarak planet dari Matahari secara empiris yang menyatakan bahwa di antara Mars dan Yupiter pada jarak 2,8 SA (satuan astronomi) seharusnya terdapat sebuah planet. Menjelang per-

gantian abad para ahli mulai mencari planet ini, tetapi tidak berhasil. Baru pada 1 Januari 1801 Giuseppe Piazzi, seorang astronom Italia, berhasil menemukan sebuah objek dan memberi namanya Ceres yang diambil dari nama dewi pelindung Sisilia (Bayung Chasyono, 2005). Asteroid Ceres memiliki ukuran yang cukup besar, yaitu 1.032 km.

Tetapi pengamatan dengan menggunakan teleskop menunjukkan bahwa Ceres sangat kecil, sehingga bentuk piringan seperti yang terlihat pada planet-planet tidak ada. Mereka menduga kalau Ceres bukanlah planet yang dicari sehingga mereka lalu mencari lagi untuk mendapatkan planet itu.

Setelah mencari beberapa lama, pada tahun 1802 seorang astronom yang bernama W. M. Olbers menemukan objek kecil lagi yang kemudian diberi Pallas. Asteroid ini memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan asteroid Ceres, yaitu 588 km.



GAMBAR 10.1 Perbandingan Ukuran Asteroid-asteroid Besar dengan Bulan

Penemuan ini lalu diikuti dengan penemuan objek lain pada 1807, yang kemudian diberi nama *Vesta*. Asteroid ini memiliki ukuran lebih kecil lagi dibandingkan Asteroid Ceres dan Pallas, yaitu 576 km. Akhirnya, mereka sadar bahwa planet yang dicari itu tidak ada, dan Olbers menyarankan kalau objek-objek ini adalah sisa dari planet yang pecah. Berikut ini adalah Gambar 10.1 perbandingan ukuran asteroid-asteroid besar dengan Bulan.

Kemudian Sir William Herschel, seorang astronom Inggris, menyarankan agar objek-objek ini diberi nama *Asteroid*. Kata ini berasal dari kata Yunani yang berarti “mirip bintang,” diberi nama demikian karena jika dilihat menggunakan teleskop asteroid ini tampak mirip bintang. Di beberapa asteroid terdapat juga satelit, di antaranya adalah Asteroid Ida (terlihat pada Gambar 10.2) dengan diameternya 56 km yang memiliki satelit kecil disebut Dactyl dengan diameter 1 km dan Asteroid 45 Eugenia yang juga memiliki satelit kecil (Steve Darker, 2007).



GAMBAR 10.2 Asteroid 243 Ida

Pada 1891, Max Wolf memelopori penggunaan astrofotografi untuk mencari asteroid. Di sini satu daerah dipotret, dan apabila terdapat garis-garis pendek pada pelat fotografi, ini pertunjukan awal tentang asteroid yang diamati. Cara ini membuat asteroid yang ditemukan meningkat secara drastis. Wolf sendiri

menemukan 248 buah yang diawali dengan asteroid 323 Brescia (Agustius Gunawan, 2009).

B. Langkah-langkah Penemuan Asteroid

Menurut (Admiranto, 2009) ada empat langkah tindakan yang harus dilakukan dalam menemukan asteroid, yaitu:

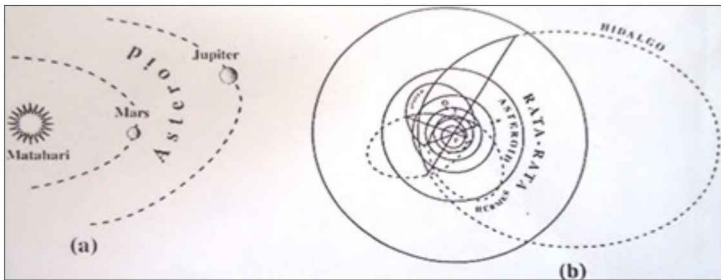
1. Satu wilayah langit dipotret beberapa kali menggunakan sebuah teleskop medan luas lalu diambil sepasang pelat yang jarak pemotretannya terpisah satu jam.
2. Dua potret dari wilayah langit yang sama diamati menggunakan sebuah stereoskop. Bilamana terdapat benda langit yang mengorbit Matahari, maka akan kelihatan pergerakan benda langit itu relatif terhadap bintang yang lebih jauh.
3. Bilamana terdapat sebuah benda yang tampak bergerak relatif bintang yang lebih jauh, posisinya akan diukur lebih teliti terhadap kedudukan bintang yang sudah diketahui.
4. Pengamat akan mendapatkan sebuah penampakan.

Calon asteroid ini kemudian mendapatkan nama sementara yang tersusun dari tahun penemuan, satu huruf yang menyatakan, dan satu huruf dan angka yang menyatakan nomor urut calon asteroid tersebut, contoh: 2007 D T21. Selanjutnya penemuan ini akan dilaporkan ke Brian Marsden di Minor Planet Center. Untuk pemberian namanya, diberikan kehormatan kepada orang yang mengamati adanya penampakan yang diikuti dengan perhitungan objeknya dan menunggu persetujuan dari International Astronomical Union.

C. Orbit Asteroid

Asteroid-asteroid yang letak orbitnya berada di antara 2 dan 3,5 SA disebut dengan *sabuk utama asteroid*. Asteroid-asteroid yang letaknya lebih jauh, seperti asteroid-asteroid yang masuk ke dalam kelompok *Troya* (5 SA) yang terdiri dari dua kelompok.

Kelompok Troya memiliki kedudukan yang cukup unik, karena terletak sebelah-menyebelah Jupiter. Kelompok asteroid Troya ini memiliki parameter-parameter orbit yang sama dengan parameter orbit Jupiter. Hal ini diakibatkan oleh interaksi gravitasi antara Matahari dan Jupiter. Dalam mekanika benda langit, jika ada benda lain yang berada di bawah pengaruh gravitasi dua benda yang saling berinteraksi dan benda ketiga ini ukurannya jauh lebih kecil, benda ketiga cenderung kedudukan paling stabil yang mana gaya tarik-menarik antara dua benda yang lebih besar saling meniadakan. Kedudukan ini dikenal dengan *Titik Lagrange*, dan posisi yang ditempati asteroid-asteroid Troya adalah Titik Lagrange dalam interaksi gravitasi antara Matahari dan Jupiter.



GAMBAR 10.3 Orbit Asteroid

Ada beberapa asteroid yang memiliki orbit yang cukup eks-trinsik. Contoh: 944 Hidalgo (pada Gambar 10.3) adalah asteroid yang aphelionnya terletak dekat dengan orbit Saturnus (sejarak 9,7 SA), sedangkan perhelionnya hanyalah 2 SA (didekat orbit Mars). Ada beberapa asteroid yang orbitnya memotong orbit Mars dan Bumi, seperti Adonis, Apollo, Eros, dan Ircus yang dikenal sebagai asteroid jenis Apollo-Amor-Aten.

D. Jenis-jenis Asteroid

Para ahli yang melakukan pengamatan spektroskopik pada

asteroid membagi asteroid menjadi empat jenis, yaitu:

1. Asteroid jenis C (karbon)

Tipe ini merupakan asteroid yang paling gelap, kaya akan silikat hidrat dan karbon. Enam puluh persen dari seluruh asteroid masuk golongan ini, khususnya yang terletak di bagian luar sabuk utama.

2. Asteroid jenis S (silikat)

Asteroid-asteroid ini terletak pada bagian dalam sabuk utama dan dari spektrumnya asteroid jenis ini tampak banyak mengandung batuan dan logam (besi dan nikel).



GAMBAR 10.4 Astroid 951 Gaspra

Sekitar 30 persen dari seluruh asteroid termasuk golongan ini. Salah satu contohnya Asteroid 951 Gaspra seperti Gambar 10.4.

3. Asteroid jenis M (Metalik)

Jenis ini seluruhnya terdiri dari logam (besi dan nikel).

4. Asteroid jenis U (tidak terklasifikasi)

Asteroid jenis ini tidak termasuk ketiga klasifikasi di atas. Contohnya: asteroid Vesta yang memiliki albedo tinggi (40 persen) dengan spektrum yang mendominasi piroksene dan feldspar.

Jembatan Keledai:

Cacing suka makan ulat

Singkatan dari Carbon, Silikat, Metalik, U

Studi Kasus

Secara total, massa semua asteroid lebih kecil dari Bulan Bumi. Tetapi meskipun ukurannya kecil, asteroid bisa berbahaya. Banyak yang menabrak Bumi di masa lalu, dan lebih akan menabrak planet kita di masa depan. Itulah salah satu alasan para ilmuwan mempelajari asteroid dan bersemangat untuk mempelajari lebih lanjut tentang jumlah, orbit dan karakteristik fisik asteroid. Para ilmuwan memperkirakan sabuk asteroid juga berisi lebih dari 750.000 asteroid yang diameternya lebih besar dari tiga perlima dari satu mil (1 km) dan jutaan yang lebih kecil. Asteroid Tidak semuanya berada di sabuk utama—misalnya, komet baru-baru ini ditemukan di sana, dan Ceres, pernah dianggap hanya sebagai asteroid, kini juga dianggap sebagai planet kerdil.

Kasus Nyata

Asteroid bisa mencapai besar seperti Ceres, yaitu 940 km (sekitar 583 mil). Di sisi lain, salah satu yang terkecil, ditemukan pada 1991 dan diberi nama 1991 BA, hanya sekitar 20 kaki (6 meter). Hampir semua asteroid bentuknya tidak teratur, meskipun ada beberapa yang hampir bulat, seperti Ceres. Mereka sering berlubang atau kawah—misalnya, Vesta memiliki kawah raksasa dengan diameter sekitar 285 mil (460 km). Permukaan asteroid diperkirakan akan tertutup debu. Asteroid berputar mengelilingi Matahari dalam orbit elips, mereka memutar, kadang-kadang jatuh tak menentu. Lebih dari 150 asteroid juga dikenal memiliki pendamping Bulan kecil, dengan beberapa memiliki dua bulan. Asteroid biner atau ganda juga ada, di mana dua asteroid yang ukur-

annya kurang lebih sama antara orbit satu dengan yang lain, dan sistem asteroid tiga dikenal juga. Banyak asteroid yang tampaknya telah ditangkap oleh gravitasi planet dan menjadi Bulan-kandidat meliputi antara Bulan Mars Phobos dan Deimos dan sebagian besar Bulan luar jauh dari Yupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus.

Suhu rata-rata permukaan asteroid minus 100 °F (minus 73°C). Asteroid telah tinggal sebagian besar tidak berubah selama miliaran tahun—dengan demikian, penelitian mereka bisa mengungkapkan banyak tentang awal tata surya. Asteroid memiliki berbagai bentuk dan ukuran. Beberapa padat, sementara yang lain seperti tumpukan kecil dari puing-puing terikat bersama oleh gravitasi. Satu, yang mengorbit Matahari antara Neptunus dan Uranus, memiliki bentuk seperti cincin. Dan memiliki bukan hanya satu tapi enam buah.

Rangkuman

Asteroid adalah benda langit kecil dan padat yang terdapat dalam sistem tata surya kita. Asteroid adalah contoh dari sejenis planet kecil (atau disebut juga planetoida), namun jauh lebih kecil dari sebuah planet. Asteroid berada dalam sebuah sabuk antara Mars dan Yupiter yang disebut sabuk asteroid.

Langkah-langkah Penemuan Asteroid ada empat langkah tindakan yang harus dilakukan dalam menemukan asteroid, yaitu:

1. Satu wilayah langit dipotret beberapa kali menggunakan sebuah teleskop medan luas lalu diambil sepasang pelat yang jarak pemotretannya terpisah satu jam.
2. Dua potret dari wilayah langit yang sama diamati menggunakan sebuah stereoskop. Bilamana terdapat benda langit yang mengorbit Matahari, maka akan kelihatan pergerakan benda langit itu relatif terhadap bintang yang lebih jauh.

3. Bilamana terdapat sebuah benda yang tampak bergerak relatif bintang yang lebih jauh, posisinya akan diukur lebih teliti terhadap kedudukan bintang yang sudah diketahui.
4. Pengamat akan mendapatkan sebuah penampakan.

11

Bumi

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat mengetahui karakteristik Bumi.

A. Pendahuluan

Bumi adalah satu-satunya planet di tata surya yang dapat dihuni oleh makhluk hidup. Faktor yang membuat Bumi untuk ditinggali oleh makhluk hidup antara lain: keberadaan air yang melimpah, kandungan oksigen yang besar, dan orbit yang stabil. Di Bumi jugalah air dapat berbentuk tiga wujud, yaitu cair, padat (es), dan gas. Bumi memiliki diameter 12.756 km, sedikit lebih besar daripada planet Venus. Sebanyak 71 persen permukaan Bumi berupa lautan. Air laut yang menguap akibat panas Matahari akan melintasi benua hingga turun menjadi hujan yang menyediakan air segar bagi makhluk hidup. Bumi ini terbentuk 4,6 miliar tahun yang lalu, walaupun bukti batuan tertua yang pernah ditemukan hanya berusia 3,9 miliar tahun. Batuan yang usianya lebih tua tidak pernah ditemukan karena telah hancur oleh erosi (Trija Fayeldi, 2011).

B. Bentuk dan Geometri Bumi

1. Bentuk Bumi

Sebelum adanya bukti seperti sekarang, Bumi hanya dapat disimpulkan bahwa berbentuk bulat dari fakta-fakta yang pasti. Misalnya, diketahui bahwa lambung sebuah kapal yang berlayar menjauhi mengikuti lengkung Bumi dan menghilang bagian atasnya tidak terlihat lagi. Diketahui juga pada saat gerhana Bulan total terjadi, Bumi membentuk sebuah bayang-bayang melengkung di atas permukaan Bulan. Selain itu, bukti-bukti gambar yang diambil dari hasil pemotretan Bumi yang diambil menggunakan roket, satelit buatan, maupun kapal ruang angkasa yang berhasil diluncurkan ke angkasa luar. Bukti-bukti yang dahulu dengan susah payah dikemukakan oleh para cerdik pandai mengenai bentuk Bumi, kini tidak lagi diperlukan.

Pendapat-pendapat yang tepat mengenai bentuk Bumi hanya diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung melalui permukaan Bumi dengan cara pengukuran derajat (*graad-meting*, bahasa Belanda). Ilmu yang bersangkutan dengan pengukuran Bumi dan sebagian dari permukaan Bumi disebut *Geodesi*. Pertama kali dilakukan oleh Eratosthenes dari Alexandria (275-195 SM), kemudian berkali-kali diulangi dan disempurnakan di berbagai bagian Bumi, seperti yang dilakukan oleh W. Snellius (di negeri Belanda), Mechsins dan Delambre (antara Duinkerken dan Barcelona), dan lain-lain. Dengan pengukuran yang dilakukan ini, ternyata bentuk Bumi sesungguhnya tidak benar bulat seperti bola. Bentuk Bumi di daerah khatulistiwa bentuk agak melengkung daripada dekat kutub-kutubnya. Bentuk Bumi seperti itu serupa dengan benda yang disebut *ellipsoida putaran*, ialah sebuah benda yang terjadi karena berputarnya sebuah elips pada salah satu dari sumbunya (sumbu pendeknya) atau hal ini lebih dikenal dengan sebutan *geoida* (Endarto, 2005).

2. Geometri Bumi

Menurut Helmert dan Hayfort (dalam Endarto, 2005) ukuran-ukuran Bumi yang mendekati realitas sebagai berikut:

Jari-jari Bumi pada equator	= 6.378,4 km	= 3.964 mil
Jari-jari Bumi pada kutub	= 6.356,9 km	= 3.951 mil
Jari-jari rata-rata	= 6.371 km	= 3.960 mil

Dari data di atas dapat diketahui bahwa jari-jari Bumi pada kutub (jari-jari polar) lebih pendek dibandingkan dengan jari-jari Bumi pada equator (jari-jari equator). Dengan menggunakan jari-jari rata Bumi dapat diketahui bahwa luas permukaan Bumi adalah 510 juta km^2 , Volume Bumi $1,08 \times 10^{12} \text{ km}^3$, Massa total Bumi yang ditentukan dari gaya gravitasi Bumi adalah $5,98 \times 10^{27}$ gram, dan densitas rata-rata Bumi adalah $5,52 \text{ g/cm}^3$ (densitas air murni 1 g/cm^3), (Tjasyono, 2003).

3. Akibat-akibat Bentuk Bumi yang Bulat

a. Permukaan Bumi yang Melengkung di Mana-mana

Hal ini menimbulkan kejadian-kejadian yang kadang-kadang tampak aneh. Contohnya:

1. Terdapatnya Cakrawala.

Cakrawala adalah lingkaran yang ada di sekeliling kita seolah-olah merupakan garis batas pertemuan antara langit dan Bumi atau disebut juga lingkaran batas pemandangan. Gejala ini terjadi karena permukaan Bumi itu melengkung dengan lengkungan yang sama ke segala arah dan tidak dapat melihat dengan arah yang membelok dan membentuk sudut (atau sinar itu merambat melalui garis yang lurus).

2. Semakin Tinggi Permukaan Semakin Luas Batas Pemandangan.

Makin tinggi berada di atas permukaan Bumi makin jauh atau makin besar pula lingkaran batas pemandangan. Dengan perhitungan ilmu pasti dapat dihitung berapa km

jauhnya letak horizon kodrat itu dari pengamat makin jauh pula.

3. Kenampakan Tiang Kapal Saat Menuju ke Pantai.

Jika berdiri di tepi pantai dan memandang ke arah laut kapal-kapal yang berlayar menuju ke pantai, yang dilihat terlebih dahulu dari kejauhan mula-mula ialah asapnya, kemudian tiang-tiangnya yang tertinggi, cerobongnya, dan baru kemudian badannya. Seakan-akan kapal itu muncul dari air laut ke atas garis cakrawala.

b. Permukaan Bumi yang Meluas ke Segala Arah Tanpa Batas-batas Tertentu

Jika orang mengadakan perjalanan keliling Bumi dengan menggunakan jenis transportasi apa pun, dan dapat mengatasi semua rintangan alam yang menghadapinya, ke arah mana pun orang pergi, tidak akan dijumpai batas-batas tertentu, yang merupakan akhir dari permukaan Bumi ini. Namun bukan berarti permukaan Bumi itu luasnya tanpa batas, tetapi tidak tak berhingga karena manusia telah mampu menghitung luasnya dengan menggunakan perhitungan ilmu pasti.

C. Atmosfer, Hidrosfer, dan Litosfer

1. Atmosfer

Istilah ilmiahnya diturunkan dari kata Yunani, yaitu *atmos* berarti uap. Atmosfer adalah udara yang mengelilingi Bumi yang terdiri dari sekitar 78 persen nitrogen, 21 persen oksigen, dan 1 persen gas-gas lain, termasuk uap air dan karbon dioksida serta debu.

Lapisan bawah dari selubung udara adalah *troposfer*. Troposfer berasal dari kata Yunani, yaitu tropo yang berarti “berubah” jadi troposfer merupakan daerah tempat perubahan-perubahan besar terjadi pada suhu, tekanan, dan kadar air. Walaupun sebagian besar perubahan relatif terjadi di dekat

Bumi, troposfer meluas sampai ketinggian 10 km, pada batas luas disebut *tropopause*.

Lapisan atmosfer selanjutnya, sepanjang 10 km sampai 40 km di atas permukaan Bumi adalah *stratosfer*. Inilah zona angin aneh yang dikenal sebagai aliran jet, yaitu aliran udara yang kuat dan bergerak cepat, yang dapat mencapai kecepatan 400 km/jam. Suhu di dalam stratosfer naik dari tingkat bawah -60°C pada ketinggian 10 km sampai ke tingkat atas 0°C pada ketinggian 40 km. Pada titik ini stratosfer memberikan jalan kepada *mesosfer*, yang meluas dari 40 km sampai sekitar 70 km di atas permukaan planet kita. Suhu di mesosfer 0°C pada ketinggian 40 km dan -90°C pada ketinggian 75 km sampai 90 km ke atas. Udara di mesosfer jauh lebih tipis dari udara di udara stratosfer.

Lapisan atmosfer yang meluas dari 70 km sampai 400 km di atas Bumi adalah termosfer, daerah yang udaranya luar biasa tipis. Karena terbuka oleh radiasi dari ruang angkasa dan Matahari, banyak dari molekul dan atomnya bermuatan listrik, yaitu terionisasi atau disebut dengan *ionosfer*. Di ketinggian 400 km atau lebih terdapat *eksosfer*, yang dipandang sebagai pinggir atmosfer yang paling luar. Di eksosfer gas yang paling luar biasa tipis terutama hidrogen.

2. Hidrosfer

Hidrosfer merupakan selubung Bumi berupa air, meliputi samudera, lautan, sungai rawa, danau, dan air bawah permukaan. Samudra dan lautan berhubungan satu sama lainnya. Biasanya lautan menempati bagian tepian yang menjorok ke dalam benua. Permukaan Bumi yang luasnya $510.000.000 \text{ km}^2$, terdiri dari $361.000.000 \text{ km}^2$ (71%) daratan. Dengan demikian, luas samudra dan lautan adalah kecil dibandingkan volume Bumi, yakni $1/8.000$ dari volume Bumi. Samudera dibedakan menjadi Samudra Pasifik, Atlantik, Hindia, dan Artik.

3. Litosfer

Litosfer ialah bagian padat Bumi terdiri dari tiga jenis batuan, yaitu batuan gunung berapi, batuan endapan, dan metamorf, serta tanah. Tanah terdiri dari puing batuan yang bergabung dengan bahan-bahan organik. Batuan gunung berapi dari zat penghasil batuan yang luluh disebut magma. Batuan endapan terdiri atas berbagai pecahan batuan yang telah tertimbun beribu-ribu tahun yang lalu dan telah tertekan bersama. Pada saat batuan gunung berapi atau batuan endapan berubah karena suhu, tekanan, dan kekuatan di dalam Bumi berubah-ubah, maka terjadilah batuan metamorfik.

Jembatan keledai

Akan hidup lagi

Singkatan dari Atmosfer, hidrosfer, dan litosfer

D. Sifat-sifat Kimiawi Bumi

Kerak Bumi dapat dibagi atas dua bagian, yaitu bagian benua dan bagian samudra. Di bagian kerak benua terdiri atas silikat magnesium, besi aluminium, kalsium, dan ditambah unsur-unsur alkali, dan silika bebas (SiO_2). Komposisi kimia dari bagian samudra masih banyak diperdebatkan. Kerak Bumi samudra terdiri dari sedikit banyak kalsium, magnesium, dan besi, juga sedikit mengandung potasium sodium dan silika tanpa mengesampingkan pendapat yang lain yang menyatakan bahwa di kerak samudra terdiri dari dnit dan peridotit.

E. Tata Koordinat pada Bumi

1. Globe

Globe adalah peta Bumi yang berbentuk bulat seperti bola, sebagai tiruan Bumi yang mendekati kebenaran yang aslinya. Pada tiap-tiap globe selain gambar-gambar lautan, benua, dan

lainnya, tampak pula garis/lingkaran lintang (paralel), lingkaran-lingkaran bujur (meridian) dan lain-lain. Globe dapat pula diputar mengelilingi sebuah sumbu yang melalui titik pusatnya serta menembus bola globe itu di kedua kutubnya.

2. Paralel (Lintang)

Pada bola Bumi di bagian tengahnya dapat digambarkan suatu lingkaran besar, yang letaknya jauh satu sama lain dari kutub tersebut. Sehingga bola Bumi dibagi menjadi dua bagian yang sama, yaitu khatulistiwa dan equator. Khatulistiwa Bumi ialah lingkaran besar pada bola Bumi yang bidangnya melalui pusat Bumi, tegak lurus pada sumbu Bumi, serta membagi bola Bumi atas dua bagian yang sama besarnya. Bidang equator ini melalui pusat Bumi, dan berdiri tegak lurus pada sumbu Bumi di titik pusat itu. Lingkaran lintang atau paralel adalah lingkaran yang sejajar dengan garis equator. Paralel-paralel yang berada di sebelah utara khatulistiwa disebut paralel utara, dan yang di selatan disebut paralel selatan, dinyatakan dengan derajat dari equator. Lingkaran lintang ini makin dekat dengan kutub makin kecil bentuknya, sedangkan di kutub hanya merupakan sebuah titik saja.

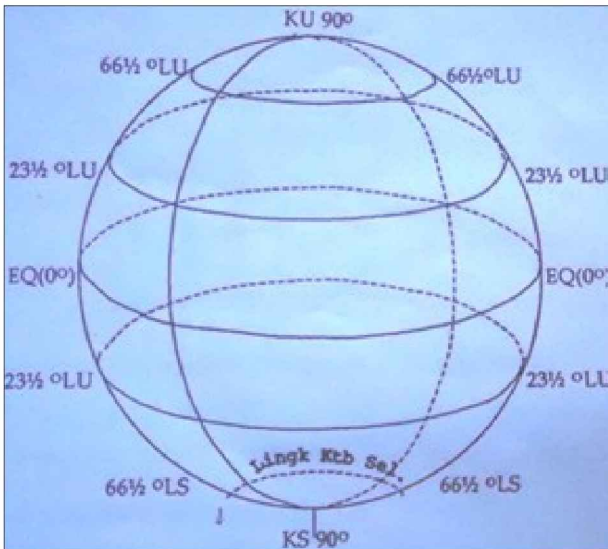
3. Bujur (Meridian)

Bujur atau meridian adalah lingkaran-lingkaran yang berada di samping lingkaran-lingkaran paralel yang membujur dari kutub utara ke kutub selatan. Salah satu dari garis-garis bujur (meridian) yang dijadikan pangkal perhitungan meridian-meridian yang lain disebut meridian nol (*prime meridian*) dan yang lazim digunakan adalah meridian yang melalui kota Greenwich, London. Meridian ini dapat dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu meridian barat (0° sampai 180° ke arah barat) dan meridian timur (0° sampai 180° ke arah timur) sehingga garis 180° bujur barat berimpit dengan bujur timur.

4. Titik-titik dan Lingkaran-lingkaran Istimewa pada Globe

Ada beberapa paralel yang perlu diingat, yaitu:

- a. Paralel $23^{\circ}30'$ utara dan selatan, yang merupakan lingkaran balik atau tropis (lihat Gambar 11.1). Di belahan utara disebut lingkaran balik utara/*cancer* (*Tropic of Cancer*) dan belahan selatan disebut lingkaran balik selatan/*capricorn* (*Tropic of Capricorn*).



GAMBAR 11.1 Titik-titik dan Lingkaran-lingkaran Istimewa pada Globe Bumi

- b. Paralel $66^{\circ}30'$ utara dan selatan, keduanya juga disebut lingkaran kutub, yaitu lingkaran kutub utara (*Arctic Circle*) dan lingkaran kutub selatan (*Antarctic Circle*).
- c. Paralel 0° atau khatulistiwa juga equator.
- d. Meridian 0° atau meridian Greenwich (*prime meridian*).
- e. Titik-titik kutub utara dan selatan yang juga merupakan paralel-paralel 90° utara dan selatan.

5. Menentukan Letak Suatu Tempat di Bumi

Untuk menentukan letak suatu tempat di Bumi digunakan koordinat-koordinat lintang geografis dan bujur geografis yang ditentukan terhadap dua buah bidang lingkaran yang tetap kedudukannya serta saling tegak lurus, yaitu bidang khatulistiwa dan bidang meridian nol.

a. Lintang Geografis

Lintang geografis adalah panjang bujur meridian tempat itu sampai ke khatulistiwa yang disebut juga Latitude. Menurut letak tempatnya di utara atau selatan ekuator, lintang geografis dibedakan menjadi:

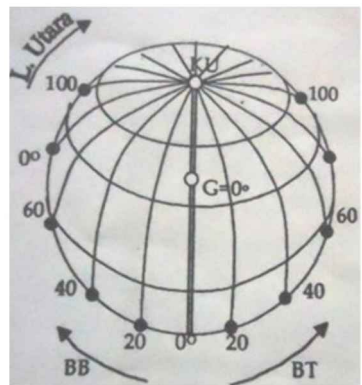
- 1) Lintang geografis utara (*North Latitude*) yang disingkat dengan LU.
- 2) Lintang geografis selatan (*South Latitude*) yang disingkat dengan LS.

b. Bujur Geografis

Bujur geografis adalah panjang bujur di khatulistiwa antara meridian tempat itu sampai meridian nol atau disebut juga longitude (pada Gambar 11.2).

c. Penentuan Letak

Lintang dan bujur geografis dinyatakan dengan satuan derajat, menit dan detik. Lintang geografis dari $0^\circ - 90^\circ$ dan Bujur geografis dari $0^\circ - 180^\circ$. Misalkan Semarang terletak di $110^\circ 25'$ BT dan 6° LS. Begitu juga dengan letak suatu negara dapat ditentukan dengan lintang dan bujur geografis. Misalkan Indonesia terletak antara 90° BT dan 150° BT.



GAMBAR 11.2 Lintang dan Bujur Geografis

F. Rotasi Bumi

Rotasi Bumi merupakan perputaran Bumi pada sumbunya dengan arah dari barat ke timur dalam waktu 24 jam. Beberapa kejadian penting yang merupakan akibat dari rotasi Bumi adalah sebagai berikut:

1. Peredaran Semu Harian Benda Langit

Dirasakan adanya peredaran bintang, Matahari, Bulan, dan benda langitnya bergerak, terbit dari timur dan terbenam sebelah barat. Keesokan harinya benda langit itu akan terbit lagi di timur. Pergerakan benda langit itu dinamakan peredaran semu. Dinamakan semu karena gerakan itu hanya tampak oleh pengamat, bukan peredaran yang sebenarnya.

2. Peristiwa Siang dan Malam

Peredaran semu harian Matahari dapat secara langsung diamati. Lebih dari itu, orang di Bumi mengalami pergantian siang dan malam. Peredaran semu harian Matahari rata-rata 12 jam yang lazim dinamakan satu hari. Panjang periode satu hari di daerah khatulistiwa hampir sama sepanjang tahun dibandingkan dengan tempat-tempat yang jauh dari daerah khatulistiwa.

3. Perbedaan Waktu

Perbedaan waktu didasarkan dengan adanya perbedaan meridian untuk masing-masing tempat, yaitu tiap 1° jarak dua garis meridian yang berurutan, waktunya berbeda 4 menit atau tiap 15° berbeda 1 jam. Zona-zona waktu di seluruh dunia berpangkal pada daerah waktu meridian nol derajat yang dikenal dengan *Greenwich Mean Time* (GMT). Indonesia yang letaknya memanjang antara 95° BT dengan 141° BT dibagi atas tiga daerah waktu, yaitu:

- a) Waktu Indonesia bagian barat (WIB) yang berpangkal pada waktu untuk meridian 105° BT. Derahnya meliputi 16 provin-

- si, yaitu: DI Aceh, Sumut, Sumbar, Riau, Jambi, Bengkulu, Lampung, DKI Jakarta, Jabar, Jateng, Serang, DI Yogyakarta, dan sejak Januari 1988 ditambah Kalbar, dan Kalteng di mana WIB = GMT +7 jam ($105: 15 = 7$).
- b) Waktu Indonesia bagian tengah (WITA) pada meridian 120° BT. Daerahnya meliputi 11 provinsi, yaitu: Kalsel, Kaltim, Sulsel, Sulteng, Sultra, Sulut, Gorontalo, Bali, NTB, NTT, dan Timtim di mana WITA = GMT +8 jam ($120: 15 = 8$).
 - c) Waktu Indonesia bagian timur (WIT) pada meridian 135° BT. Daerahnya meliputi dua provinsi, yaitu: Maluku dan Irian Jaya di mana WIT = GMT +9 jam ($135: 15 = 9$).

4. Perbedaan Arah Mata Angin

Rotasi dari Bumi mengakibatkan adanya pembelokan arah angin pasat. Angin pasat adalah angin tetap yang meniup dari daerah subtropika (utara dan selatan) ke arah daerah khatulistiwa. Akan tetapi, akibat pengaruh rotasi Bumi, angin-angin itu berubah menjadi angin pasat timur laut dan pasat tenggara. Tidak saja angin pasat, bahkan semua angin di muka Bumi ini berbelok dari arah bertiupnya. Yang berada di sebelah belahan Bumi utara berbelok ke kanan, sedangkan yang di belahan Bumi selatan berbelok ke kiri dan ini dikenal dengan *Hukum Buys-Ballot*.

5. Bentuk Bumi yang Pepat

Terjadinya bentuk Bumi yang pepat di kutub-kutubnya disebabkan karena rotasi Bumi. Dan, pastilah Bumi berputar pada sumbunya sejak Bumi masih lunak keadaannya. Sebab barang yang lunak itu akan mengalami pemampatan pada kedua ujung sumbunya jika diputar.

6. Perbedaan Besarnya Gravitasi Bumi

Di kutub gaya tarik Bumi ini lebih kuat dibandingkan di daerah khatulistiwa, sebab:

- a) Kutub lebih dekat letaknya dari pusat Bumi daripada daerah khatulistiwa (karena pepat).
- b) Kutub seolah-olah tidak turut berputar dengan Bumi karena tepat berada di sumbu Bumi, sedangkan tempat-tempat di khatulistiwa berputar mengelilingi sebuah lingkaran sebesar keliling Bumi (40.000 km) di dalam 24 jam, gaya ini disebut gaya sentrifugal, yaitu gaya yang menjauh dari pusat. Gaya berputar ini akan melemahkan gaya tarik Bumi, sedangkan di kutub gaya berputar tidak ada.

G. Revolusi Bumi

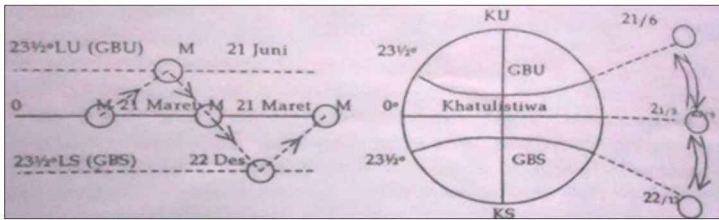
Revolusi Bumi adalah perputaran Bumi mengelilingi Matahari. Periode revolusi Bumi selama 365 hari 6 jam 9 menit dan 10 detik. Bidang orbit Bumi mengelilingi matahari dinamakan ekliptika. Beberapa ahli mengemukakan pendapat tentang revolusi Bumi, yaitu:

1. Copernicus (1543) mengemukakan, bahwa Bumi berputar mengelilingi sumbunya sekali putaran dalam sehari dan Bumi bergerak mengelilingi Matahari sekali dalam setahun.
2. Kepler (1609) berhasil menemukan hukum-hukum yang menguasai gerakan Bumi dan planet lainnya mengelilingi Matahari. Salah satu hukumnya yaitu:
 - a. Bumi dan planet-planet lain mengelilingi Matahari menempuh lintasan-lintasan yang berupa elips dengan Matahari berada pada salah satu titik apinya.
 - b. Gerakan planet-planet dan termasuk Bumi di dalam tata surya disebabkan karena adanya gaya tarik-menarik yang umum terdapat pada semua benda.

Beberapa kejadian penting yang merupakan akibat dari rotasi Bumi sebagai berikut:

1. Pergeseran Matahari antara Garis Balik Utara (GBU) dan Garis Balik Selatan (GBS)

GBU ialah garis lintang $23,5^\circ$ LU dan GBS ialah $23,5^\circ$ LS. Pada 21 Maret Matahari beredar di khatulistiwa, lalu berangsur-angsur bergeser ke arah utara. Setelah tiga bulan, pada 21 Juni Matahari beredar di garis $23,5^\circ$ LU, lalu balik bergeser ke arah khatulistiwa. Dari khatulistiwa pada 23 September, Matahari bergeser ke selatan dan balik lagi dari garis $23,5^\circ$ LS pada 22 Desember, begitu seterusnya.



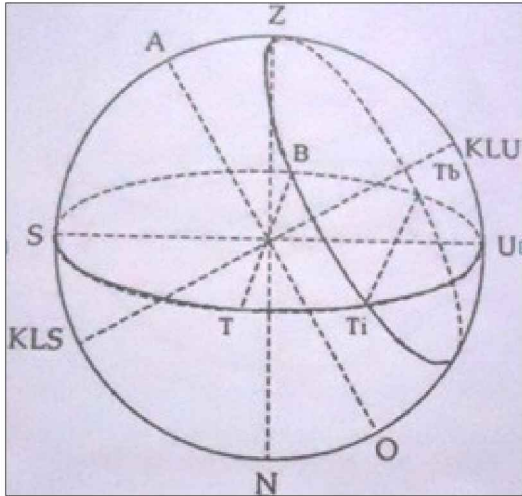
GAMBAR 11.3 Pergeseran Matahari antara GBU dan GBS

2. Perubahan Panjang Siang dan Malam

Akibat kemiringan sumbu Bumi terhadap ekliptika, lama siang hari tidak selalu sama dengan lama malam Bumi berbeda. Perhatikan Gambar 11.4.

Pada 21 Juni, ketika Matahari pada posisi paling utara yaitu di GBU, belahan Bumi utara mengalami siang hari lebih lama daripada malam hari. Sebaliknya pada 22 Desember, ketika Matahari beredar di GBS, siang hari lebih pendek daripada malam hari.

Belahan Bumi selatan pada 21 Juni mengalami malam hari lebih panjang daripada siang hari, dan pada 22 Desember siang hari lebih panjang daripada malam hari. Pada tanggal 21 Maret dan 23 September, siang hari sama lamanya dengan malam hari di semua tempat di permukaan Bumi kecuali di kutub.



GAMBAR 11.4 Busur Siang Lebih Panjang Daripada Busur Malam Dilihat dari Suatu Tempat Di Belahan Bumi Utara Pada 21 Juni

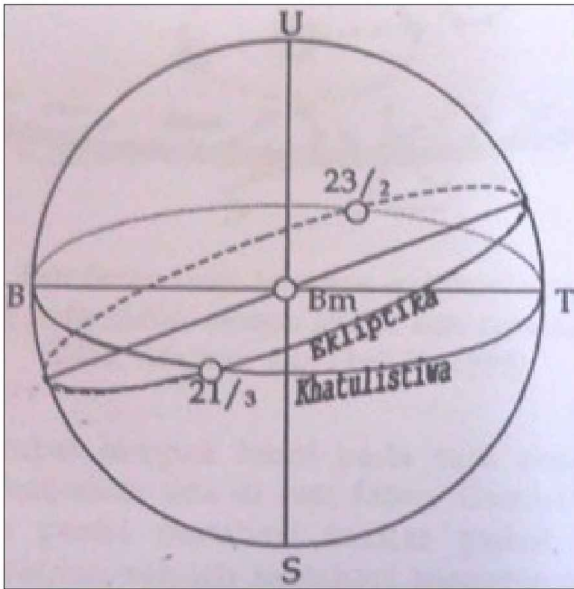
3. Pergantian Musim

Pergeseran Matahari juga menyebabkan perubahan musim di negara kita dan wilayah lain seperti Asia Selatan, Tenggara, Timur, dan Australia Utara. Ketika Matahari beredar di atas Asia, sekitar Bulan Juli, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami musim kemarau, sedangkan wilayah Asia Selatan mengalami musim hujan.

Pada bulan Juli di belahan Bumi selatan bertiup angin musim tenggara yang menyebabkan musim kemarau di Pulau Jawa dan Australia Utara. Setelah melalui khatulistiwa angin musim tenggara berubah menjadi angin musim barat daya, memasuki Asia Selatan dan Tenggara sambil membawa uap air dari Samudra Hindia. Keadaan sebaliknya terjadi pada bulan Januari, saat Matahari beredar di belahan Bumi selatan.

Bidang ekuatorial dan bidang khatulistiwa langit saling berpotongan dengan membentuk sudut sebesar $23^{\circ}30'$ di dua titik yang disebut dengan *equinoctis*. Titik-titik ini sangat penting da-

lam ilmu bintang untuk sebagai dasar dalam semua pengukuran. Perhatikan Gambar 11.5 di bawah ini.



GAMBAR 11.5 Equinoctis

Pada 21 Maret yang disebut titik *Aries* (titik musim bunga), Matahari berada pada salah satu titik ini, dan pada saat itu mulai bergerak dari belahan langit selatan ke belahan langit utara. Pada 21 September yang disebut dengan titik musim rontok, Matahari bergerak sepanjang ekliptika di belahan langit selatan.

4. Peredaran Semu Tahunan Matahari

Peredaran tahunan semu Matahari berarti peredaran Matahari dari rasi bintang yang satu ke rasi bintang yang lain dengan arah negatif sepanjang ekliptika. Satu putaran memakan waktu satu tahun siderik sama dengan periode revolusi Bumi. Dinamakan siderik karena periode ini dihitung jika Bumi dalam perjalanan revolusinya mengelilingi Matahari yang dimulai dari

satu titik lurus dengan sebuah bintang dan berhenti di titik itu lagi.

5. Zodiak dan Rasi-rasi Bintang

Di sepanjang sekliptika (kira-kira 10° di kiri-kanannya) terdapat 12 rasi bintang yang dibagi menjadi 12 bagian yang masing-masing berupa 30° dan disebut dengan tanda zodiak di dalam lintasan tahunannya, Matahari berganti-ganti berada di tanda zodiak itu selama satu bulan.

6. Tarikh Matahari

Akibat revolusi Bumi yang lain adalah perhitungan kalender Syamsiah. Periode satu tahun pada tarikh Matahari adalah 365 hari 5 jam 48 menit 46 detik yang disebut dengan satu tahun tropik. Satu tahun tropik adalah periode peredaran semu tahunan Matahari dari titik Aries sampai titik itu lagi.

Studi Kasus

Sebuah studi baru yang dibuat oleh Gary Prézeau dari NASA Jet Propulsion Laboratory di Pasadena, California, mengusulkan adanya filamen panjang materi gelap, atau “rambut.” Materi gelap adalah zat misterius tak terlihat yang membentuk sekitar 27 persen dari seluruh materi dan di alam semesta, jelas NASA, dalam sebuah pernyataan. “Materi biasa, yang membuat segala sesuatu yang kita dapat lihat di sekitar kita, hanya 5 persen dari alam semesta. Sisanya adalah energi gelap, sebuah fenomena aneh yang terkait dengan percepatan alam semesta yang mengembang.” NASA menambahkan bahwa baik materi gelap maupun energi gelap belum pernah terdeteksi secara langsung, meskipun sejumlah eksperimen mencoba untuk membuka misteri materi gelap, baik dari bawah tanah maupun di ruang angkasa. “Aliran ini bisa jauh lebih besar dari tata surya itu sendiri, dan ada banyak aliran yang berbeda malang-melintang di

lingkungan galaksi kita,” kata penulis studi Gary Prézeau. Prézeau melakukan simulasi komputer yang tampak pada apa yang terjadi ketika aliran tersebut melalui Bumi dan planet-planet lain di tata surya. (Materi gelap tidak banyak berinteraksi dengan materi normal, sehingga zat misterius ini dapat dengan mudah melalui ‘interior planet.) Ia menemukan bahwa gravitasi planet ini cenderung membengkokkan aliran menjadi rambut sempit, lengkap dengan “akar” padat dan “pucuk” yang lebih menyebar. Dalam kasus Bumi, akar rambut tersebut terletak sekitar 600.000 mil (1 juta kilometer) dari permukaan planet, sementara ujungnya sekitar dua kali lebih jauh—1,2 juta mil (2 juta km) dari Bumi. (Sebagai perbandingan, Bulan mengorbit Bumi pada jarak rata-rata 239.000 mil, atau 385.000 km.) Temuan ini bisa membantu para astronom mempelajari lebih lanjut tentang materi gelap, yang keberadaannya telah disimpulkan dari pengaruh gravitasi pada bintang-bintang dan benda-benda lain yang terdiri dari materi “normal.” (Materi gelap tidak langsung terdeteksi.) “Jika kita bisa menentukan lokasi akar rambut ini, kita berpotensi mengirim wahana ke sana dan mendapatkan bonanza data tentang materi gelap,” kata Prézeau. Studi ini lebih lanjut menunjukkan bahwa lapisan yang berbeda dari planet, Bulan atau badan lainnya harus menyebabkan kecocokan lengkungan atau “Kinks” pada rambut materi gelap, yang dapat dimanfaatkan oleh peneliti. “Secara teoretis, jika kita mendapatkan informasi ini, para ilmuwan bisa menggunakan rambut dari materi gelap dingin untuk memetakan lapisan planet, dan bahkan menyimpulkan kedalaman lautan pada Bulan-bulan dingin,” tulis pejabat NASA dalam laporan yang sama. (Materi gelap dianggap “dingin” karena tidak bergerak banyak.)

Kasus nyata

Pergerakan benua dan dasar laut menurut para ahli disebabkan

kan adanya lempeng dalam kerak Bumi. Lempeng-lempeng ini terapung-apung di atas mantel Bumi. Arus konveksi yang kuat di dalam astenosfer menggerakkan lempeng-lempeng ini di permukaan Bumi. Teori inilah yang dinamakan teori lempeng tektonik. Secara garis besar lempeng di dunia dibagi menjadi dua, yaitu lempeng samudra yang merupakan dasar laut, dan lempeng benua yang merupakan daratan. Lempeng samudra memiliki berat jenis yang lebih berat dibandingkan lempeng benua. Lempeng samudra sering kita disebut dengan lapisan sima dan lempeng benua disebut lapisan sial. Lempengan yang menyusun Bumi terdiri atas lempeng tektonik yang besar dan kecil. Lempeng tektonik yang besar antara lain:

1. Lempeng Pasifik, meliputi wilayah lautan Pasifik.
2. Lempeng Amerika Utara, meliputi wilayah Amerika Utara.
3. Lempeng Amerika Selatan, meliputi wilayah Amerika Selatan.
4. Lempeng Afrika, meliputi wilayah Afrika, lautan Atlantik bagian timur, dan lautan Hindia bagian barat.
5. Lempeng Eurasia, meliputi Eropa, Asia, termasuk Indonesia.
6. Lempeng Hindia Australia, meliputi wilayah Lautan Hindia, subkontinen India, dan Australia bagian barat.
7. Lempeng Antartika, meliputi benua dan lautan Antartika.

Selain lempeng tektonik yang besar, Bumi juga tersusun atas lempeng-lempeng tektonik yang berukuran kecil, antara lain:

1. Lempeng Nazca
2. Lempeng Cocos
3. Lempeng Filipina
4. Lempeng Karibia

5. Lempeng Arab
6. Lempeng Juan de fuca
7. Lempeng Rivera
8. Lempeng Gorda
9. Lempeng Scotia

Pergerakan lempeng tektonik ini menyebabkan bentukan-bentukan alam, sehingga membentuk batas yang memiliki tiga sifat, yaitu: divergen atau menjauh, konvergen atau saling bertumbukan, dan lateral *displacement* atau sesar mendatar.

a. Batas Divergen

Batas divergen terjadi ketika lempeng-lempeng bergerak saling menjauh (proses saling menjauhnya dasar samudra). Magma mengalir keluar dari astenosfer dan terbentuklah lapisan batuan (litosfer) baru. Pada kasus ini, tekanan yang berasal dari dalam Bumi sangat besar, sedangkan kerak Bumi sangat tipis sehingga menyebabkan terjadinya batas divergen. Daerah yang banyak memiliki batas divergen adalah Afrika bagian timur dan Laut Merah.

b. Batas Konvergen

Batas konvergen terjadi ketika sebuah lempeng terbentuk dan saling menjauh satu sama lain di suatu area, maka di tempat lain akan terjadi konvergensi dan tumbukan antarlempeng. Besarnya kekuatan tumpukan tergantung lapisan batuan lempeng. Masa lempeng benua lebih ringan dibandingkan masa lempeng samudra. Lempeng dengan masa lebih ringan akan mendorong lempeng dengan masa lebih berat ke bawah. Proses inilah yang disebut dengan subdaksi dan daerah yang terbentuk subdaksi disebut dengan zona subdaksi. Zona subdaksi dan batas konvergen ini dapat terjadi jika ada pertemuan dan tumpukan antara lempeng samudra dengan lempeng benua, lempeng samudra dengan lempeng

samudra dan lempeng benua dengan lempeng benua.

- c. Lateral *displacement* atau sesar mendatar/transform/saling bergesekan.

Lateral *displacement* terjadi ketika dua lempeng bergerak pada garis yang sama, tidak saling menjauh dan bertumpukan, misal satu bergerak ke utara dan satu ke selatan tanpa ada rekahan atau dikenal dengan pergeseran. Kejadian ini tidak menyebabkan penghilangan atau pemunculan kerak Bumi, tetapi sepanjang daerah itu akan terbentuk sesar. Gerakan lempeng tektonik menyebabkan gempa Bumi dan terbentuknya gunung.

Ada tiga tipe batas-batas lempeng yang masing-masing dibedakan dari jenis pergerakannya, yaitu:

1. Divergen, yaitu lempeng-lempeng bergerak saling menjauh yang menyebabkan naiknya material dari mantel Bumi dan membentuk rantai samudra yang luas.
2. Konvergen, yaitu lempeng-lempeng bergerak saling mendekati yang menyebabkan salah satu dari lempeng tersebut masuk ke dalam mantel Bumi dan berada di bawah lempeng lainnya.
3. Patahan transform, yaitu lempeng-lempeng bergerak saling bergesekan tanpa menyebabkan penghancuran pada litosfer.

Rangkuman

Bumi adalah planet ketiga dari Matahari yang merupakan planet terpadat dan terbesar kelima dari delapan planet dalam tata surya. Bumi juga merupakan planet terbesar dari empat planet keBumian tata surya. Bumi terkadang disebut dengan dunia atau Planet Biru. Bumi terbentuk sekitar 4,54 miliar tahun yang lalu, dan kehidupan muncul di permukaannya pada miliar tahun pertama. Biosfer Bumi kemudian secara perla-

han mengubah atmosfer dan kondisi fisik dasar lainnya, yang memungkinkan terjadinya perkembangbiakan organisme serta pembentukan lapisan ozon, yang bersama medan magnet Bumi menghalangi radiasi surya berbahaya dan mengizinkan makhluk hidup mikroskopis untuk berkembang biak dengan aman di daratan. Sifat fisik, sejarah geologi, dan orbit Bumi memungkinkan kehidupan untuk bisa terus bertahan.

Litosfer Bumi terbagi menjadi beberapa segmen kaku, atau lempeng tektonik, yang mengalami pergerakan di seluruh permukaan Bumi selama jutaan tahun. Lebih dari 70 persen permukaan Bumi ditutupi oleh air, dan sisanya terdiri dari benua dan pulau-pulau yang memiliki banyak danau dan sumber air lainnya yang bersumbangsih terhadap pembentukan hidrosfer. Kutub Bumi sebagian besarnya tertutup es; es padat di lapisan es Antarktika dan es laut di paket es kutub. Interior Bumi masih tetap aktif, dengan inti dalam terdiri dari besi padat, sedangkan inti luar berupa fluida yang menciptakan medan magnet, dan lapisan tebal yang relatif padat di bagian mantel.

Bumi berinteraksi secara gravitasi dengan objek lainnya di luar angkasa, terutama Matahari dan Bulan. Ketika mengelilingi Matahari dalam satu orbit, Bumi berputar pada sumbunya sebanyak 366,26 kali, yang menciptakan 365,26 hari Matahari atau satu tahun sideris. Perputaran Bumi pada sumbunya miring $23,4^\circ$ dari serenjang bidang orbit, yang menyebabkan perbedaan musim di permukaan Bumi dengan periode satu tahun tropis (365,24 hari Matahari). Bulan adalah satu-satunya satelit alami Bumi, yang mulai mengorbit Bumi sekitar 4,53 miliar tahun yang lalu. Interaksi gravitasi antara Bulan dan Bumi merangsang terjadinya pasang laut, menstabilkan kemiringan sumbu, dan secara bertahap memperlambat rotasi Bumi.

Bumi adalah tempat tinggal bagi jutaan makhluk hidup, termasuk manusia. Sumber daya mineral Bumi dan produk-produk biosfer lainnya bersumbangsih terhadap penyediaan sumber daya untuk mendukung populasi manusia global. Wilayah Bumi

yang dihuni manusia dikelompokkan menjadi 200 negara berdaulat, yang saling berinteraksi satu sama lain melalui diplomasi, pelancongan, perdagangan, dan aksi militer.

12

Bintang

Tujuan Instruksional:

Mahasiswa dapat menjelaskan definisi,
proses terbentuk dan rasi bintang.

A. Pengertian Bintang

Bintang adalah sebuah benda langit berbentuk bola gas raksasa yang bisa memancarkan cahaya dan panas tersendiri dari reaksi nuklir di dalam inti (Darker, 2007). Banyak bintang yang begitu besar bentuknya biasa disebut dengan bintang raksasa dan ada banyak juga bintang yang relatif berukuran kecil biasa disebut bintang kerdil. Ada yang sangat panas dan ada juga yang kurang panas. Ada yang berwarna merah, kuning, oranye, biru, putih, dan lain-lain. Karena tempatnya di langit tampak tetap saja, juga disebut bintang tetap. Sering juga disebut bintang sejati. Contoh: Matahari, Sirius Wega.

Bintang merupakan benda langit yang memancarkan cahaya sendiri yang sering disebut dengan bintang nyata seperti Matahari. Adapun bintang yang tidak dapat menghasilkan cahaya sendiri disebut bintang semu. Bintang semu sebenarnya bukan bintang melainkan benda langit yang dapat memancarkan cahayanya karena memantulkan cahaya yang diterima dari bin-

tang nyata. Contoh: planet Venus yang dapat dilihat pada malam hari dan paling terang di antara bintang yang lainnya (Sujadi, 2009).

Sekitar 4.000 bintang dapat dilihat dengan mata telanjang. Bahkan sebuah teleskop kecil dapat menunjukkan ratusan bintang. Bintang yang dilihat dengan mata telanjang dan sebagian besar dipotret adalah bagian dari sistem bintang yang besar, yang dikenal sebagai sistem Bima Sakti yang sangat luas. Kecemerlangan yang nyata dari suatu bintang ditunjukkan dalam magnitudo. Kebanyakan bintang memiliki magnitudo absolutnya lebih redup dibandingkan dengan Matahari, banyak di antaranya lebih redup lagi. Bintang yang paling redup yang dikenal kira-kira 1/400.000 kali terang Matahari. Bintang yang paling terang yang dikenal kira-kira 400.000 kali lebih terang Matahari. Akan tetapi, jumlah bintang yang lebih redup daripada Matahari jauh lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bintang yang lebih terang. Berikut adalah tabel dua puluh bintang paling terang berdasarkan magnitudo yang tampak (terlihat pada Tabel 12.1). Perhatikan bahwa matahari, dengan magnitudo yang tampaknya paling terang, memiliki magnitudo absolut yang paling kabur. Deneb, yang paling redup dalam magnitudo absolutnya. Letaknya yang begitu jauh sehingga paralaknya tidak pasti.

TABEL 12.1 Dua Puluh Bintang Paling Terang

No.	Bintang	Magnitudo yang tampak	Magnitudo absolut
1.	Matahari	-26,72	4,86
2.	Sirius	-1,47	1,2
3.	Canopus	-0,73	-4,5
4.	Vega	0,04	0,6
5.	Arcturus	0,06	-0,1
6.	Rigel	-0,08	-7,0
7.	Capella	0,09	0,3-0,6

Lanjutan...

8.	Alpha Centauri	0,33	4,7
9.	Procyon	0,34	2,1
10.	Achernar	0,47	-1,6
11.	Hadar	0,59	-5,1
12.	Altair	0,77	2,4
13.	Betelgeuse	0,80	-5,8
14.	Aldebaran	0,86	-0,3
15.	Spica	0,96	-3,5
16.	Antares	1,08	-4,5
17.	Pollux	1,15	0,2
18.	Formalhiut	1,16	1,7
19.	Beta Crucis	1,24	-4,25
20.	Deneb	1,26	-7,0

Hukum-hukum radiasi oleh ahli-ahli fisika dapat menghitung intensitas radiasinya, bintang dapat dihitung dengan diketahui suhu permukaan sebuah bintang melalui warnanya. Jumlah energi yang dipancarkan per unit persegi berbanding dengan pangkat empat sudut absolutnya. Suhu absolut didasarkan pada suhu terendah, “titik nol mutlak ($-273,16^{\circ}\text{C}$)”. Hukum radiasi ini memungkinkan menemukan ukuran bintang-bintang yang diketahui suhu permukaannya dari magnitudo absolutnya.

Magnitudo absolut menunjukkan seberapa besar energi yang dikeluarkan bintang per detik. Suhu menunjukkan seberapa besar energi yang sedang dikeluarkan per unit persegi per detik. Perbandingan dari kedua jumlah ini menunjukkan luas permukaan bintang. Suhu permukaan, magnitudo absolut dan garis tengah bintang-bintang khusus terlihat pada Tabel 12.2 berikut ini.

TABEL 12.2 Temperatur dan Dimensi Bintang-bintang Khusus

	Bintang	Suhu permukaan dalam °C	Jari-jari dengan jari-jari Matahari = 1	Massa dengan massa Matahari = 1	Kepadatan dengan kepadatan Matahari = 1	Magnitudo absolut
Maha-Raksasa	Beta Lyrae	12.000	19,2	9,7	0,0014	0,17
	Rigel	11.300	78	20	0,00004	-7,0
	Deneb	10.200	96	20	0,00002	-7,0
	Gamma Cygni	4.100	67	20	0,00007	-5,0
	Beteleuse	2.700	1000	10	0,0000005	-5,8
	Antares	2.900	776	20	0,00000004	-4,0
Raksasa	Capella	4.800	13	2,1	0,00096	0,3
	Arcturus	3.800	35	8	0,00018	-0,17
	Aldebaran	2.700	87	4	0,000006	-0,3
	Beta Pegasi	2.000	40	9	0,00014	-1,4
Bintang-bintang pada rangkaian utama	Hadar	21.000	22	25	0,0023	-5,1
	MU1 Scorpi	20.000	5,2	14,0	0,1000	-5,1
	Sirius A	10.200	1,9	2,3	0,335	1,2
	Altair	7.300	1,6	1,7	0,415	2,4
	Procyon A	6.800	2,6	1,8	0,102	2,1
	Matahari	5.900	1,0	1,0	1,0	4,86
	61 Cygni A	2.600	0,7	0,58	1,69	7,65
	Krueger 60	2.800	0,35	0,27	6,30	11,9
	Bintang Barnard	2.700	0,15	0,18	53,3	13,2
Bintang-bintang kecil putih	Sirius	5.000	0,022	90.000	90.000	11,4
	40 Eridani B	5.000	0,018	71.000	71.000	11,2
	Bitg.van. Maanen	5.000	0,007	47.000	47.000	14,2

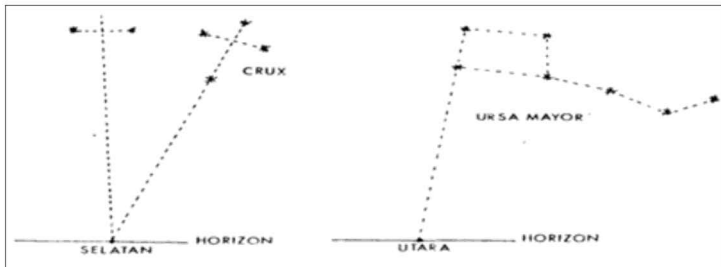
B. Proses Terbentuknya Bintang

Bintang awalnya hanya berupa kumpulan gas dan debu. Setelah beberapa waktu, kumpulan gas tadi mulai memadat dan bersinar dengan hidrogen sebagai bahan bakarnya. Ketika bintang kehabisan hidrogen maka bintang akan mulai mendingin,

tetapi ukurannya yang disebut dengan raksasa merah (*red giant*). Perlahan-lahan, raksasa merah akan menjadi kumpulan gas dan debu. Adapun inti bintang akan menjadi benda yang dingin dan disebut katai putih (*white dwarf*) (Fayeldi, 2011).

C. Rasi Bintang

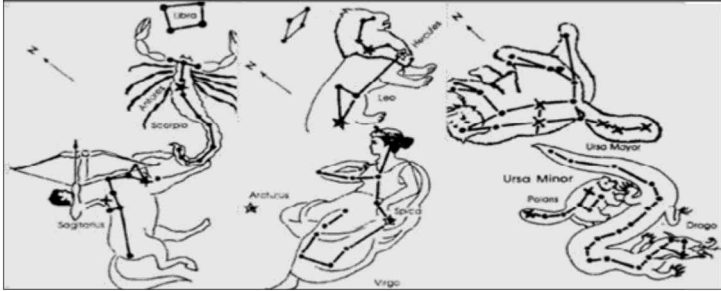
Rasi bintang merupakan kelompok-kelompok bintang yang tetap bentuk atau gambarnya. Pemberian nama dari rasi bintang diambil dari nama benda alam, bintang, senjata, pahlawan mitologi, dewa. Lahirnya nama gugus bintang seperti Cancer, Scorpion, Orion, Ursa Mayor, Crux, dan banyak lagi sesuai dengan bayangan fantasi yang timbul. Di Indonesia Rasi Orion dikenal dengan nama Waluku.



GAMBAR 12.1 Crux dan Ursa Mayor sebagai Penunjuk Arah

Rasi Crux digunakan orang untuk menentukan arah selatan. Jika dari bintang yang paling atas ditarik garis ke bintang yang paling bawah, garis lanjutannya itu menunjukkan arah Selatan. Pada waktu yang sama di sebelah Utara terlihat rasi bintang Ursa Mayor yang disebut bintang Biduk (terlihat pada Gambar 12.1). Rasi Crux banyak dikenal dengan berbagai sebutan seperti layang-layang, *Southern Crosss*, Gubug Penceng, dan Bintang Pari. Ada 12 bintang yang selalu lewat di daerah khatulistiwa dan membentuk gelang yang disebut dengan Zodiak. Nama kedua belas rasi bintang itu adalah Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo,

Virgo, Libra, Scorpio, Sagitarius, Capricornus, Aquarius, dan Pisces. Gambar dari beberapa rasi bintang pada Gambar 12.2 berikut ini.



GAMBAR 12.2 Beberapa Rasi Bintang dengan Bayangan yang Timbul

Jembatan keledai

Ani tak gangu cinta leo, Vina lari suka suka cari alamat pacar-
nya.

Singkatan dari : Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra,
Scorpio, Sagitarius, Capricorn, Aquarius, Pisces

Studi kasus

Bintang merupakan benda langit yang memancarkan cahaya sendiri yang sering disebut dengan bintang nyata seperti Matahari. Adapun bintang yang tidak dapat menghasilkan cahaya sendiri disebut bintang semu. Bintang semu sebenarnya bukan bintang, melainkan benda langit yang dapat memancarkan cahayanya karena memantulkan cahaya yang diterima dari bintang nyata. Contoh: planet Venus yang dapat dilihat pada malam hari dan paling terang di antara bintang yang lainnya (Sujadi, 2009).

Sekitar 4.000 bintang dapat dilihat dengan mata telanjang. Bahkan sebuah teleskop kecil dapat menunjukkan ratusan bintang. Bintang yang dilihat dengan mata telanjang dan sebagian besar dipotret adalah bagian dari sistem bintang

yang besar, yang dikenal sebagai sistem Bima Sakti yang sangat luas. Kecemerlangan yang nyata dari suatu bintang ditunjukkan dalam magnitudo. Kebanyakan bintang memiliki magnitudo absolutnya lebih redup dibandingkan dengan Matahari, banyak di antaranya lebih redup lagi. Bintang yang paling redup yang dikenal kira-kira $1/400.000$ kali terang Matahari. Bintang yang paling terang yang dikenal kira-kira 400.000 kali lebih terang Matahari. Akan tetapi, jumlah bintang yang lebih redup daripada Matahari jauh lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bintang yang lebih terang. Perhatikan bahwa Matahari, dengan magnitudo yang tampaknya paling terang, memiliki magnitudo absolut yang paling kabur. Deneb, yang paling redup dalam magnitudo absolutnya. Letaknya yang begitu jauh sehingga paralaksnya tidak pasti.

Kasus nyata

Peristiwa bintang meledak atau supernova SN 2012aw di galaksi spiral M95 menggamit minat banyak orang guna mempelajarinya. Sebagian mengamati bintang yang meledak itu secara langsung, entah menggunakan teleskop besar yang berpangkalan di Bumi maupun memanfaatkan beragam teleskop antariksa yang saat ini masih bertugas aktif sembari mengorbit Bumi. Sementara sebagian lainnya berketat menggali timbunan arsip digital yang pernah dihasilkan oleh teleskop-teleskop tersebut ataupun yang segenerasi dengannya. Sehingga, meski supernova telah diketahui manusia (secara tidak sengaja) sejak hampir 10 abad silam dan penjelasan terhadap fenomena ini telah berkembang pesat dalam seabad terakhir, seiring perkembangan relativitas umum dan mekanika kuantum dalam fisika, peristiwa supernova kontemporer seperti halnya SN 2012aw menyediakan kesempatan lebih besar bagi kita untuk menyaksikan secara langsung bagaimana sebuah bintang biasa bertrans-

formasi menjadi benda langit nan eksotik.

Berdasarkan data-data yang berjibun banyaknya di Arsip Warisan Hubble, diketahui kalau bintang induk supernova SN 2012aw sempat terekam lewat mata tajam instrumen Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC 2) teleskop antariksa Hubble antara Bulan Desember 1994 hingga Januari 1995. Bintang yang sama juga terekam lewat teleskop antariksa Chandra, yang bekerja pada spektrum sinar-X, pada 2005 silam.

Rangkuman

Bintang adalah benda ruang angkasa yang jumlahnya tak terhitung dan memancarkan cahaya sendiri atau ia merupakan sumber cahaya seperti halnya Matahari. Bintang merupakan pusat tata surya yang dikelilingi oleh planet-planetnya. Bintang yang paling dekat adalah Matahari. Bintang terbentuk dari dalam awan molekul, yaitu sebuah daerah medium antarbintang yang luas dengan kerapatan yang tinggi. Pembentukan bintang dimulai dengan ketidakstabilan Matahari dalam awan molekul yang dapat memiliki massa ribuan kali massa Matahari. Ketidakstabilan ini sering dipicu oleh gelombang kejut dari tumbukan antara dua galaksi. Bintang tidak terbentuk sendiri ± sendiri melainkan dalam kelompok yang berasal dari suatu keruntuhan yang berada pada suatu awan molekul yang besar kemudian terpecah menjadi konglomerasi individual. Energi yang dihasilkan bintang sebagai hasil samping dari reaksi fusi nuklir dipancarkan ke luar angkasa sebagai radiasi elektromagnetik dan radiasi partikel. Hampir semua informasi yang kita miliki mengenai bintang yang lebih jauh dari Matahari diturunkan dari pengamatan radiasi elektromagnetik yang terentang dari panjang gelombang radio hingga sinar gamma. Banyaknya radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh bintang dipengaruhi terutama oleh luas permukaan, suhu dan komposisi kimia dari bagian luar (fotosfer) bintang tersebut. Bintang memiliki 88 rasi bintang yang masing

± masing dari rasi bintang tersebut memiliki arti, singkatan, genetif, dan rasi bintang yang berbatasan.

13

Galaksi

Tujuan Instruksional:

1. Mahasiswa mampu menjelaskan apa itu galaksi.
 2. Mahasiswa dapat mengetahui bagaimana ciri-ciri dari galaksi.
 3. Mahasiswa dapat menjelaskan klasifikasi dari galaksi.
 4. Mahasiswa mengetahui berapa jarak galaksi di luar angkasa.
 5. Mahasiswa mengetahui galaksi-galaksi lokal terbesar apa saja yang ada di luar angkasa.
 6. Mahasiswa mampu menjelaskan galaksi yang terdapat di Bumi.
-

A. Pengertian Galaksi

Pada saat kita memperhatikan langit yang sangat cerah di malam hari dan tidak berawan, kita akan dapat melihat lajur putih yang membentang dari langit utara sampai langit selatan. Pengamatan yang lebih jelas jika kita mengamatnya menggunakan teleskop atau dari observatorium. Di sana kita dapat menemukan pemandangan yang sangat menakjubkan. Pemandangan ini adalah kumpulan dari benda langit yang merupakan anggota dari galaksi.

Benda benda langit itu ternyata berada dan bergerak di antariksa dengan sangat rapi dan teratur, seolah-olah telah diatur dengan perhitungan yang sangat cermat. Bahkan merupakan suatu sistem bintang (*star system*) atau tata bintang, juga disebut galaksi.

Menurut Sujadi (2009: 10) “galaksi adalah kumpulan dari bintang-bintang, kabut gas debu kosmik dan materi gelap (*dark matter*). Kata galaksi (*galaxy*) berasal dari bahasa Yunani

“galaxias” yang berarti *“susu” (milky)*, karena saat malam hari terlihat seperti jalah kabut bercahaya putih atau seperti tumpahan susu berwarna putih. Adapun menurut Tjasyono (2003: 46) *“Kumpulan sejumlah besar bintang dalam kesatuan akibat gravitasi mutual yang disebut galaksi.”*

Berkat kemajuan teknologi zaman sekarang, khususnya teknologi di dalam bidang astronomi dan antariksa, kini telah dapat diketahui, bahwa banyak di antara galaksi-galaksi ternyata merupakan sistem-sistem bintang yang besar-besar. Bahkan kini telah dapat diketahui pula, bahwa di antariksa ini terdapat ribuan galaksi seperti itu, dan beberapa puluh buah di antaranya telah dikenal dengan baik misalnya galaksi Andromeda, galaksi Silver Coin, galaksi Blue Pinwhell, galaksi Wirlpool, dan lain-lain.

B. Ciri-ciri Galaksi

Menurut Endarto (2005: 59), ciri-ciri sebuah galaksi yaitu:

- a. Galaksi-galaksi itu terlihat di luar jalur bintang Kali Serayu, sejauh ratusan ribu, bahkan jutaan tahun cahaya dari matahari.
- b. Galaksi-galaksi itu mempunyai cahaya sendiri, sehingga bukan cahaya fluorescensi (atau cahaya pantulan): dan cahaya itu memberi spektrum serap yang menunjukkan bahwa benda penyinaranya itu adalah benda padat yang diliputi oleh gas-gas.
- c. Galaksi-galaksi itu mempunyai bentuk tertentu, yang selalu mempunyai inti yang bercahaya di pusatnya, sehingga mudah untuk dikenalnya.

Pengetahuan manusia tentang kabut kosmis ini sudah lama dimiliki, tetapi kepastian adanya galaksi-galaksi seperti itu baru dapat diperoleh setelah tahun 1925, yaitu sejak dapat dibuatnya teleskop-teleskop raksasa, seperti teleskop 100 inci dari Mount Wilson Observatory (USA). Dengan menggunakan teleskop-teleskop raksasa seperti itu astronom-astronom Amerika, di an-

taranya yang terkenal ialah Edwin Hubbel, telah berhasil menyelidiki banyak kabut pilin dengan saksama (antara lain kabut besar Andromeda) dan berhasil pula menemukan jutaan galaksi di jagat raya ini. Dengan demikian, ternyata bahwa penduduk jagat raya adalah galaksi-galaksi, sedangkan penduduk galaksi ialah bintang-bintang dan benda langit lainnya. Salah satu dari jutaan galaksi itu adalah galaksi tempat Bumi kita ini berada, yaitu galaksi kita sendiri (Endarto, 2005: 58-59).

C. Klasifikasi Galaksi

Pada 1925, Hubbel mengajukan klasifikasi dari galaksi. Klasifikasi yang sekarang ini telah diterima, dengan berbagai modifikasi oleh ahli-ahli astronomi di seluruh dunia tertera dalam Endarto (2005: 59) bahwa klasifikasi itu membagi galaksi ke dalam empat kelas utama sebagai berikut:

- a. Bulat panjang (E). Galaksi bentuk ini mempunyai struktur yang halus dari suatu pusat yang terang sampai tepi-tepi yang batasnya tidak begitu jelas.
- b. Spiral normal (S). Galaksi berbentuk ini menunjukkan lengkungan-lengkungan spiral yang keluar dari sebuah nukleus yang terang.
- c. Spiral berpalang (SB). Lengkungan spiral galaksi bentuk ini keluar dari tepi-tepi paling ujung dari sebuah palang pada nukleusnya.
- d. Galaksi tak beraturan (I). Beberapa di antaranya setipe dengan dua galaksi yang disebut Awan Magelanik dan diklasifikasikan magelanik tak beraturan (Im). Beberapa yang lain begitu kacau tampaknya sehingga didaftar sebagai tak beraturan begitu saja (I). Hubbel membedakan tiga tahap di antara spiral, normal, dan berpalang dengan memberi label a, b, c. Ukuran relatif dari nukleus mengecil dari a ke c; pengembangan lengkungan membesar dari a ke c.

D. Jarak Galaksi

Menurut Endarto (2005: 60) “Untuk menentukan jarak galaksi di luar galaksi kita, terlebih dahulu kita harus menentukan skala jarak mutlak untuk bintang-bintang dalam galaksi kita sendiri. Metode langsung dalam mengukur jarak dengan paralaks hampir tidak dapat digunakan di sini karena hanya dapat diterapkan pada bintang-bintang dalam radius kira-kira 3.000 tahun cahaya dan galaksi kita kira-kira 80.000 tahun cahaya garis tengahnya.”

Skala jarak ekstragalaktik telah direvisi beberapa kali sejak tahun 1952 dan tetap bersifat sementara. Nilai-nilai untuk galaksi yang lebih dekat berikut ini sering digunakan.

*Jaraknya dalam jutaan
tahun cahaya*

Awan-awan magelanik	0,2
Gugus Andromeda	2
Gugus Ursa Mayor	8
Gugus Virgo	39-52

Untuk galaksi-galaksi yang lebih jauh, para ahli astronomi hanya dapat membuat perkiraan-perkiraan kasar saja, berkisar sampai pada beberapa ratus juta tahun cahaya. Galaksi-galaksi yang paling redup yang dapat diamati dengan teleskop-teleskop yang paling besar mungkin beberapa ribu juta tahun cahaya jauhnya dari kita.

E. Galaksi-galaksi Terbesar

Beberapa galaksi lokal terbesar terdapat pada tabel di bawah ini:

TABEL 13.1 Galaksi Lokal Terbesar

Galaksi	Jenis	Diameter	Jarak
Andromeda (bawah)	Spiral	150.000 tahun cahaya	2,5 juta tahun cahaya
Bimasakti	Spiral batang	100.000 tahun cahaya	–
NGC 598	Spiral	50.000 tahun cahaya	2,7 juta tahun cahaya
Awan Magellan Besar	Tidak Beraturan	20.000 tahun cahaya	160.000 tahun cahaya
Awan Magellan Kecil	Tidak Beraturan	10.000 tahun cahaya	200.000 tahun cahaya

Jembatan Keledai:

ANDRO BIN ABAK

Andromeda (bawah), Bimasakti, NGC 598, Awan Magellan Besar, Awan Magellan Kecil.

F. Galaksi Bima Sakti (Galaksi Kita)

Pada pertengahan abad ke-18, Thomas Wright dan Immanuel Kant dalam Admiranto (2009: 103) menyarankan bahwa:

Galaksi kita adalah suatu kumpulan bintang berbentuk piringan dengan Matahari terletak di dalamnya. Menurut mereka, hal itu menyebabkan, saat melihat ke langit, kita akan mengamati bahwa kerapatan bintang berbeda-beda pada arah yang berbeda. Jika melihat ke bagian jalur putih yang memanjang di langit, kita sedang melihat pada arah yang sejajar piringan. Sebaliknya, saat melihat ke bagian langit yang kerapatan bintangnya tidak terlalu tinggi, kita sedang melihat ke arah yang tidak sejajar piringan galaksi. Selain itu, Kant juga menyarankan bahwa piringan galaksi kita hanyalah salah satu dari sekian banyak kepulauan-kepulauan semesta (*island universes*) yang ada di seluruh alam semesta.

Galaksi Bima Sakti merupakan rumah bagi Matahari kita beserta planet-planet yang mengelilinginya. Telaah tentang galaksi kita secara kuantitatif mulai dilakukan pada sekitar awal abad ke-20 seiring dengan perkembangan fotografi dalam astronomi, yang dipelopori oleh Jacobus C. Kapteyn. Ia mencoba melakukan telaah bintang-bintang di galaksi kita berdasarkan potret daerah-daerah langit yang berhasil ia peroleh. Kemudian, membuat hipotesis tentang bentuk galaksi kita dan posisi Matahari kita di dalamnya.

Menurut Kapteyn dalam Admiranto (2009: 104), “galaksi adalah kumpulan bintang dengan bentuk sferoid (bola yang sangat pepat),” persis seperti yang digambarkan oleh Herschel. Tetapi menurut Kapteyn (1851-1922), ukuran galaksi kita jauh lebih besar dari yang disarankan Herschel. Dalam model Kapteyn ini pula Matahari terletak di dekat pusat galaksi sejarak 650 pc.

Hipotesis Kapteyn ini mendapatkan tantangan dari astronom Observatorium Mount Wilson, Harlow Shapley. Astronom ini sampai pada kesimpulan yang berlawanan dengan yang dibuat oleh Kapteyn setelah ia mencoba mengamati distribusi gugus bola (kumpulan bintang berbentuk bola dengan anggota ribuan buah bintang). Dengan mengikuti model Kapteyn, Shapley mencoba meletakkan gugus-gugus bola yang diamatinya relatif terhadap galaksi kita. Shapley mendapatkan bahwa gugus-gugus bola tadi cenderung memusat ke bagian galaksi yang terletak di Rasi Sagitarius, bukan di sekitar Matahari.

Pertentangan antara hasil-hasil analisis Shapley dengan Kapteyn kemudian menghasilkan perdebatan antara Harlow Shapley dengan H. D. Curtis dari Observatorium Lick. Perdebatan antara yang berlangsung pada tahun 1920 ini cukup terkenal, dan sampai sekarang dikenal dengan *Debat Besar Astronomi*. Mereka mempermasalahkan dua hal pokok, yaitu tentang ukuran galaksi kita dan nebula-nebula spiral yang sudah diamati termasuk anggota galaksi kita atau bukan.

Pertentangan kedua orang ini berlangsung cukup lama, baru

setelah ada telaah dan data baru tentang galaksi kita seperti yang dilakukan oleh Edwin Hubble, Bertil Lindblad, Jan H. Oort dan astronom-astronom lain, masalahnya mulai terselesaikan.

Para astronom tadi kemudian sepakat kalau ukuran galaksi kita kira-kira sama dengan yang disarankan Shapley, dan nebula-nebula spiral tadi bukan anggota galaksi kita, tetapi merupakan sistem yang berada di luar galaksi kita.

1. Bentuk dan Komponen Bima Sakti

Telaah-telaah para astronom serta telaah-telaah selanjutnya akhirnya memberikan gambaran yang cukup lengkap tentang Bima sakti. Mereka sepakat bahwa galaksi kita berbentuk spiral dengan diameter sekitar 100.000 tahun cahaya atau kira-kira 31.000 pc. Di sini, Matahari tidak terletak di dekat pusat, tetapi pada jarak sekitar 8.500 pc dari pusat galaksi.

Komponen galaksi kita tidak hanya berupa bintang-bintang saja, tetapi juga atom, molekul (gas-gas dan debu antarbintang) yang secara umum disebut *materi antarbintang*, yang banyak terdapat di bidang galaksi kita.

Para astronom kemudian mendapatkan bahwa galaksi kita dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu komponen pusat, piringan, dan korona. Komponen pusat berukuran sekitar 5.000 pc sedang bagian piringan berada sampai pada jarak 31.000 pc dari pusat galaksi. Tebal bagian piringan ini sekitar 200 pc. Seluruh galaksi kita diselubungi halo yang berbentuk ellipsoid, yang diselubungi lagi oleh korona galaksi berbentuk bola yang berukuran sangat besar.

2. Ukuran Galaksi Bima Sakti

Menurut Fayed (2011: 53) “diameter Galaksi Bima Sakti diperkirakan 100.000 tahun cahaya. Satu tahun cahaya adalah jarak yang ditempuh oleh cahaya selama satu tahun, yaitu sekitar 9,5 triliun kilometer. Bayangkan jarak 100.000 tahun cahaya itu sejauh apa?” Selanjutnya, Sujadi (2009: 12) menyatakan bah-

wa “galaksi bima sakti memiliki 200-400 miliar bintang dengan diameter 100.000 tahun cahaya (satu tahun cahaya sama dengan $9,4607 \times 10^{12}$ kilometer) dan ketebalannya berukuran 1.000 tahun cahaya.

3. Struktur Lengan Bima Sakti

Menurut Sujadi (2009:13), “dari pusat galaksi menjulur lengan spiral dengan cabang-cabangnya. Diperkirakan ada empat spiral utama dan dua yang lebih kecil yang bermula dari tengah galaksi sabagai berikut:

- a. Lengan Norma
- b. Lengan Scutum-Cruk
- c. Lengan Sagitarius
- d. Lengan Orion atau Lengan Lokal
- e. Lengan Perseus
- f. Lengan Cygnus atau Lengan Luar

Bumi berada pada lengan Orion atau lokal.

Studi Kasus

Pada daerah perkotaan tidak dapat melihat bentangan galaksi Bima Sakti pada malam hari, karena tertutupi oleh polusi udara.

Kasus Nyata

Untuk dapat melihat bentangan galaksi Biman Sakti pada malam hari, kondisi malam harus dalam keadaan tanpa cahaya atau gelap dan tidak banyak polusi udara. Oleh sebab itu, kita harus mengurangi penggunaan benda yang dapat menghasilkan polusi udara seperti kendaraan bermotor. Jika masih ingin menikmati bentangan galaksi Bima Sakti pada malam hari di daerah perkotaan juga dapat menggunakan kamera DSLR.

Rangkuman

1. Menurut Sujadi (2009: 10), “galaksi adalah kumpulan dari bintang-bintang, kabut gas debu kosmik, dan materi gelap (*dark matter*). Kata galaksi (*galaxy*) berasal dari bahasa Yunani “*galaxias*” yang berarti “susu” (*milky*), karena saat malam hari terlihat seperti jalah kabut bercahaya putih atau seperti tumpahan susu berwarna putih. Adapun menurut Tjasyono (2003: 46), “Kumpulan sejumlah besar bintang dalam kesatuan akibat gravitasi mutual yang disebut galaksi.”
2. Menurut Endarto (2005: 59) ciri-ciri sebuah galaksi yaitu:
 - Galaksi-galaksi itu terlihat di luar jalur bintang Kali Serayu, sejauh ratusan ribu, bahkan jutaan tahun cahaya dari Matahari.
 - Galaksi-galaksi itu mempunyai cahaya sendiri, sehingga bukan cahaya fluorescensi (atau cahaya pantulan): dan cahaya itu memberi spektrum serap yang menunjukkan bahwa benda penyinaranya itu adalah benda padat yang diliputi oleh gas-gas.
 - Galaksi-galaksi itu mempunyai bentuk tertentu, yang selalu mempunyai inti yang bercahaya di pusatnya, sehingga mudah untuk dikenalnya.
3. Pada 1925 Hubbel mengajukan klasifikasi dari galaksi membagi galaksi ke dalam empat kelas utama, yaitu: bulat panjang (E), spiral normal (S), spiral berpaling (SB) galaksi tak beraturan (I).
4. Menurut Endarto (2005: 60), “Untuk menentukan jarak galaksi di luar galaksi kita, terlebih dahulu kita harus menentukan skala jarak mutlak untuk bintang-bintang dalam galaksi kita sendiri.
5. Galaksi lokal terbesar di antaranya Andromeda, Bimasakti, NGC 598, Awan Magellan Besar, Awan Magellan Kecil.
6. Galaksi Bima Sakti merupakan rumah bagi Matahari kita beserta planet-planet yang mengelilinginya.

14

Bulan

Tujuan Instruksional:

1. Mahasiswa mampu menjelaskan asal mula terjadinya Bulan.
 2. Mahasiswa mampu menjelaskan sifat-sifat fisik dari Bulan.
 3. Mahasiswa dapat mengetahui bagaimana gerakan dari Bulan.
 4. Mahasiswa mampu menjelaskan peredaran sideris dan sidosis pada Bulan.
 5. Mahasiswa mampu menjelaskan fase-fase pergerakan Bulan.
 6. Mahasiswa mampu menjelaskan peredaran semu harian pada Bulan.
 7. Mahasiswa dapat mendeskripsikan aspek-aspek yang terdapat pada Bulan.
 8. Mahasiswa mampu menjelaskan bagaimana orbit dan literasi dari Bulan.
-

A. Asal Mula Bulan

Sejarah Bulan terangkum pula dalam sejarah seluruh tata surya, yang kita percayai dari beberapa tafsiran bebas, berumur lebih dari 4.500.000.000 tahun. Ada dua teori pokok mengenai asal mula Bulan. Yang pertama memandang bahwa dahulu Bulan merupakan bagian Bumi, dan terpisahkan dari Bumi oleh kekuatan pasang air atau oleh daya tarik gravitasi dari sebuah bintang yang lewat. Bukan dicabut dari lubang dalam kerak Bumi, yang sekarang diisi oleh Samudra Pasifik. Begitulah menurut suatu pandangan tentang asal usul Bulan, namun bukti belakangan ini cenderung untuk menyangkal pandangan bahwa dasar Samudra Pasifik merupakan tempat lahir Bulan. Kelihatannya, Bulan telah merupakan sahabat Bumi selama beratus-ratus juta dan barang kali beribu-ribu juta tahun. Pada waktu yang begitu dini, belum ada Samudra Pasifik seperti yang kita ketahui sekarang ini.

Teori kedua menekankan bahwa Bumi dan Bulan terbentuk pada waktu yang hampir bersamaan dari suatu timbunan materi dingin, yang pada waktu itu berkeliling di sekitar Matahari. Proses serupa ditekankan pula bagi asal mula planet-planet lain dan satelit-satelitnya. Dalam teori pertama, diduga bahwa materi aslinya panas dan membentuk benda-benda yang sekarang menjadi dingin. Sebaliknya, teori kedua menggambarkan pembentukan Bumi, Bulan dan benda-benda tata surya lain dari materi dingin, beberapa di antaranya sekarang menjadi panas sebagai akibat tekanan internal dan radioaktivitas. Teori ketiga menyatakan, bahwa Bulan, itu bekas planet yang terperangkap oleh Bumi.

Menurut hipotesis yang kedua, Bulan itu kira-kira sama tuanya dengan Bumi, yaitu sekitar 4.500.000.000 tahun. Akan tetapi, sudah barang tentu bagian permukaan Bulan berbeda-beda menurut umurnya, tepat seperti halnya dengan bagian permukaan Bumi. Bahwa Bulan pada suatu waktu selama sejarahnya mengalami perkembangan ekstensif dapat dilihat dalam hanya sekejap mata pada permukaannya. Pengamatan dari dekat pada Bulan sejak penemuan teleskop menunjukkan tanda-tanda sedikit sekali tentang sesuatu yang banyak terjadi di sana pada waktu belakangan ini. Namun tanda-tanda kegiatan gunung berapi dan barangkali nyala radioaktif tampak menunjukkan bahwa Bulan sama sekali bukan bola mati seperti diperkirakan orang. Topografi sekarang ini ditambah kerusakan yang tampaknya telah mengenai bagian permukaannya, pasti berarti bahwa telah banyak peristiwa terjadi pada Bulan di waktu lalu.

B. Sifat-sifat Fisik Bulan

1. Permukaan Bulan

Pada saat pertama kali Galileo mengarahkan teleskopnya ke Bulan pada 1609, ia melihat permukaannya secara cukup terperinci. Ia mengenal berbagai gunung dan daerah gelap yang

luas yang dinamainya “*maria*”, karena ia menganggap bahwa mungkin daerah itu laut. (Maria adalah Bahasa Latin untuk “laut”). Kata “*maria*” masih digunakan meskipun sekarang kita mengetahui bahwa di Bulan tidak terlihat adanya kumpulan air. Pada saat telah dibuat teleskop yang lebih besar, semakin banyak perincian diperlihatkan dan dipetakan. Pada awal 1960-an, berbagai satelit buatan dan wahana ruang angkasa berawak diluncurkan dari Bumi untuk lewat di dekat Bulan dan mendarat di sana. Gambar-gambar yang telah diperoleh dari satelit ini menyingkap permukaan Bulan dalam perincian yang luar biasa, bahkan membuat batu-batu kecil berpenampang cm kelihatan.

Seorang pengamat Bulan di Bumi dapat membedakan daerah-daerah yang terang dan yang gelap. Daerah yang terang pada umumnya merupakan tanah tinggi, sedangkan daerah yang gelap merupakan daerah rata serta rendah. Banyak bagian yang terlihat, membentuk bayang-bayang ke permukaan Bulan. Bayang-bayang ini dapat digunakan untuk menaksir ketinggian bagian Bulan itu. Teleskop juga mengungkapkan garis-garis cerah, yang diradiasikan dari beberapa kawah. Sinar-sinar tidak melemparkan bayang-bayang ada. Oleh karena itu, tidak ditimbulkan pada bagian permukaan Bulan. Bagian-bagian yang gelap, berbelok-belok seperti sungai, dan celah-celah permukaan tanpa air yang mengalir di dalamnya. Di sana juga banyak kawah dari semua ukuran. Misalnya, kawah raksasa Clavius berdiameter 235 km dan dikelilingi gunung-gunung setinggi 5,2 km.

Bagian permukaan yang terluas di Bulan dan yang hanya dapat dilihat dengan mata telanjang adalah *maria*. Bagian ini lebih gelap daripada bagian permukaan selebihnya dan merupakan daerah-daerah datar yang ditabur dengan batuan, serta dipenuhi oleh kawah-kawah. Banyak dari daerah ini dikelilingi oleh deretan gunung. Yang terbesar adalah Mare Imbrium, sekitar 1.100 km melintang. Nama-nama Latin dari berbagai *maria* (laut) seperti Laut Serenitate, Laut Fecunditatis, dan Laut Tranquillitatis, diusulkan oleh Giovanni Riccioli tahun 1651. Umum-

nya *maria* adalah lava yang mengeras yang disebabkan suatu aliran waktu zaman dahulu, yang terjadi oleh pengaruh benda langit besar yang membentur Bulan atau barangkali oleh beberapa proses internal.

Permukaan Bulan dipenuhi oleh kawah-kawah yang ukurannya bermacam-macam. Bentuknya bulat dengan sisi yang meninggi dan beberapa kawah mempunyai puncak-puncak di tengah. Banyak kawah saling bertumpang-tindih dengan kawah lain dan mungkin terdapat dalam *maria* dan pada rangkaian gunung. Beberapa kawah muncul yang diisi oleh lava, yang lainnya tertimbun oleh aliran debu.

Sejumlah besar kawah yang sering disebut “dataran dinding”, sebab kawah-kawah ini mengelilingi permukaan dataran yang mungkin terang warnanya seperti bukit-bukit di Bulan atau gelap seperti *maria*. Dinding kawah atau benteng hampir berbentuk lingkaran dan sering ditandai sebagai suatu rentetan pegunungan yang melingkar. Namun dinding itu sering rendah dibandingkan dengan lahan di sekitar dan bahkan dengan permukaan yang terlindung atau lantai kawah. Garis tengah kawah yang terbesar mencapai lebih dari 300 km. Beberapa kawah sangat dalam, begitu dalamnya sehingga dasarnya selalu dalam bentuk bayangan. Namun ada pula kawah yang semata-mata merupakan lubang dengan sedikit peninggian pada pinggirnya yang mengelilingi bagian dangkal di tengah.

Ada sedikit keraguan bahwa permukaan Bulan telah di bom dengan hebat oleh benda-benda meteorit selama periode waktu yang lama. Benturan meteorit ini mungkin telah menghasilkan tidak hanya suatu persentase besar kawah, tetapi juga *maria*. Cepuk debu besar yang meluas sepanjang setengah keliling Bulan dari kawah raksasa Tycho merupakan bukti yang jelas bahwa itu adalah kawah benturan. Kawah benturan besar pada umumnya mempunyai banyak kawah benturan kecil di dekatnya, yang mungkin terbentuk oleh puing-puing yang terlempar keluar dari kawah benturan asli. Batu-batu besar yang ditemukan di sekitar

kawah benturan mempunyai asal mula yang serupa.

Anak sungai adalah lembah seperti sungai yang dangkal dan dapat terlihat oleh bayang-bayang yang dilontarkan ke dalamnya. Anak sungai itu mungkin merupakan celah pada permukaan, atau mungkin juga jurang curam yang terbentuk oleh arus abu dari gunung-gunung berapi. Beberapa di antaranya terputar dan berkelok-kelok, serta beberapa lagi bergabung dengan deretan kawah. Beberapa anak sungai lurus yang tampak terhimpun dengan fenomena lain terletak di sekitar *maria*. Beberapa di antaranya mungkin telah terbentuk karena permukaan yang berkerut oleh gerusan batu besar yang menggelundung ke bawah.

Gunung-gunung Bulan membentuk deretan besar yang tak rata dan terutama terpusat di sekeliling *maria*. Tingginya dapat diukur oleh panjang bayang-bayang yang dilontarkannya. Yang tertinggi, gunung Leibnitz, mencapai 7,9 km. Diperbandingkan dengan garis tengah badan induknya, gunung ini sungguh-sungguh lebih tinggi daripada Mount Everest di Bumi, yang tingginya 8,8 km. Ketinggian di Bulan diukur menurut suatu daerah rendah di dekat permukaannya, sedangkan ketinggian di Bumi diukur menurut titik permukaan air laut, suatu ketinggian yang mencapai sekitar setengah jarak antara titik-titik tertinggi dan terendah pada permukaan Bumi. Gunung-gunung di Bulan agaknya tampak terdorong ke atas sebagai akibat benturan dari pada pembentukan oleh gejala pelipatan batuan seperti halnya dengan banyak gunung di Bumi.

2. Jarak Bulan

Bulan (=LUNA) adalah benda langit yang letaknya terdekat dengan Bumi, bahkan dia adalah satelit Bumi ("pengiring Bumi"). Dari hasil-hasil pengukuran yang dilakukan, ternyata jarak rata-ratanya dari Bumi adalah 385.000 km atau 1/375 jarak rata-rata Bumi-Matahari, atau juga 60 jari-jari Bumi.

3. Besarnya Bulan

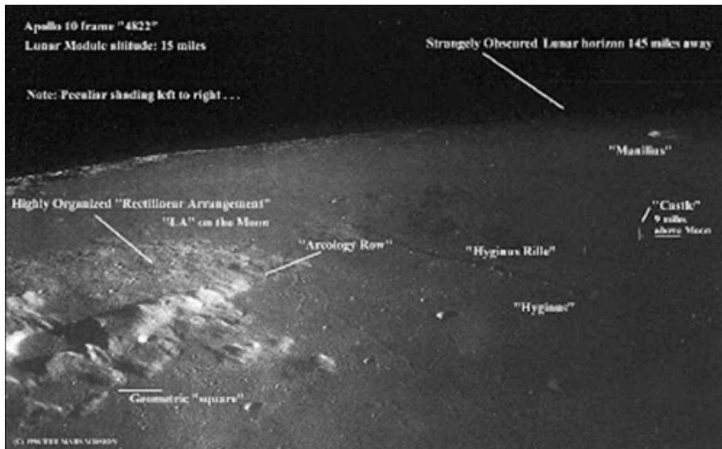
Agar dapat mengukur besarnya Bulan kita harus menyelidiki berapa jauh Bulan dari bumi. Hal ini dilakukan dengan metode yang sama yang digunakan oleh para penyelidik. Arah menyudut ke Bulan diukur dari dua tempat yang terpisah jauh pada sisi yang berhadapan di Bumi pada waktu yang sama. Karena kita tahu jarak antara kedua titik pengamatan itu, maka jarak rata-rata ke Bulan dapat dihitung dengan trigonometri sederhana.

Diameter Bulan adalah 3.480 km, sekitar $\frac{1}{4}$ diameter Bumi. Planet-planet lain dalam tata surya kita mempunyai satelit, beberapa di antaranya lebih besar dari milik kita. Akan tetapi, Bulan kita adalah yang terbesar dalam hubungannya dengan besar planet induknya. Satelit Yupiter yang besar, Ganymede hanya $\frac{1}{27}$ besar Yupiter. Titan, satelit terbesar Saturnus, hanya $\frac{1}{25}$ besarnya.



GAMBAR 14.1 Foto Bulan Diambil dari Ruang Angkasa. Pendaratan para astronot di atas Bulan pada tahun 1969 merupakan pelaksanaan suatu impian yang telah berabad-abad lamanya.

Massa Bulan, yang diukur dengan efek gravitasinya atas Bumi adalah $1/81$ massa Bumi. Volumennya $1/50$ volume Bumi. Oleh karena itu, Bulan kurang padat daripada Bumi. Jika kita ambil kepadatan air sebagai kepadatan Bumi adalah 5,5 atau kali kepadatan air. Dalam skala ini kepadatan Bulan adalah 3,3. Sebenarnya, Bulan kira-kira sama padatnya dengan berbagai batuan di permukaan Bumi dan mungkin terbuat dari materi serupa. Satu keterangan yang mungkin diberikan tentang seluruh kekurangan padatan Bulan adalah kurangnya satu inti logam padat, seperti yang dimiliki Bumi.



GAMBAR 14.2 Peta Sisi Bulan yang Terlihat Ditandai dengan Beberapa Bagian Permukaan yang Menarik

4. Kecerahan Bulan

Bulan tidak mempunyai cahaya sendiri, tetapi Bulan bersinar karena cahaya pantulan. Persentase cahaya yang dipantulkan oleh Bulan dikenal sebagai *albedonya*. Bulan memantulkan rata-rata hanya 7 persen cahaya Matahari yang jatuh secara vertikal di atasnya. Karena di Bulan banyak daerah cerah dan gelap, beberapa daerah memantulkan lebih banyak cahaya, beberapa daerah lainnya kurang. Seluruh cahaya yang kita lihat

pada Bulan, datang dari Matahari, baik secara langsung maupun tidak langsung sebagai sinar Bumi, setelah pemantulan dari Bumi. Permukaan Bumi merupakan reflektor yang jauh lebih baik daripada permukaan Bulan. Albedo Bumi dapat ditemukan dengan mengukur kecerahan sinar Bumi. Albedo Bumi adalah 0,33 ini berarti bahwa Bumi memantulkan 33 persen cahaya Matahari yang jatuh di atasnya, sebagian besar karena atmosfernya mengandung begitu banyak awan. Sekalipun Bulan merupakan benda tercerah kedua di langit, Bulan hanya mengirimkan sebanyak dua persepuluh cahaya Matahari kepada kita.

5. Suhu Bulan

Bila di Bulan tengah hari, dengan Matahari langsung di atas kepala, suhunya 100° C. Pada malam hari suhu Bulan turun sampai sekitar -116° C. Perbedaan ini sebegitu besar sehingga lebih besar dari suhu ekstrem yang dikenal di Bumi antara tengah hari dan tengah malam, yang terpenting adalah bahwa perbedaan itu terjadi karena Bulan tidak mempunyai atmosfer. Atmosfer bertindak sebagai selimut dan mencegah pendinginan dan pemanasan yang melampaui batas. Yang harus juga diingat ialah bahwa hari di Bulan atau selang waktu antara dua tengah malam yang berturut-turut merupakan waktu yang diperlukan Bulan untuk melakukan suatu rotasi pada Bulan yang lengkap. Oleh karena itu, untuk rotasi ini sama dengan 27 hari kita sehingga permukaan Bulan mempunyai interval lebih lama yang digunakan untuk memanaskan dan mendinginkan dibandingkan dengan permukaan Bumi dalam perjalanan hari atau perjalanan malam di Bumi.

Bukti langsung bahwa Bulan tidak mempunyai atmosfer, diperoleh dengan memperhatikan *okultasi*, yaitu lintasan sebuah bintang di belakang Bulan. Seandainya Bulan mempunyai atmosfer, bintang yang lewat itu akan melenyap berangsur-angsur, tetapi bintang ini selalu menghilang secara tiba-tiba pula pada sisi lain Bulan.

Bukan merupakan suatu yang mengherankan bahwa Bulan tidak mempunyai atmosfer, karena gravitasi pada permukaannya hanya $1/6$ gravitasi pada permukaan Bumi dan gravitasi itu tidak cukup untuk menahan sebagian besar gas di permukaannya. Sejumlah kecil gas telah keluar dari titik-titik tertentu pada permukaan Bulan tetapi begitu keluar, gas itu dengan cepat menghilang ke dalam ruang angkasa.

6. Air Pasang

Ada dua pasang naik untuk setiap perjalanan Bulan melintasi suatu meridian atau garis utara-selatan Bumi, terutama disebabkan oleh tarikan gravitasi Bulan pada perairan samudra. Dalam perjalanan satu Bulan terdapat dua pasang purnama, yakni bila jarak pasang adalah terbesar, dan dua pasang penuh, yakni bila jarak pasang adalah terkecil. Pada pasang purnama tarikan Matahari dan Bulan berada dalam garis yang sama. Pada pasang penuh tarikan Matahari dan Bulan membuat sudut 90° . Oleh karena itu, pasang purnama terjadi pada Bulan purnama dan Bulan baru. Pasang penuh terjadi pada Bulan perempat. Di suatu tempat khusus pasang mungkin meninggi beberapa waktu setelah perjalanan Bulan melintasi meridian lokal, karena kelambanan perairan samudra dan keanekaan garis pantai setempat.

Air pasang itu tidak terbatas pada samudra. Air pasang terjadi dalam setiap badan air, di atmosfer, dan juga di Bumi sendiri. Air pasang Bumi tidak sama besarnya dengan air pasang samudra, karena Bumi pada dasarnya merupakan massa padat yang elastis, sedangkan samudra merupakan zat cair. Pada saat Bulan menimbulkan pasang pada Bumi, Bumi menimbulkan pasang pada Bulan.

C. Gerakan Bulan

Ada tiga macam gerakan yang dilakukan oleh Bulan sekaligus sebagai berikut:

1. Bulan bergerak atau beredar mengelilingi Bumi. Lama peredaran ini sama dengan lamanya waktu berputar pada sumbunya (*rotasi*). Jangka waktu ini disebut satu Bulan. Akibat bagian Bulan yang tampak dari Bumi hanyalah sebelah muka yang sama saja, sedang bagian Bulan yang lain tidak pernah tampak. Arah peredaran ini sama dengan arah putaran Bumi pada sumbunya dan mengelilingi Matahari. Sumbu Bulan ini membentuk sudut sebesar 88 derajat dengan bidang lintasnya, dan selama peredarannya mengelilingi Bumi kedudukan sumbu ini tetap saja, senantiasa sejajar dengan dirinya sendiri.

Jika kita perhatikan tempat Bulan pada suatu malam, misalnya pada rasi Scorpio, lalu pada malam berikutnya kita lihat lagi, ternyata tempatnya telah bergeser ke arah timur. Pada malam ketiga Bulan telah memasuki daerah rasi Sagitarius. Hal itu menunjukkan bahwa Bulan menjalani peredaran mengelilingi Bumi dengan arah Barat-Timur atau arah negatif. Setelah satu Bulan (*one month*), Bulan (*the moon*) akan tiba kembali ke rasi Scorpio. Ini menunjukkan bahwa revolusi Bulan mengelilingi Bumi memakan waktu satu Bulan dengan arah Barat-Timur.

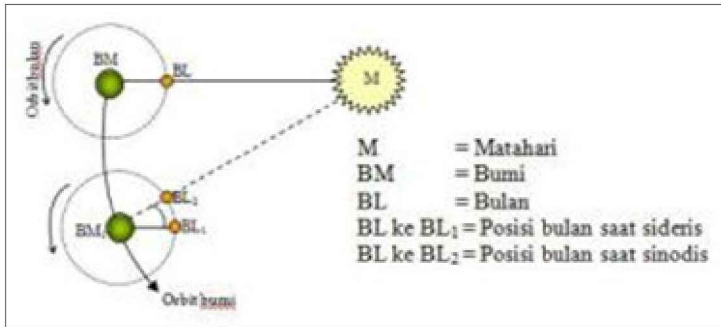
2. Sambil melakukan putaran dan peredaran tersebut (1 dan 2) Bulan bersama-sama dengan Bumi bergerak mengelilingi Matahari. Jadi, seolah-olah Bulan di bawah oleh Bumi untuk mengadakan revolusi.
3. Bulan berotasi pada sumbunya secara lambat. Ini dibuktikan, bahwa hanya bagian Bulan yang sama yang tampak dari Bumi.

D. Peredaran Sideris dan Sinodis

1. Peredaran Sideris

Bulan beredar mengelilingi Bumi (menempuh satu lingkaran penuh) dalam waktu $27\frac{1}{3}$ hari atau tepatnya 27 hari 8 jam.

Jika Bulan pada suatu waktu berada di suatu titik yang searah dengan suatu bintang tetap tertentu di langit, maka setelah 271/3 hari dia akan kembali, menempuh kedudukan tersebut tadi. Jangka waktu ini disebut Bulan *sideris* atau Bulan bintang (*sider*=searah). Waktu peredaran ini disebut waktu peredaran sideris Bulan.



GAMBAR 14.3 Bulan Sideris dan Sinodis

2. Peredaran Sinodis

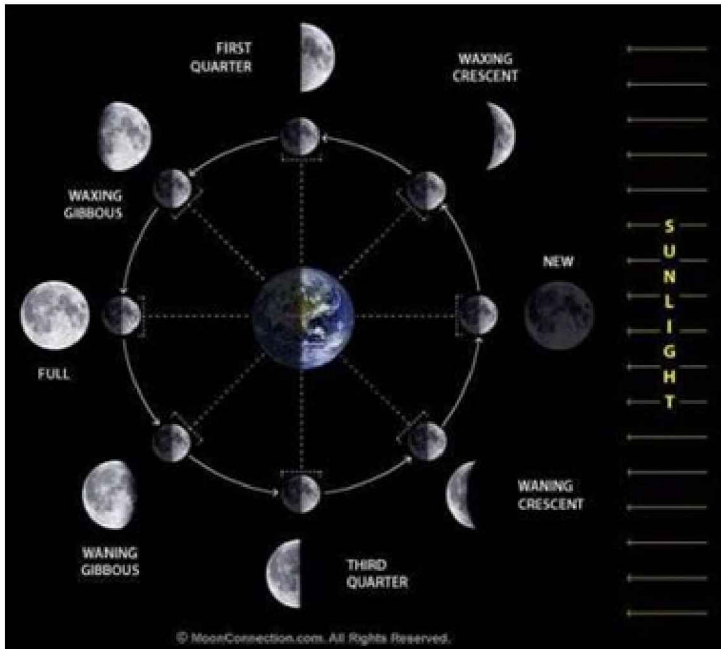
Tetapi sementara Bulan beredar menempuh lingkaran itu, Bumi dan Bulan bersama-sama beredar mengelilingi Matahari dengan arah B_1B_2 . Dan, setelah selama 271/3 hari itu Bulan betul-betul sudah sempurna mengelilingi Bumi. Hanya pada waktu itu belum terjadi Bulan baru, karena Bulan baru itu terjadi bila Bulan terletak kembali searah dengan Matahari konjungsi/*conjunctie* atau dengan lain perkataan: Bumi-Bulan dan Matahari terletak pada satu garis lurus.

Maka agar terjadi Bulan baru lagi (Bumi-Bulan-Matahari satu baris) Bulan harus beredar hari lagi. Waktu antara dua waktu berturut-turut “berkumpulnya” kembali Bulan dengan Matahari ini dinamakan Bulan sinodis/Bulan Matahari (*synode* = pertama). Peredaran Bulan dari Bulan baru ke Bulan baru berikutnya seperti itu juga disebut peredaran sinodis. Yang biasa digunakan dalam hidup sehari-hari ialah Bulan sinodis, sebab fase-fase Bu-

lan (rupa-rupa semu Bulan) dan waktu datangnya Bulan-bulan baru ditentukan oleh peredaran sinodis.

E. Fase Bulan (Rupa-rupa Semu Bulan)

Seseorang yang menatap Bulan akan memperhatikan bahwa bentuknya kelihatan berubah setiap malam dan berjalan melalui satu daur lengkap dalam waktu sekitar satu Bulan. Perubahan bentuk itu, fase Bulan disebabkan oleh perubahan posisi relatif Bulan, Matahari, dan Bumi. Pada saat Bulan tampak terang kepada kita di Bumi itu hanya sebagian Bulan yang di sinari Matahari. Bagian yang menghadap ke Bumi tidak seluruhnya kena sinar Matahari, melainkan kadang-kadang hanya sebagian saja, dan kadang-kadang tidak sama sekali.



GAMBAR 14.4 Bentuk-bentuk Bulan Kelihatannya Berubah Setiap Malam

Agar mengetahui dengan benar apakah Bulan (sabit) itu Bulan timbul atau Bulan surut, digunakan pedoman sebagai berikut:

- a. Apabila bagian cembung Bulan menghadap ke barat, maka itu adalah Bulan timbul, dan apabila menghadap ke timur Bulan surut.
- b. berjenis-jenis rupa (bentuk) Bulan seperti yang kelihatan pada kita itu disebut rupa-rupa semu atau fase-fase dari Bulan.

F. Peredaran Semu Sehari-hari

Seerti juga Matahari, Bulan dipandang dari Bumi mempunyai peredaran semu sehari-hari. Bulan terbit di langit bagian timur, mencapai kulminasi atas di meridian langit, dan tenggelam di Barat. Peredaran semu ini disebabkan oleh rotasi Bumi pada sumbunya.

Hanya lamanya Bulan menempuh lingkaran peredaran sehari-hari tidak sama dengan Matahari. Misalnya pada suatu hari Bulan merembang pukul 12.00 tengah malam, maka ternyata bahwa malam berikutnya saat merembangnya mundur hampir 50 menit (kira-kira jam 00.50 tengah malam).

Peristiwa itu menunjukkan, bahwa Bulan kecuali beredar menempuh peredaran sehari-hari, juga bergerak di langit di antara bintang-bintang dengan arah dari barat ke timur. Berhubung Bumi berotasi dengan arah dari barat ke timur juga, maka suatu tempat A di Bumi tiap-tiap kali harus menempuh lebih daripada satu lingkaran, agar dapat menyaksikan lagi Bulan merembang. Tempat A ini harus menempuh busur sebesar 374° ($360+14$) yang memakan waktu 24 jam 50 menit.

Setelah Bulan baru, Bulan berangsur-angsur bergerak di langit menjauh Matahari dan mendekatinya lagi setelah Bulan purnama. Waktu yang digunakan untuk mencapai kulminasi-kulminasi yang berturut-turut ialah: bagi Matahari 24 jam, bagi

Bulan 24 jam 50 menit. Untuk ini Bumi membutuhkan waktu $\frac{24 \text{ Jam}}{29,5} = 50 \text{ menit}$.

Jadi, yang menyebabkan waktu merembang Bulan tiap hari mundur 50 menit adalah gerakan Bulan sendiri dengan arah dari barat ke timur.

G. Aspek Bulan

Fase Bulan itu sejalan dengan aspek Bulan, yaitu kedudukan Bulan terhadap Matahari dilihat dari Bumi. Aspek Bulan yang mudah dilihat yaitu hal-hal sebagai berikut:

1. Konjungsi



GAMBAR 14.5 Bulan dalam Hubungannya dengan Fase Bulan

Konjungsi yaitu kedudukan Bulan searah dengan Matahari. Pada saat itu bagian Bulan yang menghadap ke Bumi ialah bagian yang sedang malam (gelap), sehingga kita tidak akan meli-

hat Bulan bercahaya, apalagi kedudukan Bulan bersama-sama dengan Matahari, sehingga langit terlalu terang bagi kita untuk dapat melihat benda langit yang tidak mempunyai cahaya sendiri itu. Dalam keadaan tertentu, pada aspek konjungsi ini akan terjadi gerhana Matahari.

2. Operasi

Operasi yaitu kedudukan Bulan berlawanan arah dengan Matahari dilihat dari Bumi. Ingat akan oposisi planet superior. Pada saat itulah Bulan terlihat seperti Bulan purnama, Bulan terbit bersamaan dengan Matahari terbenam dan terbenam bersamaan Matahari terbit. Dalam keadaan tertentu pada aspek oposisi dapat terjadi gerhana Bulan.

3. Kuartar

Kuartar yaitu pada saat Bulan menepati kedudukan tegak lurus terhadap garis penghubung Bumi Matahari. Pada aspek kuartar memperlihatkan fase perbani. Waktu itu hanya setengah Bulan yang terang. Terjadi dua kuartar Bulan dalam sebulan, yang pertama ketika bulan bertambah besar, dinamakan kuartar pertama. Kuartar kedua ketika Bulan bertambah kecil, enam hari setelah purnama, disebut kuartar terakhir.

Beda kuartar pertama dengan kuartar terakhir adalah tempat bagian yang terang. Pada kuartar pertama bagian Bulan yang terang ada di sebelah barat sedang kuartar terakhir berada pada arah sebaliknya.

4. Fase Orbit dan (Creasen) dan Benjol (Gibbous)

Dengan demikian dalam, satu Bulan sinodik berlangsung pergantian fase Bulan sebagai berikut:

Bulan baru → sabit → perbani awal → benjol → purnama → benjol → perbani akhir sabit → Bulan baru lagi.

Jembatan Keledai:**BUSA PERBAL BENPOL PARASIT BAGI**

Bulan baru, sabit, perbani awal, benjol, purnama, benjol, perbani akhir, sabit, Bulan baru lagi.

H. Orbit dan Librasi Bulan**1. Orbit Bulan**

Gerak Bulan itu sama sekali tidak sederhana dan telah menimbulkan tantangan bagi kecerdikan para ahli astronomi selama beberapa abad. Bulan tidak selalu terletak pada bidang yang sama. Baik bentuk maupun posisinya yang relatif terhadap Matahari dan Bumi terus-menerus berubah. Karena sebab-sebab inilah bagian Bulan yang terlihat dari Bumi agak berbeda sehingga setelah suatu periode waktu kita dapat melihat 59 persen permukaan Bulan dari suatu tempat pengamatan di Bumi. Perubahan-perubahan dalam orbit Bulan terjadi dalam daur-daur. Karena hal inilah permukaan Bulan yang dapat dilihat mengalami gerak berguncang, atau librasi yang menjadikan daerah-daerah kecil di dekat tepi cakram yang dapat diamati itu dilihat. Beberapa dasawarsa yang selalu belum semua daerah permukaan Bulan dapat dilihat oleh pengamat di Bumi. Sekarang dengan wahana ruang angkasa, para astronomi memperoleh gambar-gambar yang diambil dari jarak dekat yang terpencil, bahkan tentang sisi Bulan yang jauh.

2. Librasi Bulan

Muka Bulan yang tampak dari Bumi itu hanya separuh bulatan yang sama saja, sedangkan separuh bulatan yang lain tidak pernah dapat tampak. Tetapi jika diperhatikan lebih teliti, ternyata titik tengah bulatan Bulan yang tampak itu bukanlah selalu titik yang sama saja berubah-ubah sedikit letaknya. Dengan kata lain: bagian Bulan yang dapat kita saksikan dari Bumi

ternyata lebih luas sedikit dari separu bagian Bulan sepenuhnya. Sebab kutub-kutub Bulan (kutub utara dan selatan), begitu pula bagian-bagian tepi (kiri dan kanan) dapat berganti-ganti tampak pada kita. Kejadian ini disebabkan oleh satu gejala yang disebut “gejangan” semua bulan terhadap Bumi atau librasi Bulan. Ada tiga librasi dikenal:

a. Librasi dalam garis lintang

Librasi dalam garis lintang ini disebabkan karena sumbu Bulan yang letaknya miring (condong) terhadap bidang lintangnya dan tetap kedudukannya selama peredarannya mengelilingi Bumi. Karena itu dua kutub Bulan berganti-ganti dapat tampak dari Bumi sesudah berkeliling setengah dari lintasannya. Inilah yang menyebabkan titik pusat Bulan berganti-ganti berada di seperdua bulatan utara dan selatan (berpindah-pindah naik dan turun). Gejala ini lazim juga disebut gerakan mengangguk “ya” dari Bulan.

b. Librasi dalam garis membujur

Librasi dalam garis membujur ini terjadi karena kecepatan Bulan mengelilingi Bumi tidaklah tetap, kadang-kadang cepat, kadang-kadang lambat. Sesudah $\frac{1}{4}$ waktu berkeliling sideris, Bulan telah berputar tepat $\frac{1}{4}$ putaran pada sumbunya, tapi Bulan belum menjalani $\frac{1}{4}$ bagian dari lintasannya mengedari Bumi (agak lambat). Titik pusat P_1 karena dari semulah telah berputar 90° telah sampai di P'_1 . Tetapi ternyata sudut P_1MP_2 belum merupakan sudut 90° . Maka yang menjadi pusatnya bulatan permukaan Bulan waktu itu ialah P_2 . Kejadian “kebalikan” dari peristiwa seperti ini terjadi bila kecepatan beredarnya agak besar. Dengan begitu, maka titik pusat permukaan bulatan Bulan yang tampak dari Bumi berpindah-pindah/bergeser-geser dalam arah mendatar (arah timur-barat). Kejadian ini disebut librasi dalam garis membujur, yang juga disebut gerakan mengeleng “tidak” dari Bulan.

c. Librasi paralaks

Kesan ini diperoleh jika orang mengamati Bulan dari dua titik yang berbeda di Bumi. Belahan Bulan yang kelihatan oleh orang Tokyo (belahan Bumi utara) berbeda dengan belahan yang tampak dari Melbourne (belahan Bumi selatan), paralaks, berarti beda lihat.

Librasi ini terjadi karena adanya beda lihat antara orang-orang/pengamat-pengamat yang berada di tempat-tempat yang berlainan letaknya di Bumi. Akibatnya librasi yang tiga macam itu, maka sesungguhnya orang di Bumi dapat melihat lebih dari separuh dari bagian Bulan. Menurut perhitungan (yang dibulatkan) data-data itu bagian berikut:

- 3/7 bagian Bulan yang tidak pernah tampak.
- 3/7 bagian yang tetap menghadap (dan tampak ke Bumi).
- 1/7 bagian dapat dilihat karena librasi.

Jadi, permukaan Bulan yang dapat dilihat dan dikenal dari Bumi kira-kira ada 4/7.

3. Tarikh Bulan (Kalender Bulan)

Perubahan fase Bulan secara periodik digunakan untuk melakukan perhitungan penanggalan atau kalender yang dikenal sebagai tarikh Bulan (tarikh Kamariyah, Lunar Calender), contohnya tarikh Hijriah.

Satu Bulan pada tarikh Bulan sama dengan satu Bulan sinodik, lamanya 29,5 hari, tepatnya 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Satu tahun Kamariyah lamanya $12 \times 29,5$ hari = 354 hari. Banyak hari dalam sebulan selama setahun pada tarikh Kamariyah berganti-ganti 29 hari dan 30 hari.

Untuk umat Islam peristiwa keagamaannya menggunakan tarikh Hijriyah, mereka akan dapat merasakan adanya perbedaan jumlah hari dalam sehari itu. Untuk menentukan permulaan Bulan Ramadhan, yaitu permulaan berpuasa misalnya, orang harus mengintai Bulan baru (*ru'yatul hilal*). Jika pada suatu sore

Bulan baru sudah tampak, keesokan harinya dinyatakan sebagai permulaan Bulan Ramadhan. Begitu pula akhir Bulan Ramadhan atau tanggal 1 Syawal ditentukan dengan mengintai Bulan baru. Akibatnya, banyak hari puasa dalam Bulan Ramadhan kadang-kadang 30 hari, kadang-kadang paling sering 29 hari.

Pada tarikh Kamariah dilaksanakan pebulatan panjang tahun biasa, yaitu dengan tidak menghitung waktu di bawah 1 jam. Akibatnya dalam sebulan terbuang waktu selama 44 menit 3 detik dari Bulan Kamariah. Jadi, dalam setahun akan terbuang waktu: $12 \times (44 \text{ menit } 3 \text{ detik}) = 8 \text{ jam } 48 \text{ menit } 36 \text{ detik}$.

Dalam 30 tahun terbuang waktu $30 \times 8 \text{ jam } 48 \text{ menit } 36 \text{ detik} = 10 \text{ hari } 22 \text{ jam } 38 \text{ menit} = \text{hampir } 11 \text{ hari}$. Berdasarkan perhitungan di atas ditentukan perhitungan tahun kabisat dalam tiap 30 tahun tarikh Kamariyah. Tahun biasa pada tarikh Kamariyah panjangnya 354 hari dan tahun kabisat lamanya 355 hari.

Kesebelasan tahun kabisat itu ditetapkan seperti pada tabel berikut ini. Urutan tahun yang berkurang itulah yang disebut tahun kabisat, 11 kali dalam tiap 30 tahun atau 3 kali dalam tiap windu.

I. Gerhana (Eklipse)

Suatu gerhana Matahari atau gerhana Bulan sungguh ton-tonan yang hebat. Kata “eklipse” (gerhana) berasal dari bahasa Yunani *ekleipsis*, yang berarti peninggalan “atau” pelalaian. Gerhana disebabkan oleh bayangan Bumi dan Bulan yang besar sekali, kedua benda langit ini gelap. Oleh karena itu, ketika kedua benda ini diterangi oleh Matahari, masing-masing mempunyai bayangan yang menjulur ke dalam ruang angkasa, jauh dari Matahari.

Bayangan yang dibentuk oleh Bumi ataupun Bulan mempunyai beberapa bagian. Terdapat suatu daerah bayangan sempurna yang dikenal sebagai umbra (kata bahasa Latin itu “bayangan”). Oleh karena itu, baik Bumi maupun Bulan lebih kecil daripada Matahari, umbra masing-masing berbentuk ke-

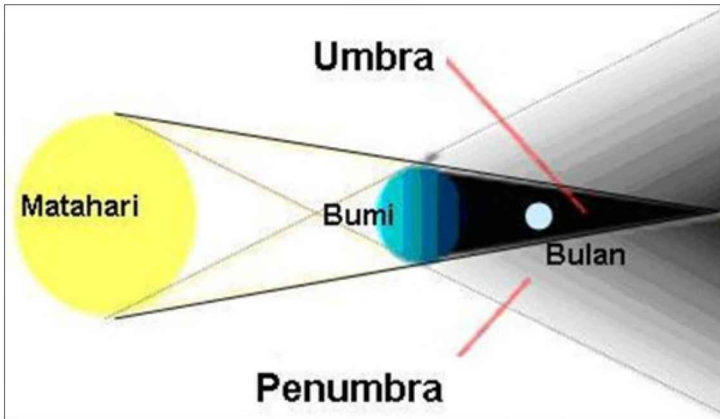
rucut. Umbra ini berkurang diameternya, semakin bayangan ini berkurang diameternya semakin bayangan ini menjulur lebih jauh ke dalam ruang angkasa, akhirnya bayangan ini tiba pada suatu titik. Tidak terdapat cahaya yang datang secara langsung dari Matahari menuju ke orbit apa pun dalam umbra di sekeliling kerucut bayang sempurna, terdapat suatu daerah bayangan sebagian, yang disebut penumbra (bahasa Latin untuk “hampir suatu bayangan”). Setiap objek dalam penumbra ini menerima cahaya dari suatu bagian sisi Matahari. Kerucut tebalik ini disebut umbra negatif. Dan, seperti yang akan kita lihat, umbra negatif ini adalah faktor penting dalam gerhana Matahari tertentu.

Kerucut bayangan Bumi terletak selalu pada bidang lintasannya atau Ekliptika. Lingkaran lintasan Bulan ternyata tidak terletak (berimpit) pada bidang ekliptika. Kedua titik potong lingkaran peredaran Bulan dengan ekliptika disebut simpul-simpul. Akibat keadaan itu, Bulan selama peredarannya akan berada di bidang ekliptika hanya di kedua simpul tersebut, begitu juga bayangannya. Pada waktu Bulan berada di titik-titik lainnya pada lingkaran peredarannya, bayangan kerucutnya akan jatuh di luar bidang ekliptika.

Gerhana hanya bisa terjadi pada waktu Bulan sedang berada didekat sampul-sampul jalan yang dilalui Bulan. Akan terjadi gerhana, jika pada waktu Bulan baru atau Bulan purnama, Bulan berada dekat pada salah satu dari simpul-simpul itu (ekliptika = lingkaran gerhana).

Umbra adalah daerah bayang sempurna/penuh yang muncul di Bumi sebagai suatu gerhana sempurna. Penumbra adalah daerah bayangan sebagian. Daerah umbra negatif menggambarkan lanjutan garis-garis yang membatasi bayangan sempurna. Tiga daerah bayangan semuanya berbentuk kerucut ataupun bagian-bagian dari kerucut.

Sungguh penting untuk diingat bahwa diameter Matahari, Bumi, dan diameter Bulan adalah faktor yang tetap, sedangkan



GAMBAR 14.6 Bagian-bagian Khas dari Bayangan yang Dibentuk oleh Bumi Ataupun oleh Bulan

jarak antara Bumi dan Matahari adalah berubah-ubah. Oleh karena itu, umbra Bumi atau umbra Bulan berbeda-beda panjangnya, panjang rata-rata umbra Bumi kira-kira 1.400.000 km, sedangkan panjang umbra Bulan kira-kira 375.000 km.

Sewaktu Bulan berjalan mengelilingi Bumi, yaitu suatu perjalanan yang memerlukan waktu hampir satu Bulan, Bumi kadang-kadang memasuki bayangan Bulan. Dalam kasus itu terjadi gerhana Matahari. Kadang-kadang Bulan memasuki bayangan Bumi, dalam kasus ini terjadi gerhana Bulan. Gerhana Matahari hanya dapat terjadi pada waktu Bulan baru, ketika Bulan berada antara Matahari dan Bumi. Suatu gerhana Bulan hanya dapat terjadi pada Bulan penuh ketika Bumi berada di antara Matahari dan Bulan. Akan terjadi suatu gerhana Matahari pada setiap Bulan baru dan akan terjadi gerhana Bulan pada setiap Bulan penuh jika orbit Bulan berada sejajar tepat di bidang yang sama seperti orbit Bumi di sekeliling Matahari. Akan tetapi, ternyata tidak begitu. Sudut inklinasinya lebih sedikit dari lima derajat.

Bulan melintas melalui bidang orbit Bumi di sekeliling Ma-

tahari dua kali setiap Bulan, di titik yang disebut simpul orbit Bulan. Secara umum Bulan berada di salah satu sisi bidang orbit Bumi pada Bulan baru atau pada Bulan penuh. Jika Bulan tidak berada di bidang itu pada Bulan baru, bayangannya tidak akan jatuh di atas Bumi dan tidak terjadi gerhana Matahari. Jika Bulan tidak berada di bidang orbit Bumi pada Bulan penuh, Bulan ini tetap tinggal di luar bayangan Bumi, dan tidak terjadi gerhana Bulan. Dari waktu ke waktu Bulan berada pada Bulan penuh ataupun Bulan baru kira-kira pada saat Bulan melintasi bidang orbit Bumi. Ketika hal itu terjadi, suatu gerhana Bulan pada Bulan penuh dan suatu gerhana Matahari pada Bulan baru.

1. Gerhana Bulan (Lunar Eclipse)

Agar suatu gerhana Bulan terjadi, maka:

- a. Bulan harus berada pada Bulan penuh.
- b. Bulan harus berada pada salah satu simpul orbitnya.

Panjang umbra Bumi kira-kira 1.400.000 km dan jarak rata-rata Bulan dari Bumi adalah 385.000 km. Oleh karena itu, ketika Bulan masuk ke dalam kerucut bayangan sempurna, Bulan ini berada jauh lebih dekat ke dasar kerucut daripada ke ujung kerucut itu, diameter kerucut, tempat Bulan melintas melauinya, kira-kira $2\frac{1}{2}$ kali diameter Bulan.

Jika jalur Bulan kebetulan melintas melalui pusat bayangan, Bulan dapat tetap gelap total kira-kira selama 1 jam. Bayangan dapat menutup daerah Bulan selama kira-kira 2 jam. Gerhana Bulan mulai ketika Bulan memasuki penumbra dan berakhir bila Bulan meninggalkan penumbra. Akan tetapi, terjadi sedikit penggelapan yang berarti sampai Bulan memasuki umbra.

Jika jalur yang ditempuh Bulan di dekat tepi bayangan fase total gerhana yang dapat berlangsung hanya beberapa menit. Jika jalur Bulan sedemikian rupa sehingga hanya satu bagian dari cakramnya, dan tidak keseluruhan cakram itu masuk ke dalam bayangan kerucut umbra, gerhana ini bersifat sebagian dan

tidak total kadang-kadang Bulan di jalur lintasannya tidak melalui kerucut bayangan sempurna, tetapi hanya melalui penumbra. Jika hal ini terjadi, demikian banyak cahaya masih diterima dari suatu bagian cakram Matahari sehingga tidak terjadi penggelapan Bulan secara jelas jika Bulan tidak melintas sangat dekat dengan bayangan asli. Bulan biasanya tidak sama sekali hilang pada pandangan sekalipun di tengah-tengah gerhana total. Bulan bersinar dengan suatu nyala warna tembaga yang aneh.

Gerhana Bulan tidak sedemikian sering seperti gerhana Matahari. Sekurang-kurangnya terjadi dua gerhana Matahari setiap tahun, dan dapat terjadi sebanyak lima kali. Sebaliknya terdapat tahun-tahun ketika gerhana Bulan tidak terjadi sama sekali. Pada umumnya, terjadi tidak lebih dari dua gerhana Bulan dalam setiap tahun. Akan tetapi, jika terjadi gerhana Bulan pada salah satu hari pertama dalam setahun, dapat terjadi gerhana ketiga pada Bulan Desember.

Pernyataan bahwa gerhana Matahari lebih sering daripada gerhana Bulan dapat tampak menjadi berlawanan dengan pengalaman kita. Sebenarnya, kita mengetahui bahwa orang-orang yang hidup di daerah tertentu akan melihat lebih banyak gerhana Bulan daripada gerhana matahari dalam suatu periode waktu yang khas. Akan tetapi, sesungguhnya tidak terdapat pertentangan yang berarti dalam hal ini. Bayangan Bulan dalam suatu gerhana Matahari menutup hanya sebagian kecil dari permukaan Bumi, sedangkan bayangan Bumi dalam gerhana Bulan menutup seluruh wajah Bulan. Oleh karena itu gerhana Bulan dapat dilihat di atas separuh Bumi yang berada dalam kegelapan itu (yaitu, tempat berlangsungnya malam hari). Akan tetapi, daerah-daerah yang dapat dipakai untuk melihat suatu gerhana Matahari khusus terletak di suatu lintasan yang dapat dikatakan sempit melintas bola Bumi.

a. Bidang lintasan Bulan

Sebelum kita membicarakan gerhana, kita lihat dahulu fak-

tor yang menyebabkan terjadinya gerhana itu. Di antaranya lintasan Bulan. Lintasan Bulan keliling Bumi membentuk bidang yang tidak sebidang dengan ekliptika. Masih ingatkah Anda dengan ekliptika? Ekliptika adalah bidang lintasan Bumi mengelilingi Matahari.

Bulan mengelilingi Bumi dengan lintasannya yang berbentuk elips dan Bumi terletak pada salah satu titik api elips itu, sehingga pada Bulan pun sudah ada bagian terjauh dan bagian terdekat ke Bumi. Bagian terjauh dimakan apogen dan bagian terdekat dimakan parigen.

Lintasan Bulan dan ekliptika membentuk sudut sebesar 5° . Garis sekutu antara kedua bidang tersebut disebut simpul. Garis simpul ini juga tidak tetap pada satu posisi, melainkan mengadakan perputaran dengan periode 19 tahun. Jika pada suatu saat Matahari bertepatan pada simpul, seharusnya setengah tahun lagi Matahari akan kembali bertempat pada simpul. Ternyata tidak, perputaran simpul itu.

b. Gerhana Bulan sebagian

Gerhana ini terjadi jika Matahari dan Bulan hanya sebagian tertutup, artinya Bulan hanya melalui bayang inti. Telah kita ketahui, bahwa Bulan adalah benda langit yang gelap. Bulan tampak karena cahaya Matahari yang dipantulkan dan pantulannya itu mengenai mata kita. Matahari sebagai sumber cahaya mempunyai lingkaran lebih besar daripada Bumi maupun Bulan. Oleh karena itu, bayangan Bumi maupun Bulan akan berbentuk kerucut. Kerucut bayangan Bumi akan lebih panjang dari kerucut bayangan Bulan. Kerucut bayangan yang gelap disebut umbra (kbi) atau bayangan inti. Di sekitar umbra terdapat bayang yang tidak terlalu gelap dan dinamakan penumbra (bs). Penumbra di belakang Bumi atau bulan berbentuk kerucut terpancung dengan puncaknya di Bumi atau di Bulan dan makin jauh makin besar sampai menghilang di ruang angkasa.

c. Gerhana Bulan penumbra

Pada waktu Bulan berotasi dan Bulan terletak pada simpul umbra Bumi akan mengenai Bulan atau dengan kata lain Bulan akan masuk ke dalam umbra Bumi itu. Dikatakan orang pada saat itu Bulan sedang terjadi gerhana Bulan total, jika yang masuk ke dalam umbra itu sebagian Bulan purnama, dinamakan gerhana sebagian (parsial). Sebelum Bulan memasuki umbra, seluruh Bulan berada di daerah penumbra, saat itu terjadi gerhana penumbra.

d. Gerhana Bulan total

Gerhana sempurna (gerhana total), bilamana bayangan Bulan masuk seluruhnya ke dalam bayangan inti Bumi. Tiap-tiap gerhana Bulan yang sempurna tentu didahului dan diakhiri dengan gerhana sebagian. Jadi, jika pada suatu malam ketika Bulan purnama terjadi gerhana total atau gerhana penuh, keadaan yang dapat diamati berturut-turut sebagai berikut:

Gerhana penumbra → gerhana sebagian → gerhana total → gerhana sebagian → gerhana penumbra → Bulan purnama kembali.

Diameter kerucut umbra Bumi di tempat lintasan Bulan itu kira-kira tiga kali diameter Bulan. Oleh karena itu, jika Bulan lewat di tengah umbra Bumi akan terjadi gerhana total yang paling lama, sekitar 1 jam 45 menit. Waktu gerhana, mulai masuk umbra sampai Bulan keluar lagi dari umbra, memakan waktu 4 jam, dalam setahun mungkin terjadi gerhana Bulan sampai tiga kali, namun mungkin saja dalam setahun tidak terjadi sekali pun gerhana Bulan. Perbedaan frekuensi gerhana itu akibat gerak simpul dalam periode 19 tahun seperti yang kita utarakan terdahulu.

Gerhana Bulan akan terjadi (tampak), jika pada Bulan purnama, Bulan berada pada jarak yang dekat (12°) dari simpul. Pada gerhana Bulan bagian Bulan yang tertutup dahulu ialah bagian sebelah kirinya (timur) dan berakhir pada bagian sebelah

kana (barat).

Dalam satu Bulan (sinodis) hanya satu kali adanya kemungkinan terjadi gerhana Bulan. Pada gerhana total, seluruh peristiwa berlangsung paling lama 220 menit, yaitu 2×60 menit untuk dua kali gerhana parsial dan 100 menit untuk gerhana total. Gerhana Bulan dapat dilihat dari seluruh bagian Bumi yang sedang mengalami malam.

Bagian Bulan yang tertutup memang tidak memberi cahaya (tidak menerima dan memantulkan cahaya Matahari). Waktu gerhana Bulan sempurna pun, Bulan itu tiada gelap sungguh-sungguh sebab cahaya Matahari di angkasa sangat membias, sehingga masih ada cahaya yang sampai mencapai bulan.

2. Gerhana Matahari

Jika pada waktu Bulan baru Bulan berada pada satu titik simpul atau di dekatnya, cahaya Matahari yang datang di dekatnya, cahaya Matahari yang akan datang di muka Bumi akan terhalang olehnya. Tempat-tempat di Bumi yang menerima bayangan-bayangan (kerucut bayangan) Bulan akan mengalami gerhana Matahari (solar eklipse).

Menurut perhitungan panjang bayangan inti Bulan ada 60 kali jari-jari Bumi. Jarak ini sama panjangnya jarak antara Bulan dan Bumi. Karena lintasan-lintasan Bumi dan Bulan itu masing-masing merupakan elips. Jarak antara Bulan dan Bumi tidak tetap.

Kita telah melihat bahwa panjang rata-rata bayangan Bulan kira-kira 375.000 km. Panjang bayangan ini tidak pernah melebihi 380.000 km, sehingga pada umumnya umbra Bulan, yaitu bayangan intinya tidak cukup panjang untuk mencapai Bumi. Namun kadang-kadang Bulan berada hanya kira-kira 356.500 km dari permukaan Bumi bayangan inti pada waktu itu jatuh di atas sebagian kecil dari permukaan Bumi, yang menyebabkan gerhana Matahari cincin di tempat itu. Dalam suatu gerhana cincin lingkaran sisi Matahari tampak sebagai suatu “cincin” ca-

haya di sekeliling Bulan yang gelap.

Di sekeliling daerah tempat terjadinya suatu gerhana Matahari total ataupun suatu gerhana Matahari cincin, selalu terdapat daerah yang jauh lebih luas jika terjadi suatu gerhana Matahari cincin selalu terdapat sesuatu dalam penumbra bulan. Daerah ini umumnya memanjang sepanjang lebih dari 3.000 km di permukaan Bumi di setiap sisi jalur tempat gerhana Matahari total dapat dilihat. Kadang-kadang daerah gerhana Matahari sebagian memanjang hampir 5.000 km pada setiap sisi jalur keseluruhan.

Bayangan Bulan melintas menyusuri jalur ini pada kecepatan tinggi, yaitu kira-kira 1.700 km per jam. Periode terpanjang gerhana Matahari total dalam keadaan yang paling baik, kira-kira 7 ½ menit. Fenomena alam dapat menakjubkan seperti suatu gerhana Matahari. Proses berlangsungnya gerhana Matahari total terutama mengesankan dan untuk beberapa orang mencemaskan. Langit menjadi gelap, burung-burung terbang ke lubang perlindungan, hewan-hewan lainnya dapat menunjukkan tanda-tanda ketakutan. Kegelapan ini dengan cepat bertambah, akhirnya bayangan bulan yang gelap yang mirip suatu awan tebal sangat luas, naik dengan kecepatan hebat dari kaki langit bagian barat dan menutup daratan. Biasanya tepat sebelum sinar terakhir dari Matahari tertutup, pita-pita cahayanya dan warna yang bergerak teramati. Pita-pita ini barang kali disebabkan oleh pembiasan yang tidak merata dalam atmosfer. Kemudian siang hari berubah mirip malam hari. Sambil mata terbiasa dengan kegelapan, benda-benda di sekeliling tampak mempunyai tampilan yang menakutkan. Tidakkah mengherankan gerhana dahulu dipandang dengan penuh ketakutan.

Sambil gerhana mendekati bentuk keseluruhan, Matahari terlihat suatu bentuk sabit dengan cahaya cemerlang yang sangat sempit. Bentuk sabit ini kemudian menjadi suatu garis melengkung dan akhirnya pecah menjadi manik-manik baily. Manik-manik ini disebabkan oleh ketidakaturan garis luar

bentuk Bulan seperti yang terlihat dalam bayangan-bayangan. Ketidakteraturan ini disebabkan oleh gunung-gunung dan lembah-lembah bulan. Sinar Matahari melintas melalui lembah-lembah, tetapi dikaburkan oleh pegunungan. Bahkan pada peristiwa gerhana Matahari total, atmosfer yang mengelilingi Matahari meluas demikian jauh di ruang angkasa sehingga atmosfer ini tidak pernah tertutup sama sekali oleh Bulan. Kita dapat melihat Matahari tertutup Bulan yang dikelilingi oleh suatu pijar yang indah. Sewaktu mengamati suatu gerhana Matahari, ingatlah bahwa mata harus selalu dilindungi dari dan terhindar dari sorotan sinar langsung dari Matahari.

Suatu gerhana Matahari dapat terjadi hanya:

1. Ketika Bulan berada pada bulan baru.
2. Ketika Bulan berada di dekat salah satu simpul orbitnya.

Terdapat tiga jenis gerhana Matahari, yaitu gerhana Matahari total, cincin, dan gerhana Matahari sebagian.

a. Gerhana Matahari total

Jarak terdekat dari Bumi ke bulan (*perigee*) ada 363.310 km. Apabila kebetulan bayangan Bulan (*umbra*) jatuh di Bumi dan menimbulkan lingkaran hitam di permukaan Bumi, tempat-tempat yang berada di lingkaran hitam itu mengalami gerhana total. Lingkungan total ini berpindah-pindah karena berotasi, dan juga Bulan dan Bumi berevolusi.

Bagaimana permukaan Bumi yang dijatuhkan *umbra* Bulan yang secara langsung tidak mendapat cahaya Matahari, dikatakan orang daerah tersebut sedang mengalami gerhana Matahari total. Bagian ini meliputi daerah yang berbentuk lingkaran dengan diameter paling besar 270 km. Orang-orang di daerah itu melihat daerah Matahari tertutup seluruhnya oleh bulan. Yang tampak hanya korona dan *prominences* di bagian Bulan yang waktu itu sedang gelap dan menutup fotosfer. Pada saat seperti itu kita dapat memandang ke arah Matahari tanpa filter.

Akan tetapi, kita memandang dalam waktu sebentar saja, jangan sampai ketika fotosfer keluar dari balik Bulan, kita masih memandang ke arah Matahari, karena dapat menyebabkan kebutaan. Gerhana total yang paling lama terjadi tahun 1955 selama 7,5 menit. Gerhana ini melalui daerah Sri Lanka, Thailand, dan Filipina. Ketika gerhana melalui wilayah Indonesia pada 11 Juni 1983, gerhana totalnya hanya 5 menit 11 detik.

b. Gerhana Matahari sebagian

Di sekitar daerah totalitas terletak pada tempat-tempat yang hanya disinggung oleh bayangan tambahan Bulan. Tempat-tempat ini mengalami gerhana Matahari parsial. Daerah berbentuk lingkaran di sekeliling daerah gerhana cincin juga mengalami gerhana parsial. Daerah gerhana parsial bergaris tengah sekitar 10.000 km. Daerah gerhana parsial di sekitar daerah gerhana Matahari cincin ternyata lebih luas daripada daerah di sekitar gerhana Matahari total.

c. Gerhana Matahari cincin

Jarak terbesar Bulan ke Bumi (*apogee*) adalah 405.530 km. Dalam kedudukan ini panjangnya kerucut bayangan bulan tidak cukup panjang untuk mencapai Bumi. Yang jatuh di Bumi adalah perpanjangan bayangan itu. Daerah-daerah yang berada di perpanjangan bayangan ini mengalami gerhana Matahari cincin (*annular eclips*).

Menurut perhitungan, selama 31 tahun 38 hari terdapat kemungkinan terjadinya gerhana Matahari. Karena waktu itu lebih lama daripada waktu peredaran sinodis. Selama itu harus ada peredaran Bulan baru satu kali, mungkin juga dua kali. Dengan begitu, maka menurut perhitungan harus terjadi gerhana Matahari sedikit-sedikitnya sekali dalam $\frac{1}{2}$ tahun atau dua kali, dengan selisih satu bulan. Dengan demikian, ada kemungkinan sampai 4 kali gerhana Matahari tiap tahun. Bahkan bila diperhitungkan pula pergerakan garis hubung simpul-simpulnya (garis simpul),

mungkin dapat terjadi sampai 5 kali setahun.

Daerah yang agak luas di sekeliling daerah gerhana total itu hanya dijatuhi penumbra Bulan. Daerah ini hanya mengalami gerhana Matahari parsial. Orang-orang melihat sebagian Matahari terhalang Bulan. Selain dua macam gerhana Matahari yang tersebut, terdapat macam lain yaitu gerhana cincin. Seperti yang telah dibicarakan pada bagian terdahulu, lintasan Bumi maupun lintasan bulan berbentuk elips. Oleh karena itu, ada kemungkinan pada saat terjadi gerhana, letak Bumi dan Bulan sedemikian rupa, sehingga kerucut bayangan-bayangan inti bulan tidak mengenai Bumi, kerucut bayangan inti bulan lebih pendek daripada jarak Bumi-Bulan.

Orang di permukaan Bumi tepat di bawah kerucut umbra bulan, melihat Matahari terhalang oleh ukuran Bulan yang lebih kecil tepat di tengah-tengah Matahari sehingga Matahari berbentuk cincin. Itulah sebabnya gerhana tersebut disebut gerhana cincin.

Suatu gerhana Matahari di suatu tempat dapat dialami paling lama 2 jam (dari awal sampai akhir) akan tetapi bila dihitung dari tempat gerhana Matahari itu mulai sampai ke tempat akhir waktunya dapat mencapai 6 jam. Gerhana Matahari di seluruh permukaan Bumi lebih sering daripada gerhana bulan satu periode. Akan tetapi, gerhana Bulan yang telah panjang, terjadi itu dapat.

3. Perbedaan antara Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan

Dari uraian-uraian sebelumnya dapat diketahui perbedaan antara gerhana Matahari dan gerhana Bulan, yaitu sebagai berikut:

- a. Gerhana Matahari kemungkinan terjadinya pada saat bulan baru, sedangkan gerhana Bulan waktu Bulan purnama.
- b. Waktu terjadi gerhana Matahari, Matahari masih tetap ber-

sinar seperti biasa, tetapi sebagian dari sinarnya dihempang oleh bulan sebelum sampai di Bumi. Waktu terjadi gerhana Bulan, bulan (atau sebagian dari Bulan) tidak bersinar sama sekali, karena tidak menerima dan tidak memantulkan sinar Matahari.

- c. Gerhana Matahari hanya dialami (dilihat) oleh seluruh bagian dari Bumi yang sedang mengalami malam.
- d. Gerhana Matahari untuk satu tempat paling lama berlangsung dalam 2 jam, dan untuk seluruh bagian yang dapat mengalami gerhana itu paling lama 6 jam.
- e. Kemungkinan terjadinya gerhanana Matahari lebih besar daripada terjadinya gerhana bulan.
- f. Jumlah banyaknya terjadi gerhana Matahari lebih besar daripada jumlah banyaknya gerhana bulan di suatu periode pada seluruh Bumi.
- g. Gerhana Matahari dapat terjadi:
 - 1) Berbangun tak sempurna (kemudian selesai).
 - 2) Mula-mula tak sempurna, kemudian sempurna, lalu tak sempurna, selesai.
 - 3) Mula-mula tak sempurna, kemudian berbentuk gelang, lalu tak sempurna lagi, selesai.

Gerhana Bulan mungkin:

- 1) Berbangun tak sempurna, (kemudian selesai).
- 2) Mula-mula tak sempurna, sempurna, dan kemudian tak sempurna, selesai.

Karena penambang bayangan inti (Bumi) itu besar, cukuplah jika garis simpul itu melalui dekat pada Matahari. Menurut perhitungan, kemungkinan terjadinya gerhana bulan ialah 10 atau 13 kali sebelum sampai 10 atau 13 hari sesudah keadaan-keadaan seperti B_1 dan B_3 tersebut. Jadi, dua kali dalam setahun selama 20 hingga 26 hari terdapat kemungkinan adanya gerhana bulan.

4. Presesi

Dalam materi yang lalu diterangkan, bahwa selama Bumi berputar mengelilingi Matahari sepanjang lintasan yang berimpit dengan bidang ekliptika itu, sumbu Bumi selalu sejajar kedudukannya. Artinya, kedudukan sumbu-sumbu selalu sama terhadap bidang lintasannya (juga terhadap bidang ekliptika), yaitu membentuk sudut sebesar $66\frac{1}{2}^\circ$. Keterangan tersebut tidak betul seluruhnya dan hanya diberikan untuk memudahkan keterangan berikutnya saja.

Selama beredar itu, ternyata sumbu Bumi berubah-ubah membuat putaran (yaitu lebih lambat dari gerak revolusi) terhadap garis tegak lurus pada bidang ekliptika. Gerakan ini kira-kira sama dengan gerakan 'oleng' pada sebuah gasing yang berputar. Apabila gasing berputar dengan cepat, poros lahan terhadap garis yang berdiri tegak lurus pada sebuah bidang mendatar. Gerakan dari sumbu Bumi atau tepatnya gerakan berputar sumbu Bumi terhadap garis tegak lurus pada bidang ekliptika disebut presesi.

a. Akibat-akibat adanya presesi

- 1) Kutub-kutub langit membuat lingkaran-lingkaran dengan titik pusat kutub-kutub ekliptikanya. Hal ini mengakibatkan berpindahnya kutub-kutub langit di antara bintang-bintang di sekitarnya. Misalnya: bintang kutub (utara) atau bintang polaris yang sekarang ini, dahulu pada zamannya Hipparchus (190-125 SM) tidak merupakan bintang kutub. Dia masih berada kira-kira 12° dari kutub utara. Sekarang jarak antara bintang itu dengan kutub utara kurang dari 1° . Jarak terkecil akan terjadi nanti dalam tahun 2100. Jarak itu kurang dari $\frac{1}{2}^\circ$.

Kira-kira 12.000 tahun lagi bintang Wega di rasi Lyra akan menjadi bintang di kutub utara. Sekarang di $\frac{1}{2}^\circ$ langit selatan tidak ada bintang kutub. Baru kira-kira 8500 tahun lagi di langit bagian ini akan ada bintang kutubnya, dan yang akan

menjadi bintang kutub selatan waktu itu ialah sebuah bintang terang dari rasi Carina.

- 2) Akibat lain ialah berpindahnya titik Aries dengan arah yang positif di sepanjang ekliptika. Perubahan ini juga disebut presisi. Kecepatan berpindahnya titik Aries ini ialah 50,4 detik setiap tahun, atau 1° dalam 70 tahun.

Ia memerlukan waktu 2.600 tahun untuk kembali lagi pada titiknya yang semula. Dengan demikian, maka titik-titik musim rontok (*Equinoctium*) akan bertukar tepat sesudah 13.000 tahun. Peristiwa ini telah menyebabkan pada zaman sekarang ini (disebut juga zaman modern) titik Aries tidak lagi terletak di Aries, melainkan berpindah ke rasi Pisces.

Presisi ini mengakibatkan terjadinya selisih waktu antara gerakan Matahari dalam tahun-tahunnya terhadap bintang-bintang dan terhadap titik Aries (yang bergeser positif itu). Dalam gerakan tahunannya sepanjang ekliptika, Matahari akan lebih dahulu kembali sampai lamanya tahun tropis: (*season*) di Bumi itu tergantung pada kembalinya Matahari di titik Aries (tanggal 21 Maret), maka tahun tropis yang digunakan untuk penentuan tarikh atau kalender.

Studi Kasus

Terjadi pendaratan pesawat yang pernah dilakukan oleh beberapa negara, di antaranya adalah Uni Soviet pada 13 September 1959 dengan menggunakan Luna 2 dan Amerika Serikat tanggal 20 Juli 1969 dengan menggunakan Apollo 11.

Kasus Nyata

Pendaratan dilakukan pada satelit yang mengorbit Bulan yang mengalami degradasi pada sistem, tidak bisa lagi mengatasi gangguan dari konsentrasi massa bulan untuk mempertahankan orbitnya.

Rangkuman

1. Ada dua teori pokok mengenai asal mula Bulan. Yang pertama memandang bahwa dahulu bulan merupakan bagian Bumi dan terpisahkan dari Bumi oleh kekuatan pasang air atau oleh daya tarik gravitasi dari sebuah bintang yang lewat. Teori kedua menekankan bahwa Bumi dan Bulan terbentuk pada waktu yang hampir bersamaan dari suatu timbunan materi dingin, yang pada waktu itu berkeliling di sekitar Matahari.
2. Permukaan bulan dipenuhi oleh kawah-kawah yang ukurannya bermacam-macam. Bentuknya bulat dengan sisi yang meninggi dan beberapa kawah mempunyai puncak-puncak di tengah. Banyak kawah saling bertumpang-tindih dengan kawah lain dan mungkin terdapat dalam *maria* dan pada rangkaian gunung. Beberapa kawah muncul yang diisi oleh lava, yang lainnya tertimbun oleh aliran debu.
3. Sifat Fisis Bulan, yaitu jarak rata-rata Bulan dari Bumi adalah 385.000 km atau $\frac{1}{375}$ jarak rata-rata Bumi-Matahari, atau juga 60 jari-jari Bumi. Diameter bulan adalah 3.480 km, sekitar $\frac{1}{4}$ diameter Bumi. Bulan memantulkan rata-rata hanya 7 persen cahaya Matahari yang jatuh secara vertikal di atasnya. Persentase cahaya yang dipantulkan oleh Bulan dikenal sebagai *albedonya*. Suhu Bulan 100°C bila di Bulan tengah hari, dengan Matahari langsung di atas kepala, sedangkan pada malam hari suhu bulan turun sampai sekitar -116°C .
4. Ada tiga macam gerakan yang dilakukan oleh bulan sekaligus, yaitu bulan bergerak atau beredar mengelilingi Bumi. Sambil melakukan putaran dan peredaran tersebut (1 dan 2) bulan bersama-sama dengan Bumi bergerak mengelilingi Matahari. Bulan berotasi pada sumbunya secara lambat.
5. Jika bulan pada suatu waktu berada di suatu titik yang searah dengan suatu bintang tetap tertentu di langit, jangka waktu ini disebut Bulan *sideris*. Waktu peredaran ini disebut waktu peredaran sideris bulan. Peredaran bulan dari Bulan baru

ke bulan baru berikutnya seperti itu juga disebut peredaran sinodis.

6. Perubahan fase Bulan disebabkan oleh perubahan posisi relatif bulan, Matahari, dan Bumi. Pada saat bulan tampak terang kepada kita di Bumi itu hanya sebagian Bulan yang di sinari Matahari.
7. Aspek bulan yang mudah dilihat yaitu hal-hal sebagai berikut: Konjungsi yaitu kedudukan Bulan searah dengan Matahari. Operasi yaitu kedudukan bulan berlawanan arah dengan Matahari dilihat dari Bumi. Kuartet yaitu pada saat Bulan menepati kedudukan tegak lurus terhadap garis penghubung Bumi Matahari. Fase orbit dan (*creasen*) dan benjol (*gibbous*).
8. Bulan memiliki tiga librasi, yaitu: librasi dalam garis lintang, librasi dalam garis membujur, dan librasi paralaks. Perubahan fase bulan secara periodik digunakan untuk melakukan perhitungan penanggalan atau kalender yang dikenal sebagai tarikh Bulan.
9. Kata “eklipse” (gerhana) berasal dari bahasa Yunani *ekleipsis*, yang berarti peninggalan “atau” pelalaian. Gerhana disebabkan oleh bayangan Bumi dan bulan yang besar sekali, kedua benda langit ini gelap. Umbra adalah daerah bayang sempurna/penuh yang muncul di Bumi sebagai suatu gerhana sempurna. Penumbra adalah daerah bayangan sebagian.
10. Terdapat tiga jenis gerhana Matahari, yaitu gerhana matahari total, cincin, dan gerhana Matahari sebagian.
11. Perbedaan antara gerhana Matahari dan gerhana Bulan yaitu sebagai berikut:
 - a. Gerhana Matahari kemungkinan terjadinya pada saat bulan baru, sedangkan gerhana Bulan waktu Bulan purnama.
 - b. Waktu terjadi gerhana Matahari, Matahari masih tetap bersinar seperti biasa, tetapi sebagian dari sinarnya di-

hempang oleh bulan sebelum sampai di Bumi. Waktu terjadi gerhana Bulan, bulan (atau sebagian dari Bulan) tidak bersinar sama sekali, karena tidak menerima dan tidak memantulkan sinar Matahari.

- c. Gerhana Matahari hanya dialami (dilihat) oleh seluruh bagian dari Bumi yang sedang mengalami malam.
- d. Gerhana Matahari untuk satu tempat paling lama berlangsung dalam 2 jam, dan untuk seluruh bagian yang dapat mengalami gerhana itu paling lama 6 jam.
- e. Kemungkinan terjadinya gerhana Matahari lebih besar daripada terjadinya gerhana bulan.
- f. Jumlah banyaknya terjadi gerhana Matahari lebih besar daripada jumlah banyaknya gerhana Bulan di suatu periode pada seluruh Bumi.
- g. Gerhana Matahari dapat terjadi: Berbangun tak sempurna (kemudian selesai). Mula-mula tak sempurna, kemudian sempurna, lalu tak sempurna, selesai. Mula-mula tak sempurna, kemudian berbentuk gelang, lalu tak sempurna lagi, selesai. Gerhana bulan mungkin berbangun tak sempurna, (kemudian selesai). Mula-mula tak sempurna, sempurna, dan kemudian tak sempurna, selesai.

15

Satelit

Tujuan Instruksional:

1. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian dari satelit.
2. Mahasiswa mampu menjelaskan satelit apa saja yang terdapat pada masing-masing planet yang ada di luar angkasa.

A. Pengertian Satelit

Menurut Endarto (2005: 30), “Satelit berarti pengikut. Yang dimaksud dengan istilah satelit di sini adalah benda langit yang merupakan pengikut planet”. Pada bagian ini akan dibicarakan satelit alam, yang terbentuk secara alami. Terbentuknya bersama-sama dengan proses pembentukan planet. Karena massanya lebih kecil dan berlokasi dalam lingkungan gravitasi planet tertentu, satelit itu beredar mengelilingi planet tersebut.

Dewasa ini istilah satelit digunakan juga untuk benda buatan manusia yang diorbitkan mengelilingi Bumi kita. Yang kedua ini kita namakan satelit buatan.

Tidak semua planet memiliki satelit. Banyak satelit yang pada tiap planet pun berbeda-beda. Perhatikan Tabel 15.1 di bawah ini yang berisi nama-nama satelit serta jumlah satelit tiap planet dalam tata surya. Perbedaan jumlah satelit dengan nama-nama satelit itu karena nama-nama satelit yang baru belum tercatat atau mungkin belum diberi nama.

TABEL 15.1 Daftar Nama Dan Jumlah Satelit dalam Tata Surya

No.	Planet	Nama Satelit	Jumlah Satelit
1.	Merkurius		
2.	Venus		
3.	Bumi	Bulan/ Luna	1
4.	Mars	Phobos dan Demos	2
5.	Yupiter	Metis, Andresta, Almathea, Thebe, Io, Europa, Ganymede, Calistio, Leda, Himalia, Lysithea, Elara, Anananke, Carme, Pasiphea, Sinope, dan tiga lagi belum diberi nama.	16
6.	Saturnus	Atlas, 1980 S27, 1980 S26 Euphemetheus, Janus, Mimas, Enceladus, Tethys, Teles-to, Calypso, Dione, 1980 S5, Rhea, Titan, Hyperion, Iapetus, Phoebe, dan satu lagi belum diberi nama.	18
7.	Uranus	Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, Miranda, dan 10 lagi belum bernama.	15
8.	Neptunus	Triton, Nereid, enam lagi belum diberi nama.	8
9.	Pluto	Charon	1
	Jumlah semua		61

Jembatan Keledai : MERI VEBI MAJU SATU (UNO)

Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Yupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, Pluto

Data di atas merupakan hasil pencatatan terakhir, setelah mendapat tambahan dari hasil pengamatan kendaraan luar angkasa Viking, Pioneer, dan Voyager yang telah dan sedang menjelajah ruang antarplanet. Yang terakhir Voyager melalui Uranus dan berdasarkan hasil pemantauannya satelit Uranus ternyata ada 15 buah. Sebelum ini dicatat satelit Uranus hanya

lima buah. Neptunus dan Pluto pada 1989 belum dicapai. Oleh karena itu, jika nanti ada penemuan baru yang di bawa Voyager atau kendaraan luar angkasa lainnya tentang satelit pada planet-planet itu, berarti ada tambahan pada isi tabel di atas.

Galileo Galilie dengan teleskopnya yang sederhana menemukan empat satelit pada planet Yupiter. Itulah sebabnya empat satelit yang besar pada planet Yupiter dinamakan satelit Galilea (Galilean Satelit). Keempat satelit itu adalah Io, Eouropa, Ganymade, dan Calistio.

Pluto tampak dari Bumi mempunyai benjolan yang tempatnya berubah. Para ahli mengambil simpulan bahwa benjolan itu adalah satelit. Dengan demikian, dinyatakan bahwa Pluto mempunyai sebuah satelit.

Data tentang satelit lain hanya diperoleh jika pada perjalanan Voyager atau kendaraan angkasa lain lewat dekat satelit itu. Beberapa data yang diperoleh dengan cara demikian ialah bahwa Yupiter dan Neptunus juga memiliki cincin seperti Saturnus. Kemudian diketahui juga bahwa Io, salah satu dari satelit Yupiter merupakan satelit yang sangat vulkanik.

B. Satelit Mars

Penemuan satelit Mars, Phobos dan Deimos, terjadi di 1877 ketika ahli astronomi asal Amerika Serikat bernama Asaph Hall, Sr. mengidentifikasi setelah pencarian lama, walaupun keberadaannya pernah di spekulasi sebelumnya.

Kemungkinan tentang adanya satelit Mars telah dispekulasi sebelum penemuan oleh Hall. Ahli astronomi Johannes Kepler (1571-1630) bahkan telah memprediksi nomor mereka dengan tepat, walaupun dengan logika yang salah: dia menulis bahwa jika Yupiter memiliki empat satelit yang diketahui dan Bumi memiliki satu, itu secara alamiah bahwa Mars seharusnya memiliki dua.

Mungkin diinspirasi oleh Kepler, sindiran Jonathan Swift, *Perjalanan Gulliver* (1726) merujuk ke dua satelit di dalam ba-

gian ke-3, bab ke-3 (“Perjalanan ke Laputa”), di mana para ahli ilmuwan dari Laputa dideskripsikan menemukan dua satelit Mars yang mengorbit pada jarak 3 dan 5 diameter Mars, dan dengan periode 10 dan 21,5 jam. Ini terkait dengan jarak orbit dan periode nyata dari Phobos dan Deimos masing-masing dengan 1,4 dan 3,5 diameter Mars, dan 7,6 dan 30,3 jam. Prediksi Swift dinyatakan sebagai kebetulan karena tidak ada teleskop di kehidupan Swift yang mampu menemukan satelit. Cerita pendek Voltaire pada 1750 *Micromégas*, tentang kunjungan alien ke Bumi, juga merujuk ke dua satelit dari Planet Mars. Cerita pendek Voltaire diyakini dipengaruhi oleh Swift. Dari pengakuan ‘prediksi’ tersebut, dua kawah di Deimos dinamakan Swift dan Voltaire.

Hall menemukan Deimos pada 12 Agustus, 1877 sekitar 07:48 UTC dan Phobos pada 18 Agustus, 1877, pada observatorium angkatan laut Amerika Serikat di Washington, DC, sekitar 09:14 GMT (sumber kontemporer, dengan menggunakan pra-konvensi astronomi 1925 yang dimulai pada siang hari, yang memberikan waktu penemuan sebagai 11 Agustus, 14:40 dan 17 Agustus 16:06 masing-masing Waktu lokal Washington). Pada saat itu, ia sengaja mencari satelit Mars. Hall sebelumnya melihat adanya satelit Mars pada 10 Agustus, namun karena cuaca buruk, ia tidak dapat mengidentifikasi mereka dengan definitif sampai nanti.

Nama, awalnya masing-masing dieja *Phobus* dan *Deimus*, yang diusulkan oleh Henry Madan (1838-1901), *Master of Science Eton*, dari Buku Ke-16 dari Iliad, di mana Ares dan bertakwalah; Fear and Fright.

C. Satelit Yupiter

Yupiter memiliki 67 satelit alami. Dari satelit-satelit tersebut, diameter 51 satelit tercatat kurang dari 10 kilometer dan baru

ditemukan setelah tahun 1975. Empat satelit terbesar Jupiter, yang dijuluki satelit-satelit Galileo, yaitu Io, Europa, Ganymede, dan Callisto.

Orbit-orbit Io, Europa, dan Ganymede membentuk pola yang disebut resonansi Laplace; setiap kali Io menyelesaikan empat orbit Jupiter, Europa menyelesaikan dua orbit, dan Ganymede menyelesaikan satu orbit. Resonansi ini membuat efek gravitasi satelit-satelit tersebut mengubah orbitnya menjadi berbentuk elips karena masing-masing satelit menerima tarikan tambahan dari tetangganya setiap kali menyelesaikan satu orbit. Di sisi lain, gaya pasang surut dari Jupiter membulatkan orbit satelit-satelit ini.

Eksentrisitas orbit satelit-satelit ini merenggangkan bentuk ketiga satelit tersebut, sementara gravitasi Jupiter merenggangkannya saat sedang mendekati Jupiter dan bentuknya kembali lebih bulat saat menjauh. Perenggangan pasang surut ini memanaskan bagian dalam satelit-satelit akibat friksi. Hal inilah yang menyebabkan Io memiliki aktivitas vulkanik, walaupun efeknya juga dapat dilihat di permukaan Europa yang secara geologis muda (sehingga menunjukkan terjadinya pelapisan kembali).

TABEL 15.2 Satelit-satelit Galileo

Satelit-satelit Galileo dibandingkan dengan Bulan								
Nama	Diameter		Massa		Jari-jari orbit		Periode orbit	
	km	%	kg	%	km	%	hari	%
Io	3643	105	$8,9 \times 10^{22}$	120	421.700	110	1,77	7
Europa	3122	90	$4,8 \times 10^{22}$	65	671.034	175	3,55	13
Ganymede	5262	150	$14,8 \times 10^{22}$	200	1.070.412	280	7,15	26
Callisto	4821	140	$10,8 \times 10^{22}$	150	1.882.709	490	16,69	61

TABEL 15.3 Klasifikasi Satelit

Satelit-satelit reguler	
Kelompok dalam	Kelompok dalam terdiri dari empat satelit kecil dengan diameter kurang dari 200 km, mengorbit dari radii kurang dari 200.000 km, dan memiliki inklinasi orbit kurang dari setengah derajat.
Satelit-satelit Galileo ^[108]	Keempat satelit yang ditemukan oleh Galileo Galilei ini mengorbit dari jarak antara 400.000 hingga 2.000.000 km, dan beberapa anggotanya merupakan salah satu yang terbesar di tata surya.
Satelit-satelit ireguler	
Themisto	Satelit ini merupakan satelit yang termasuk dalam kelompoknya sendiri, dan mengorbit di antara satelit Galileo dan kelompok Himalia.
Kelompok Himalia	Kelompok satelit yang mengorbit dari jarak 11.000.000-12.000.000 km dari Jupiter.
Carpo	Satelit lain yang memiliki kelompoknya sendiri. Satelit ini mengorbit Jupiter secara prograd.
Kelompok Ananke	Satelit yang mengorbit secara retrograd ini memiliki batas yang kurang jelas, dengan rata-rata jarak 21.276.000 km dari Jupiter dan rata-rata inklinasi 149 derajat.
Kelompok Carme	Kelompok dengan orbit retrograd dengan batas yang cukup jelas dengan rata-rata jarak 23.404.000 km dari Jupiter dan rata-rata inklinasi 165 derajat.
Kelompok Pasiphaë	Kelompok retrograd yang tersebar dan terdiri dari satelit-satelit terluar.

D. Satelit Saturnus

Saturnus memiliki 59 satelit alami, 48 di antaranya memiliki nama. Banyak satelit Saturnus yang sangat kecil, di mana 33 dari 50 satelit memiliki diameter lebih kecil dari 10 kilometer, dan 13 satelit lainnya memiliki diameter lebih kecil dari 50 km. Tujuh

satelit lainnya cukup besar untuk, di mana satelit tersebut adalah Titan, Rhea, Iapetus, Dione, Tethys, Enceladus, dan Mimas. Titan adalah satelit terbesar, lebih besar dari planet Merkurius dan satu-satunya satelit di atmosfer yang memiliki atmosfer yang tebal. Hyperion dan Phoebe adalah satelit terbesar lainnya, dengan diameter lebih besar dari 200 km.

Di Titan, satelit terbesar Saturnus, satelit Desember tahun 2004 dan satelit Januari tahun 2005 banyak foto Titan diambil oleh Cassini-Huygens. Satu bagian dari satelit ini, yaitu Huygens mendarat di Titan.

E. Satelit Uranus

Uranus memiliki 27 satelit alam yang telah diketahui. Nama bagi satelit-satelit ini dipilih dari karakter karya Shakespeare dan Alexander Pope. Lima satelit utamanya adalah Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, dan Oberon. Sistem satelit Uranian adalah yang paling kurang masif di antara raksasa gas; memang, massa gabungan kelima satelit utamanya itu pun hanya kurang dari setengah massa Triton. Satelit yang terbesar, Titania, radiusnya hanya 788,9 km, atau kurang dari setengah jari-jari Bulan, tetapi sedikit lebih besar daripada Rhea, satelit kedua terbesar Saturnus, menjadikan Titania satelit berukuran terbesar kedelapan dalam tata surya. Satelit itu memiliki albedo yang relatif rendah; berkisar dari 0,20 untuk Umbriel hingga 0,35 untuk Ariel (dalam cahaya hijau). Satelit itu merupakan kumpulan es-batu yang kira-kira terdiri lima puluh persen es dan lima puluh persen batu. Es itu mungkin termasuk amonia dan karbon dioksida.

Di antara satelit-satelit itu, Ariel tampak memiliki permukaan termuda dengan kawah tabrakan paling sedikit, sedangkan Umbriel tampaknya yang tertua. Miranda memiliki ngarai patahan sedalam 20 kilometer, lapisan-lapisan berpetak dan variasi yang kacau dalam umur dan fitur permukaan. Aktivitas geologis Miranda pada masa lalu dipercaya didorong oleh pemanasan pasang-surut pada suatu ketika saat orbitnya lebih eksentrik

daripada sekarang, mungkin hasil dari resonansi orbital dengan Umbriel yang dahulu ada. Proses perenggangan yang diasosiasikan dengan diapir yang naik mungkin merupakan asal dari korona-korona yang mirip 'lintasan balap' di satelit itu. Sama dengan itu, Ariel dipercaya pernah berada dalam resonansi 4:1 dengan Titania.

F. Satelit Neptunus

Neptunus diketahui memiliki 13 satelit. Satelit terbesar terdiri dari 99,5 persen massa di orbit sekitar Neptunus dan satu-satunya yang berbentuk sferoid adalah Triton, ditemukan oleh William Lassell 17 hari setelah penemuan Neptunus. Tidak seperti satelit planet besar lain di tata surya, Triton memiliki orbit menghulu, yang menandakan bahwa Triton terjebak oleh gravitasi Neptunus, bukannya terbentuk di tempat; Triton diduga pernah menjadi planet kerdil di sabuk Kuiper. Triton sangat dekat dengan Neptunus sehingga terjebak dalam rotasi sinkronisnya, dan secara perlahan bergerak spiral ke dalam akibat akselerasi pasang dan akan terbelah dalam kurun 3,6 miliar tahun ketika Triton mencapai batas Roche. Pada 1989, Triton merupakan benda terdingin yang pernah diukur di tata surya, dengan perkiraan suhu sekitar -235°C (38 K).

Satelit kedua Neptunus (menurut urutan penemuannya), yaitu satelit ireguler Nereid, memiliki salah satu orbit paling eksentrik di antara semua satelit di tata surya. Eksentrisitas sebesar 0,7512 memberikannya apoapsis tujuh kali lebih panjang daripada periapsisnya dari Neptunus.

Sejak Juli hingga September 1989, *Voyager 2* menemukan enam satelit Neptunus baru. Dari enam satelit tersebut, Proteus yang berbentuk ireguler terkenal sebagai benda padat besar yang tidak tertarik menjadi bentuk sferoid akibat gravitasinya sendiri. Meski merupakan satelit terbesar kedua Neptunus, massa Proteus hanya 0,25 persen dari massa Triton. Orbit empat satelit terdalam Neptunus—Naiad, Thalassa, Despina dan Galatea—sa-

ngat dekat dengan cincin Neptunus. Satelit terjauh selanjutnya, Larissa, ditemukan pada 1981 ketika satelit ini mengokultasi sebuah bintang. Okultasi ini terjadi pada busur cincin, namun ketika *Voyager 2* mengamati Neptunus pada tahun 1989, okultasi ini dinyatakan terjadi akibat satelitnya. Lima satelit ireguler baru yang ditemukan antara tahun 2002 dan 2003 diumumkan pada tahun 2004. Karena Neptunus adalah dewa laut Romawi, satelit-satelit planet ini diberi nama sesuai nama dewa-dewa laut selanjutnya.

Neptunus tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, karena memiliki tingkat kecerahan antara magnitudo $+7,7$ dan $+8,0$, yang bisa dikalahkan oleh satelit Galileo Yupiter, planet kerdil Ceres dan asteroid 4 Vesta, 2 Pallas, 7 Iris, 3 Juno, dan 6 Hebe. Sebuah teleskop atau teropong kuat akan menunjukkan Neptunus sebagai lingkaran biru kecil, sama seperti Uranus.

Karena jarak Neptunus yang jauh dari Bumi, diameter sudut planet ini berkisar dari 2,2 hingga 2,4 detik busur, terkecil di antara planet-planet di tata surya. Ukuran semunya yang kecil menjadikan Neptunus sebagai planet yang paling menantang untuk dipelajari secara visual. Sebagian besar data teleskop sangat terbatas sampai peluncuran Teleskop Antariksa Hubble dan teleskop darat berukuran besar dengan optik adaptif.

Dari Bumi, Neptunus mengalami gerak mengholu setiap 367 hari, mengakibatkan terjadinya gerakan memutar berlawanan dengan bintang-bintang di belakangnya pada setiap oposisi. Gerakan memutar ini membawa Neptunus dekat dengan koordinat penemuan 1846 pada April dan Juli 2010 dan akan terjadi lagi pada Oktober dan November 2011.

Pengamatan Neptunus pada gelombang frekuensi radio memperlihatkan bahwa planet ini adalah sumber emisi bersinambungan dan semburan tidak menentu. Kedua sumber diyakini berasal dari putaran medan magnet planet. Di bagian inframerah spektrumnya, badai Neptunus terlihat lebih cerah dibandingkan sekitarnya yang lebih dingin, sehingga memung-

kinkan ukuran dan bentuk fitur-fitur planet ini siap dilacak.

Studi Kasus

Sun outage atau yang juga bisa disebut gerhana satelit, adalah kondisi gangguan atau distorsi dari geostasioner satelit sinyal yang disebabkan oleh gangguan dari radiasi Matahari, saat itu kondisi yang terjadi adalah pada saat Bumi-satelit-Matahari berada dalam satu garis lurus. Efeknya adalah karena radiasi Matahari yang mengganggu sinyal satelit.

Kasus Nyata

Kasus di atas merupakan peristiwa alami yang terjadi di Bumi akibat radiasi Matahari. Sehingga satelit yang ada di Indonesia seperti Satelit Palapa D, Satelit Telkom-1, Satelit Telkom-2, dan Palapa C-2 harus mengalami gangguan selama 10 menit sampai 15 menit. Agar tidak terjadi gangguan, maka harus adanya pengaturan jarak satelit terhadap suatu planet ke Matahari untuk menghindari pengaruh radiasi matahari.

Rangkuman

Satelit di sini adalah benda langit yang merupakan pengikut planet. Jumlah satelit planet yang ada di angkasa tercatat jumlahnya sebanyak 61 buah. Satelit empat satelit yang besar pada planet Yupiter dinamakan satelit Galilea adalah Io, Eouropa, Ganymade, dan Calistio.

16

Penerbangan ke Angkasa Luar

Tujuan Instruksional:

1. Mahasiswa mampu mendeskripsikan tentang luar angkasa.
 2. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian dari luar angkasa.
 3. Mahasiswa mampu menjelaskan tentang penerbangan pesawat ulang-alik, roket, dan komunikasi satelit di luar angkasa.
 4. Mahasiswa dapat mengetahui siapa saja yang pernah berjalan di luar angkasa.
 5. Mahasiswa dapat mengetahui stasiun yang ada di luar angkasa.
 6. Mahasiswa dapat menjelaskan probe yang ada di luar angkasa.
-

Semenjak zaman dahulu kala, manusia sudah terpesona dengan keindahan langit malam, Bulan, dan Matahari. Tidak ada manusia yang tidak terpukau ketika menemukan dirinya berada di bawah bentangan lautan bintang. Baik yang terang maupun yang redup. Menurut orang Yunani, bintang terang itu adalah bintang pengembara atau yang disebut dengan planet. Di saat kita mengamati benda-benda langit seperti Matahari, Bulan, maupun bintang, maka secara tidak langsung kita sudah mengamati benda-benda angkasa luar. Meskipun diamati dari jarak yang sangat jauh.

Manusia adalah makhluk yang selalu ingin tahu. Setelah berhasil mengamati langit melalui teleskop, manusia pun berkeinginan untuk dapat terbang ke langit. Amerika Serikat dan Uni Soviet (Rusia) adalah dua negara yang saling berlomba untuk menjadi negara pertama yang menjangkau ruang angkasa.

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka para ilmuwan mengadakan penelitian-penelitian angkasa luar untuk mengamati benda langit dari tempat yang le-

bih dekat, maka diciptakan alat yang dapat dilontarkan ke luar angkasa untuk mendekati benda-benda langit. Untuk melontarkan satelit buatan, maka dibutuhkan alat pendorong atau roket yang sangat kuat agar satelit dapat terlepas dari pengaruh gaya gravitasi Bumi.

Karena terdorong untuk mengenal dan memanfaatkan ruang angkasa, manusia melakukan berbagai penelitian tentang ruang angkasa. Adapun biasanya tujuan penelitian tersebut antara lain untuk pengembangan ilmu pengetahuan, komunikasi, peluncuran satelit, dan lain-lain.

Penelitian-penelitian ruang angkasa dilakukan dengan meluncurkan pesawat-pesawat ruang angkasa. Di ruang angkasa, pesawat-pesawat tersebut mengorbit Bumi. Karena untuk mencapai ruang angkasa diperlukan kecepatan yang sangat tinggi, pesawat ruang angkasa harus dilengkapi dengan roket peluncur yang kuat.

A. Angkasa Luar

Angkasa luar atau antariksa merupakan daerah di atas permukaan Bumi yang bebas dari pengaruh gravitasi Bumi. Daerah ini berada kira-kira 3.000 km di atas permukaan Bumi. Luar angkasa atau angkasa luar atau antariksa (juga disebut sebagai angkasa), merujuk ke bagian yang relatif kosong dari jagat raya, di luar atmosfer dari benda "*celestial*". Istilah luar angkasa digunakan untuk membedakannya dengan ruang udara dan lokasi "*terrestrial*".

Karena atmosfer Bumi tidak memiliki batas yang jelas, namun terdiri dari lapisan yang secara bertahap semakin menipis dengan naiknya ketinggian, tidak ada batasan yang jelas antara atmosfer dan angkasa. Ketinggian 100 kilometer atau 62 mil ditetapkan oleh Federation Aeronautique Internationale merupakan definisi yang paling banyak diterima sebagai batasan antara atmosfer dan angkasa.

Adapun batasan menuju angkasa dan hal-hal yang mencirikananya sebagai batasan menuju angkasa sebagai berikut:

1. 4,6 km (15.000 kaki), FAA menetapkan dibutuhkannya bantuan oksigen untuk pilot pesawat dan penumpangnya pada ketinggian ini.
2. 5,3 km (17.400 kaki, setengah atmosfer Bumi berada di bawah ketinggian ini.
3. 16 km (52.500 kaki), pada ketinggian ini, kabin bertekanan atau pakaian bertekanan dibutuhkan.
4. 18 km (59.000 kaki), merupakan batasan atas dari troposfer.
5. 20 km (65.600 kaki), air pada suhu ruangan akan mendidih tanpa wadah bertekanan (kepercayaan tradisional yang menyatakan bahwa cairan tubuh akan mulai mendidih pada titik ini adalah salah karena tubuh akan menciptakan tekanan yang cukup untuk mencegah pendidihan nyata).
6. 24 km (78.700 kaki), pada ketinggian ini, sistem tekanan pesawat biasa tidak lagi berfungsi.
7. 32 km (105.000 kaki), pada ketinggian ini, turbojet tidak lagi berfungsi.
8. 45 km (148.000 kaki), pada ketinggian ini, ramjet tidak lagi berfungsi.
9. 50 km (164.000 kaki), merupakan batas akhir dari stratosfer.
10. 80 km (262.000 kaki), merupakan batas akhir dari mesosfer.
11. 100 km (328.000 kaki), pada ketinggian ini, permukaan aerodinamika tidak lagi berfungsi.

Kesalahan pengertian umum tentang batasan ke angkasa adalah orbit. Orbit membutuhkan kecepatan orbit dan secara teoretis dapat terjadi pada ketinggian berapa saja. Gesekan atmosfer dapat mencegah sebuah orbit yang terlalu rendah.

Ketinggian minimal untuk orbit stabil dimulai sekitar 350 km (220 mil) di atas permukaan laut rata-rata, jadi untuk melakukan penerbangan angkasa orbital nyata, sebuah pesawat harus terbang lebih tinggi dan (yang lebih penting) lebih cepat dari yang

dibutuhkan untuk penerbangan angkasa sub-orbital.

Mencapai orbit membutuhkan kecepatan tinggi. Sebuah pesawat belum mencapai orbit sampai ia memutari Bumi begitu cepat, sehingga gaya sentrifugal ke atas membatalkan gaya gravitasi ke bawah pesawat. Setelah mencapai di luar atmosfer, sebuah pesawat memasuki orbit harus berputar ke samping dan melanjutkan pendorongan roketnya untuk mencapai kecepatan yang dibutuhkan. Untuk orbit Bumi rendah, kecepatannya sekitar 7,9 km/s (28.400 km/jam-18.000 mil/jam). Oleh karena itu, mencapai ketinggian yang dibutuhkan merupakan langkah pertama untuk mencapai orbit.

Energi yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan untuk orbit Bumi rendah 32 MJ/kg sekitar dua puluh kali energi yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian dasar 10 kJ/km/kg.

B. Pesawat Ulang-Alik, Rocket, dan Satelit Komunikasi

1. Pesawat ulang-alik



GAMBAR 16.1 Pesawat Ulang-alik

Pesawat ulang alik adalah pesawat ruang angkasa yang digunakan beberapa kali untuk penerbangan ke luar angka-

sa. Pesawat ulang-alik (bernama resmi: *Space Transportation System* atau STS; lebih populer dengan *NASA's Space Shuttle* atau *Space Shuttle* saja) adalah pesawat luar angkasa milik Amerika Serikat yang digunakan dalam misi penerbangan luar angkasa berawak. Pesawat ulang-alik tidak seperti pesawat luar angkasa lainnya, badan utama pesawat ulang-alik dapat digunakan kembali di lain waktu. Pesawat jenis ini hanya dimiliki oleh NASA badan antariksa Amerika dalam beberapa jenis.

Orbiter pesawat ulang-alik berukuran sebesar pesawat terbang kecil. Panjangnya 37 m dan rentang sayapnya 24 m. Pesawat ulang-alik memiliki yang terdiri atas dua pilot dan hingga lima astronot. Pesawat ini diluncurkan dengan bantuan dua roket pendorong dan tangki bahan bakar eksternal, yang memasok bahan bakar untuk tiga mesin besar di bagian ekor orbiter.

Pesawat ulang-alik NASA bisa dikatakan merupakan pesawat luar angkasa pertama yang dirancang agar dapat dipakai kembali sebagian. Pesawat ulang-alik pertama diluncurkan pada 1981, diwakili oleh Jhon Young dan Bob Crippen. Astronot ulang-alik tertua adalah Jhon Glenn, berusia 77 tahun. Ia adalah orang Amerika Serikat pertama yang mengorbit di ruang angkasa pada 1962.

Sejak 1981, ada lebih dari 100 misi pesawat ulang-alik. Pesawat ini bertugas untuk membawa berbagai muatan (biasanya satelit) ke berbagai orbit Bumi (biasanya orbit rendah), penggantian awak ISS, Stasiun Luar Angkasa Internasional, dan untuk misi servis. Terkadang pesawat ini juga dapat mengambil kembali satelit untuk dikembalikan ke Bumi.

Pesawat ulang-alik yang pertama adalah *Enterprise*, yang sebenarnya merupakan wahana uji terbang. Pesawat berikutnya adalah *Columbia*, *Challenger*, *Discovery*, dan *Atlantis*. *Challenger* telah hancur ketika proses peluncuran pada tahun 1986, dan akhirnya dibuat *Endeavour* sebagai penggantinya. Adapun *Columbia* hancur ketika proses memasuki atmosfer Bumi pada tahun 2003.

NASA telah mengumumkan untuk memberhentikan armada pesawat luar angkasanya pada tahun 2010 dan akan menggantinya dengan *Orion*, pesawat baru yang dirancang dapat mengangkut manusia menuju Bulan dan bahkan objek angkasa yang lebih jauh lagi.

2. Roket



GAMBAR 16.2 Roket

Roket merupakan wahana luar angkasa, peluru kendali, atau kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi roket terhadap keluarnya secara cepat bahan fluida dari keluaran mesin roket. Aksi dari keluaran dalam ruang bakar dan *nozle* pengembang, mampu membuat gas mengalir dengan kecepatan hipersonik sehingga menimbulkan dorongan reaktif yang besar untuk roket (sebanding dengan reaksi balasan sesuai dengan Hukum Pergerakan Newton ke-3). Sering kali definisi roket digunakan untuk merujuk kepada mesin roket.

Roket bermula untuk penggunaan militer dan rekreasi pada abad ke-13 Masehi. Penggunaan roket secara intensif untuk

militer, industri dan ilmu pengetahuan dimulai pada awal abad ke-20, di mana teknologi peroketan mampu mengantarkan umat manusia menuju era ruang angkasa, termasuk mengantarkan manusia menginjakkan kakinya ke Bulan.

Pada 1919, fisikawan Amerika Serikat yang bernama Robert Goddard mengusulkan penggunaan roket untuk mengirimkan benda ke tempat yang lebih tinggi, bahkan hingga ke Bulan.

Raket digunakan untuk kembang api, persenjataan, kursi penyelamat, kendaraan peluncur untuk satelit buatan, kendaraan luar angkasa, dan eksplorasi ke planet lain. Walaupun kurang efisien di kecepatan rendah, roket mampu memberikan akselerasi luar biasa dan mencapai kecepatan sangat tinggi dengan efisiensi yang bisa diterima.

Kebanyakan roket saat ini adalah roket kimia. Roket kimia menyimpan sejumlah besar energi dalam bentuk yang mudah dilepaskan dan bisa sangat berbahaya, tetapi desain, tes, pembuatan, dan penggunaan yang berhati-hati bisa meminimalkan risiko. Mesin roket ini memerlukan bahan bakar padat atau cair, seperti bahan bakar cair *booster*/penguat pesawat ulang-alik dan mesin utamanya yang digunakan untuk melepaskan diri dari gravitasi Bumi. Reaksi kimia dimulai di ruang bakar dengan bahan bakar (dengan udara atau oksigen bila di ruang angkasa) dan gas panas yang dihasilkan mengalir dengan tekanan tinggi keluar melalui saluran yang menuju ke arah belakang roket. Tekanan gas yang menyembur keluar inilah yang menghasilkan gaya dorong bagi roket sehingga roket dapat bergerak maju atau ke atas.

Terdapat konsep jenis roket lain yang semakin sering digunakan di luar angkasa adalah pendorong ion, yang menggunakan energi elektromagnet bukan tenaga dari reaksi kimia. Roket termal nuklir juga telah dibangun, tetapi tidak pernah digunakan.

Ukuran roket berbeda dari model kecil yang bisa dibeli sebagai kembang api, atau roket hobi, sampai yang berukuran be-

sar Saturn V yang digunakan untuk program Apollo.

3. Satelit Komunikasi

Satelit komunikasi adalah alat yang diluncurkan ke angkasa luar dan bertujuan mempermudah komunikasi jarak jauh (radio, televisi, telepon) dan untuk memantau cuaca dan keadaan angkasa luar. Satelit komunikasi Indonesia yang pertama adalah satelit komunikasi Palapa. Satelit komunikasi Palapa ditempatkan pada ketinggian 35.000-36.000 km di atas permukaan Bumi.

1. Generasi pertama satelit Palapa yang diluncurkan adalah Palapa A-1 yang diluncurkan di Florida, Amerika Serikat dengan roket Delta tahun 1976.



GAMBAR 16.3 Palapa A-1

2. Setelah itu yang diluncurkan adalah Satelit Palapa A-2, yaitu pada 10 Maret 1977.
3. Generasi kedua yang diluncurkan adalah satelit Palapa B-1 pada 1983 oleh pesawat ulang-alik Challenger, dan berikutnya satelit Palapa B-2. Namun karena satelit Palapa B-2 gagal, diluncurkanlah satelit Palapa B-2P.



GAMBAR 16.4 Palapa A-2



GAMBAR 16.5 Palapa B-1

4. Generasi ketiga yang diluncurkan adalah satelit Palapa C-1 pada tanggal 31 Januari 1996 di Kennedy Space Center, Amerika Serikat dan C-2 yang diluncurkan tanggal 15 Mei 1996 di Kourou, Guyana Prancis.



GAMBAR 16.6 C-1

5. Satelit Telkom-2 pada tahun 16 November 2005.



GAMBAR 16.7 Telkom-2

6. Satelit Inasat-1 adalah satelit pertama yang dibuat dan di desain sendiri oleh Indonesia dan dibuat oleh LAPAN.

7. Satelit Lapan-Tubsat adalah satelit mikro yang dibuat oleh LAPAN untuk memantau kondisi di Bumi salah satu contohnya memantau gunung meletus, dan lain-lain.



GAMBAR 16.8 Lapan-Tubsat

8. Satelit indostar II yang diluncurkan 16 Mei 2009.
9. Satelit Palapa D yang diluncurkan tahun 2009 sebagai satelit komunikasi Indonesia.

4. Manusia yang Berjalan di Luar Angkasa

Berjalan di luar angkasa (*Space Walk*) merupakan aktivitas yang dilakukan oleh astronot di luar pesawat ketika mereka sedang mengorbit di luar Bumi. Disebut juga sebagai *Extra-vehicular activity* alias beraktivitas di luar kendaraan luar angkasa.

Aktivitas di luar angkasa ini menjadi kompetisi tersendiri bagi astronot-astronot, karena memiliki tantangan dan bahaya tersendiri. Lalu, siapa sajakah yang pertama kali berjalan di luar pesawat ketika sedang mengorbit di luar Bumi? Inilah daftarnya yang dikutip dari unikgaul.com.

a. Alexey Leonov

Pemilik nama lengkap Alexey Arkhipovich Leonov ini dilahirkan di Listvyanka, Kemerovo Oblast, Uni Soviet pada 30 Mei 1934. Dia pensiun dari astronot Rusia dan berpangkat terakhir Mayor Jenderal di Angkatan Udara. Pada 18 Maret 1965, Leonov menjadi manusia pertama di dunia yang berjalan di luar angkasa.



Dia berada di luar pesawatnya itu selama 12 menit 9 detik. Leonov sendiri merupakan satu dari 20 pilot Angkatan Udara Soviet yang terpilih menjadi astronot pada 1960. Perjalanannya ke luar angkasa rencananya untuk 11 misi menggunakan pesawat Vostok. Namun semua itu dibatalkan dan hanya menyisakan 1 misi yang membuatnya menjadi salah satu manusia paling dikenang dalam sejarah dunia penerbangan luar angkasa.

b. Edward Higgins White

Manusia kedua yang berjalan di luar angkasa adalah Edward Higgins White melalui misi Gemini 4. Meskipun manusia kedua, tetapi dalam sejarah penerbangan luar angkasa Amerika, dia adalah manusia pertama yang berjalan di luar pesawatnya ketika mengorbit di atas Bumi pada 3 Juni 1965. Pria kelahiran 14 November 1930 ini merupakan teknisi sekaligus perwira Angkatan Udara Amerika Serikat Berpangkat Let-



nan Kolonel. Meskipun begitu, umurnya tidak panjang.

Dia meninggal pada kecelakaan ujian pra-peluncuran misi Apollo di Tanjung Kennedy pada 27 Januari 1967. Dia meninggal bersama rekan astronot Amerika Serikat lainnya, yaitu Gus Grissom dan Roger Chaffee. Atas prestasinya dalam bidang penerbangan luar angkasa, White dianugerahi Medali Pelayanan Terhormat NASA untuk penerbangan Gemini 4 dan penghargaan anumerta pada Medali Kehormatan Kongres Luar Angkasa.

c. Eugene Cernan

Terlahir 14 Maret 1934, Eugene Andrew Cernan merupakan pensiunan perwira Angkatan Laut Amerika Serikat dan mantan astronot dan teknisi NASA. Cernan telah bepergian ke luar angkasa sebanyak tiga kali, yaitu pada Juni 1966 sebagai pilot Gemini 9A, pilot modul Bulan di Apollo 10 pada Mei 1969, dan sebagai komandan Apollo 17 pada Desember 1972. Cernan juga membantu anggota kru untuk misi Gemini 12, Apollo 7, dan Apollo 14. Lulusan Teknik Elektro ini merupakan manusia ketiga dalam sejarah manusia yang berjalan di luar angkasa ketika pesawatnya sedang mengorbit jauh di atas Bumi.



d. Michael Collins

Warga Amerika kelahiran Roma, Italia, 31 Oktober 1930 ini, merupakan mantan astronot Amerika dan pilot. Michael Collins terpilih sebagai bagian dari tiga grup yang terdiri atas 14 astronot pada 1963. Collins sendiri terbang ke luar angkasa sebanyak dua kali.



Penerbangan pertamanya bersama Gemini 10 dan dia berjalan di luar angkasa ketika dua pesawat luar angkasa yang berbeda mencoba bersatu di atas Bumi. Kemudian perjalanan keduanya ke luar angkasa ketika dia menjadi komando pilot modul untuk Apollo 11. Ketika dia mengorbit di atas Bulan, Neil Armstrong bersama Buzz Aldrin membuat sejarah dengan berjalan di atas permukaan Bulan. Collins sendiri merupakan satu dari 24 manusia yang pernah terbang di atas Bulan.

e. Richard F. Gordon, Jr.

Pensiunan astronot NASA ini dilahirkan pada 5 Oktober 1929 dan berpangkat kapten. Richard F. Gordon, Jr. merupakan satu dari 24 orang yang terbang di atas Bulan. Dirinya terpilih sebagai astronot pada Oktober 1963 dan terpilih sebagai pilot cadangan untuk penerbangan Gemini 8.



Pada September 1966, Gordon melakukan terbang perdana sebagai pilot untuk Gemini 11. Pada penerbangannya tersebut, Gordon berjalan di luar pesawatnya di atas permukaan Bumi sebanyak dua kali. Gordon pensiun dari NASA pada Januari 1972.

5. Stasiun Ruang Angkasa

Stasiun luar angkasa adalah sebuah satelit berawak yang dirancang untuk tetap berada di orbit rendah Bumi dalam jangka waktu yang panjang. Secara umum, stasiun ruang angkasa memiliki kemampuan agar pesawat ruang angkasa lainnya dapat berlabuh.

Stasiun ruang angkasa bisa digunakan untuk mempelajari efek dari penerbangan ruang angkasa jangka panjang pada tubuh manusia. Mereka juga berfungsi sebagai platform untuk

studi ilmiah yang panjang. Semua stasiun ruang angkasa telah dirancang dengan tujuan rotasi beberapa kru, dengan masing-masing anggota kru tinggal di stasiun selama beberapa minggu atau beberapa Bulan, tapi jarang yang lebih dari satu tahun.



GAMBAR 16.9 Stasiun Ruang Angkasa

Pada saat ini tercatat hanya Vladimir Titov, Musa Manarov, dan Valeriy Polyakov yang telah menyelesaikan sebuah misi terlama di stasiun ruang angkasa, mereka berada di stasiun ruang angkasa *Mir* milik Uni Soviet yang kemudian Rusia selama lebih dari satu tahun.

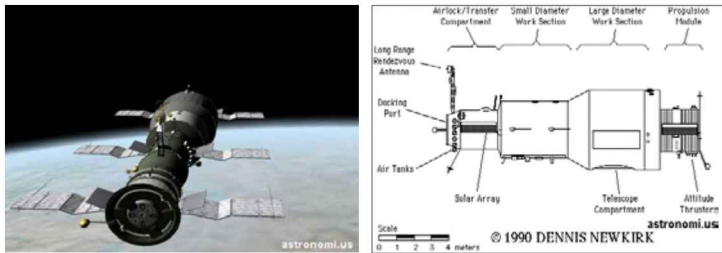
Manusia bisa tinggal di stasiun ruang angkasa. Rusia telah meluncurkan delapan stasiun ruang angkasa, tujuh stasiun *Salyut* dan *Mir*. Amerika Serikat menggunakan roket dan pesawat sisa misi Apollo untuk dijadikan stasiun ruang angkasa *Skylab*. Saat ini, Rusia, Amerika Serikat dan negara lain bekerja sama membangun Stasiun Ruang Angkasa Internasional/ *International Space Station (Freedom)*. Stasiun ruang angkasa memungkinkan para ilmuwan melakukan observasi jangka panjang dan mempelajari cara manusia beradaptasi di ruang angkasa untuk periode yang panjang.

6. Stasiun Ruang Angkasa *Salyut*

Salyut diluncurkan oleh Uni Soviet pada tahun 1971 dan merupakan stasiun ruang angkasa pertama di dunia. Pada umumnya bagian stasiun ruang angkasa *Salyut* berukuran panjang 13, lebar 4,2 m, dan berbobot 19 ton. *Salyut* 1-5 memiliki satu gelanggang yang bisa memuat pesawat ruang angkasa. *Salyut* 6 dan 7 memiliki dua gelanggang pesawat dan bisa mengisi ulang bahan bakar sehingga memungkinkan keduanya mene-

tap lebih lama di orbit. *Salyut 7* menghabiskan waktu hampir 9 tahun di orbit.

a. Salyut 1



GAMBAR 16.10 Salyut 1

Salyut 1 merupakan stasiun luar angkasa tak berawak pertama buatan manusia yang diluncurkan oleh Uni Soviet pada 19 April 1971. Salyut 1 bertugas mengumpulkan data astronomi dan meteorologi, dan memonitor sumber daya Bumi.

Salyut 1 dirancang berbentuk silinder berukuran panjang 20 meter dan lebar 4 meter. Panel surya terletak di sampingnya seperti sayap. Selama masa penggunaannya, Salyut 1 telah mengorbit Bumi sebanyak 3000 kali dan menghabiskan waktu 175 hari di luar angkasa sebelum akhirnya sengaja dijatuhkan di Samudera Pasifik pada 11 Oktober 1971.

b. Salyut 2

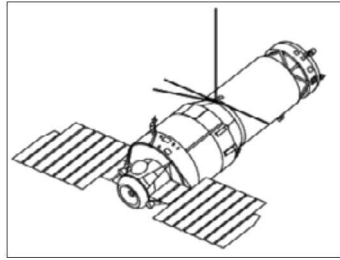
Salyut 2, yang dianggap sebagai “*stasiun militer*” pertama, diluncurkan pada 4 April 1973. Pada 28 Mei 1973, Salyut 2 terbakar di atmosfer Bumi dan menghancurkan panel surya, alat komunikasi, dan dok.

c. Salyut 3

Salyut adalah sebuah stasiun ruang angkasa Uni Soviet yang diluncurkan pada 25 Juni 1974. Ini adalah stasiun ruang angkasa militer kedua dalam program Almaz, dan stasiun pertama yang

sukses diluncurkan, setelah sebelumnya Salyut 2 milik Almaz gagal mengorbit Bumi.

Salyut 3 mencapai ketinggian 219-270 km pada peluncurannya dan NASA melaporkan ketinggian orbit akhirnya adalah 268-272 km. Hanya satu dari tiga awak yang direncanakan



GAMBAR 16.11 Salyut 3

berhasil sampai stasiun ini, dia ke sana dibonceng oleh kapsul Soyuz 14, Soyuz 15 berusaha untuk membawa kru kedua tetapi gagal untuk berlabuh.

Meskipun sedikit informasi resmi yang dirilis tentang stasiun ini, beberapa sumber melaporkan bahwa Salyut 3 berisi beberapa kamera observasi Bumi, serta senjata orbit Bumi (mungkin seperti Low Orbit Ion Cannon (LOIC) milik Anonymous). Stasiun ini dihentikan dinasny, dan kembali memasuki atmosfer lalu habis terbakar pada 24 Agustus 1975.

d. Salyut 4

Salyut 4 diluncurkan pada 26 Desember 1974. Tugasnya sama dengan Salyut 1. Salyut 4 kembali ke atmosfer Bumi pada 3 Februari 1977.

e. Salyut 5

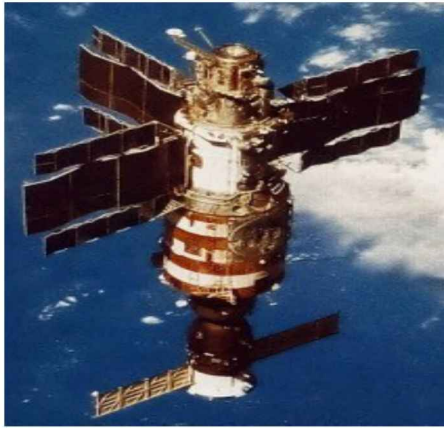
Salyut 5 diluncurkan pada 22 Juni 1976 untuk kepentingan militer. Salyut 5 adalah sebuah stasiun ruang angkasa militer Uni Soviet. Salyut 5 diluncurkan pada pukul 18:04:00 UTC di tanggal 22 Juni 1976. Peluncuran berlangsung dari Situs 81/23 Kosmodrom Baikonur di Kazakhstan, Republik Sosialis Soviet dan diluncurkan dengan roket Proton-K 8K82K dengan nomor seri 290-02. Setelah mencapai orbit, Salyut 5 dilabeli oleh Internasional Designator dengan nomor seri 1976-057A, sementara Komando Pertahanan Udara Amerika Utara (NORAD) memberi-

kannya nomor Katalog Satellite 08911. Karena tidak bisa mengisi bahan bakar, dan tidak lagi memiliki bahan bakar untuk mempertahankan operasi berawak, Salyut 5 dinonaktifkan dari orbit Bumi pada tanggal 8 Agustus 1977, dan hancur terbakar karena masuk kembali ke atmosfer Bumi.

f. Salyut 6

Salyut 6 diluncurkan pada 29 September 1977. Stasiun ini berfungsi cukup lama, hingga 1981. Tugas stasiun ini sama dengan Salyut 1. Salyut 6 memasuki atmosfer Bumi dan hancur pada Juli 1982.

g. Salyut 7



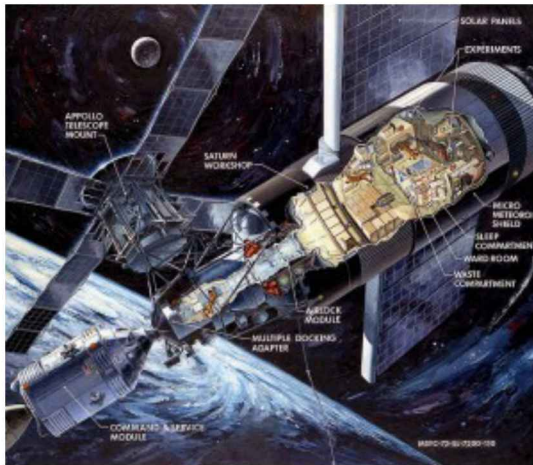
GAMBAR 16.12 Salyut 7

Salyut 7 diluncurkan pada 19 April 1982, mempunyai tugas yang sama dengan pendahulunya. Pada awal 1985, stasiun ini mengalami beberapa kerusakan parah. Pada Juni 1985, Salyut 7 berhasil diperbaiki. Namun kru terakhir stasiun ini tiba-tiba ke luar stasiun dengan pesawat ruang angkasa pada 11 November 1985, dan membatalkan misi disebabkan salah satu kosmonot sakit serius. Salyut adalah sebuah stasiun ruang angkasa milik

Uni Soviet yang berada di orbit Bumi rendah yang bertugas sampai bulan 7 Februari 1991.

Stasiun ini bagian dari program Salyut Soviet, dan diluncurkan pada tanggal 19 April 1982 menggunakan roket Proton dari Situs 200/40 di Kosmodrom Baikonur, Kazakstan saat masih menjadi bagian Uni Soviet. Salyut 7 adalah bagian dari transisi stasiun ruang angkasa “*monolitik*” ke “*modular*”, bertindak sebagai penguji untuk modul berlabuh dan operasi stasiun lainnya.

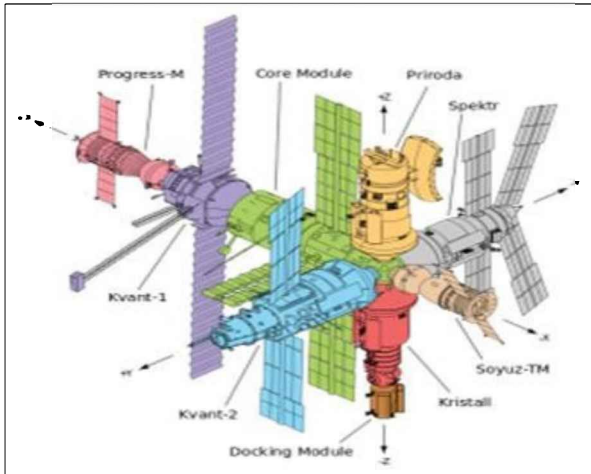
7. Stasiun Ruang Angkasa *Skylab*



GAMBAR 16.13 Skylab

Skylab adalah satu-satunya stasiun ruang angkasa milik Amerika Serikat. *Skylab* diluncurkan pada 14 Mei 1973 dan menghabiskan waktu lebih dari 6 tahun di orbit, meskipun mengalami guncangan hebat selama peluncuran karena salah satu panel suryanya mati. *Skylab* berukuran panjang 36 m dan lebar 6,6 m, dengan sebuah gelanggang pesawat ruang angkasa. Tiga awak *Skylab* mengambil puluhan ribu foto Bumi dan mengamati Matahari dengan observatorium surya *Skylab*.

8. Stasiun Ruang Angkasa *Mir*



GAMBAR 16.14 Stasiun Ruang Angkasa *Mir* dengan Pesawat Ulang-Alik Atlantis

Pada 1986, Uni Soviet meluncurkan model inti pertama stasiun ruang angkasa baru bernama *Mir* (damai) yang berbobot 130 ton. Hingga pertengahan 1990-an lima modul *Mir* ditambah, seperti tabel di bawah ini:

TABEL 16.1 Modul-modul Mir

Modul-Modul Mir		
Modul	Peluncuran	Penggunaan
Modul inti	1986	Pusat pengendali dan akomodasi
<i>Kyant-1</i>	1987	Observatorium astronomi
<i>Kyant-2</i>	1989	<i>Airlock</i> untuk berjalan di ruang angkasa
<i>Kristall</i>	1990	Memproses material
<i>Spekt</i>	1995	Sensor jarak
<i>Piroda</i>	1996	Sensor jarak

Jembatan Keledai : MENTERI K3 SELALU PINTAR

Modul inti, Kyant-1, Kyant-2, Kristall, Spekt, Piroda

Mir menghabiskan waktu di orbit lebih dari 15 tahun. Pesawat ulang-alik Amerika Serikat bisa mendarat di *Mir*. Tujuh astronot pesawat ulang-alik menghabiskan waktu 28 Bulan di *Mir*. Kosmonot Rusia Valery Polyakov menghabiskan waktu terpanjang di ruang angkasa yaitu 437 hari, sejak 8 Januari 1994 sampai 22 Maret 1995 di *Mir*. Pada 1997, pesawat pemasok perbekalan tak berawak bernama *Progress* menabrak *Mir* hingga merusak lambung dan panel surya.

Menjelang akhir, *Mir* mengalami banyak gangguan dan ditumbuhi jamur di perangkatnya. *Mir* kembali memasuki atmosfer Bumi pada 22 Maret 2011 di Samudera Pasifik selatan, sebelah timur Selandia Baru.

8. Stasiun Ruang Angkasa Internasional

International Space Station (ISS) adalah sebuah stasiun ruang angkasa, atau satelit buatan yang dapat dihuni manusia yang melayang di orbit Bumi rendah. Ini adalah stasiun ruang angkasa kesembilan yang berhasil dihuni oleh manusia, setelah Soviet dan kemudian menjadi Rusia dalam program Salyut, Almaz, dan Mir, lalu program Skylab dari Amerika Serikat.



GAMBAR 16.15 Stasiun Ruang Angkasa Internasional

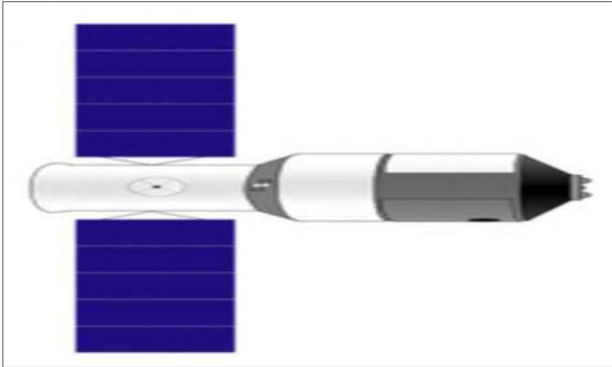
Pada 1998, dua modul pertama ISS diluncurkan dan digabungkan di orbitnya. Bagian pertama disebut *Zarya*, *Zarya* diluncurkan oleh roket *Proton* milik Rusia pada November 1998. Pada November 1998, pesawat ulang-alik menambahkan segmen koneksi *Unity Node*. Pada Juli 2000, modul *Servis*, *Zvezda* ditambahkan dan awak pertamanya adalah *expedition 1*. Pada Bulan Februari 2001 ditambahkan modul *Destiny*, dengan penambahan *Airlock*, gelanggang untuk pesawat dan bingkai koneksi.

Stasiun ruang angkasa internasional ISS memiliki beberapa rencana, yaitu:

- a. Panel suryanya akan diperbesar hingga 73 m.
- b. Kabin di dalamnya akan lebih besar dari *Jumbo Jet*.
- c. Ukurannya akan menjadi empat kali ukuran *Mir* atau lima kali ukuran *Skylab*.
- d. Di dalamnya ada enam laboratorium, dua modul habitasi, dan dua modul logistik.
- e. Orbit ISS berda pada ketinggian 400 km di atas permukaan Bumi.

- f. NASA tengah membuat robot menyerupai manusia disebut *Robonot*, untuk membantu para astronot ISS.

9. Tiangong-1



GAMBAR 16.16 Tiangong-1

Tiangong-1 adalah stasiun ruang angkasa pertama China yang berfungsi sebagai laboratorium berawak dan penguji eksperimental untuk mendemonstrasikan pertemuan orbital dan latihan berlabuh di stasiun ruang angkasa. Diluncurkan dengan roket tak berawak Long March 2F/G pada 29 September 2011, ini adalah komponen operasional pertama dari program Tiangong, yang bertujuan untuk membuat yang lebih besar ke depannya, yaitu stasiun ruang angkasa berstruktur modular di orbit Bumi pada tahun 2023. Pada September 2011, Tiangong-1 direncanakan akan di non-aktifkan pada 2013, dan diganti dengan modul Tiangong-2 dan Tiangong-3.

Tiangong-1 dikunjungi oleh serangkaian misi pesawat ruang angkasa Shenzhou selama dua tahun masa operasional. Yang pertama, misi tak berawak Shenzhou 8, berhasil merapat dengan modul pada bulan November 2011, sedangkan misi berawak Shenzhou 9 berhasil berlabuh pada Juni 2012. Misi ketiga dan terakhir untuk ke Tiangong-1, Shenzhou 10, berhasil berla-

buh pada Juni 2013. Misi berawak ke Tiangong-1 menonjol karena menyertakan taikonot wanita pertama China, Liu Yang dan Wang Yaping.

C. Probe Ruang Angkasa

Probe adalah misi eksplorasi ruang angkasa ilmiah di mana pesawat antariksa meninggalkan Bumi dan mengeksplorasi ruang angkasa. Manusia mengembara hanya sampai ke Bulan, namun pesawat ruang angkasa tak berawak melakukan perjalanan hampir ke seluruh tata surya. Probe pertama meledak di ruang angkasa pada akhir 1950-an ketika perang dingin antara Amerika Serikat dan Uni Soviet tengah memuncak. Perang dingin adalah perang teknologi, perang mata-mata, termasuk pula perang pengembangan roket untuk menuju antariksa.

Pesawat-pesawat ruang angkasa telah menjelajahi permukaan Mars, memetakan Venus, mengambil gambar detail hampir seluruh planet beserta satelit-satelitnya, mengorbit Saturnus, bahkan meninggalkan tata surya. Ada banyak sekali probe ruang angkasa, namun detail beberapa pesawat yang paling penting bisa dilihat sebagai berikut.

1. Sputnik (Uni Soviet/Rusia)

TABEL 16.2 Probe Ruang Angkasa Sputnik

Probe	Peluncuran	Detail
<i>Sputnik 1</i>	4 oktober 1957	Satelit buatan pertama di dunia.
<i>Sputnik 2</i>	3 November 1957	Membawa Laika, makhluk hidup pertama yang mengembara di ruang angkasa.
<i>Sputnik 3</i>	15 Mei 1959	Mempelajari atmosfer Bumi dan radiasi Matahari.
<i>Sputnik 4</i>	15 Mei 1960	Uji penerbangan pesawat tak berawak untuk <i>Vostok 1</i> .
<i>Sputnik 5</i>	19 Agustus 1960	Membawa dua ekor anjing, Belka dan Strelka.

<i>Sputnik 6</i>	1 Desember 1960	Uji penerbangan kedua untuk <i>Vostok</i> , perbaikannya gagal.
<i>Sputnik 7</i>	4 Februari 1961	Uji penerbangan <i>Sputnik 8</i> ke Venus.
<i>Sputnik 8</i>	12 Februari 1961	Probe Venus pertama milik Rusia diluncurkan.
<i>Sputnik 9</i>	9 Maret 1961	Membawa seekor anjing bernama Cherenushka.
<i>Sputnik 10</i>	25 Maret 1961	Membawa seekor anjing bernama Zvezdochka.

2. Pioneer Amerika Serikat

TABEL 16.3 Probe Ruang Angkasa Pioneer

Probe	Peluncuran	Detail
<i>Pioneer 1</i>	11 Oktober 1958	Ditujukan untuk mencapai Bulan, namun gagal.
<i>Pioneer 2</i>	8 November 1958	Ditujukan untuk mencapai Bulan, namun gagal.
<i>Pioneer 3</i>	6 Desember 1958	Gagal mencapai Bulan.
<i>Pioneer 4</i>	3 Maret 1959	Melewati Bulan sejauh 60.000 km.
<i>Pioneer 5</i>	11 Maret 1960	Memasuki orbit Matahari, mengirimkan data <i>flare</i> dan angin Matahari.
<i>Pioneer 6</i>	16 Desember 1965	Memasuki orbit Matahari dan mengamati atmosfer Matahari.
<i>Pioneer 7</i>	17 Agustus 1966	Dipadukan dengan <i>Pioneer 6</i> untuk mengamati Matahari.
<i>Pioneer 8</i>	13 Desember 1967	Gabungan dari <i>Pioneer 6</i> dan <i>7</i> untuk mengamati Matahari.
<i>Pioneer 9</i>	8 November 1968	Gabungan <i>Pioneer 6</i> , <i>7</i> dan <i>8</i> untuk mengamati Matahari.
<i>Pioneer 10</i>	3 Maret 1972	Melewati bagian atas awan Jupiter sejauh 130.000 km.
<i>Pioneer 11</i>	6 april 1973	Mengambil foto kutub selatan Jupiter.

<i>Pioneer Venus Orbiter</i>	20 Mei 1978	Mengorbit Venus dan mempelajari atmosfernya.
<i>Pioneer Venus Multiprobe</i>	8 agustus 1978	masuk ke atmosfer tersebut dan terbakar.

3. Probe Venus (Uni Soviet/Rusia)

TABEL 16.4 Probe Venus

Probe	Peluncuran	Detail
<i>Venera 1</i>	12 Februari 1961	Pesawat antarplanet pertama yang melintas sejauh 100.000 km dari Venus.
<i>Venera 2</i>	12 November 1965	Melintas sejauh 24.000 km dari Venus.
<i>Venera 3</i>	16 November 1965	Pesawat ruang angkasa pertama yang mendarat di planet lain.
<i>Venera 4</i>	12 Juni 1967	Mentransmisikan data saat memasuki atmosfer Venus.
<i>Venera 5</i>	5 Januari 1969	Mentransmisikan data saat memasuki atmosfer Venus.
<i>Venera 6</i>	10 Januari 1969	Mentransmisikan data saat memasuki atmosfer Venus.
<i>Venera 7</i>	17 Agustus 1970	Mentransmisikan data dari permukaan Venus.
<i>Venera 8</i>	27 Maret 1977	Mentransmisikan data dari permukaan Venus.
<i>Venera 9</i>	8 Juni 1975	Pesawat ruang angkasa pertama yang mengirim gambar dari planet lain.
<i>Venera 10</i>	14 Juni 1975	Mentransmisikan data dari permukaan Venus.
<i>Venera 11</i>	9 September 1978	Probe yang menurunkan pendarat di Venus.
<i>Venera 12</i>	14 September 1978	Probe yang menurunkan pendarat di Venus.
<i>Venera 13</i>	30 Oktober 1981	Mendarat dengan peta radar yang dibuat oleh <i>Pioneer</i> .
<i>Venera 14</i>	4 November 1981	Probe yang menurunkan pendarat di Venus.
<i>Venera 15</i>	2 Juni 1983	Mengorbit Venus dan memetakan permukaannya dengan radar.
<i>Venera 16</i>	6 Juni 1983	Mengorbit Venus dan memetakan permukaannya dengan radar.

4. Viking Menuju Mars (Amerika Serikat)

Setelah probe Mariner milik Amerika Serikat pada 1960-an dan 1970-an menyatakan bahwa permukaan Mars berkawah seperti Bulan, para ilmuwan mulai mendaratkan pesawat ruang angkasa ke permukaannya. Pada 1976, Amerika Serikat mendaratkan dua pesawat ruang angkasa *Viking* di planet merah. *Viking 1* diluncurkan pada 20 Agustus 1975 dan *Viking 2* diluncurkan pada 1975.

Kedua misi Viking menempatkan orbiter di orbit Mars, sedangkan pendaratnya turun ke permukaan planet tersebut. Pendarat (*lander*) melakukan pengujian terhadap tanah dan atmosfer Mars, kemudian mengirimkan data ke Bumi melalui orbiter. Sayangnya, tidak ada tanda-tanda kehidupan di sana. Viking juga mengambil foto detail berwarna permukaan Mars dengan resolusi tinggi.

5. Probe Terkini

TABEL 16.5 Probe Viking

Probe	Peluncuran	Detail
<i>Magellan</i>	1989	Mengorbit Venus dan memetakan permukaannya secara detail dengan radar.
<i>Galileo</i>	1989	Meneliti Jupiter dan satelitnya sebelum memasuki atmosfer Jupiter pada tahun 2003.
<i>Mars Pathfinder</i>	1996	Mendaratkan penjelajah <i>Sojourner</i> di Mars pada 1997.
<i>Cassini-Huygens</i>	1997	Menjelajahi Saturnus dan satelit-satelitnya, mendaratkan probe mini <i>Huygens</i> di satelit Saturnus, Titan pada tahun 2005.
<i>Mars Exploration</i>	2003	Penjelajah <i>Spirit</i> dan <i>Opportunity</i> mendarat di Mars pada tahun 2004 dan menemukan bukti keberadaan air.

6. Probe Bulan



GAMBAR 16.17 Probe Bulan

Bulan telah dikunjungi probe, beberapa berawak dan beberapa berupa robot. Pada 1959, *Luna 2* menjadi probe pertama yang mencapai Bulan, sementara penggantinya mengambil foto pertama sisi jauh Bulan. Pada tahun 1966, *Luna 9* melakukan pendaratan pertama di Bulan yang dikendalikan dari Bumi dan pada 1967, *Surveyor 3* menggali parit di tanah Bulan. *Luna 16* membawa sampel debu Bulan pada 1970, sementara pada tahun yang sama penggantinya mendaratkan wahana jelajah, *Lunokhod 1*.

Studi Kasus

Sebuah ledakan mengguncang landasan SpaceX di Cape Canaveral, Florida. Ledakan terjadi pada Kamis (1/9) pagi menghancurkan salah satu roket perusahaan dirgantara dan satelit komunikasi Israel.

Kasus Nyata

Tragedi itu membuahkan hasil yang penting, yakni NASA secara signifikan meningkatkan fitur keselamatan dan protokol pada wahana Apollo setelah kecelakaan itu. Admi-

nistrator NASA, Charles Bolden mengatakan bahwa ledakan pada Kamis (1/9), seperti tragedi-tragedi yang terjadi sebelumnya. “Itu adalah pengingat bahwa penerbangan luar angkasa merupakan tantangan yang luar biasa, tapi kami belajar dari setiap keberhasilan dan setiap kemunduran.

Rangkuman

1. Angkasa luar atau antariksa merupakan daerah di atas permukaan Bumi yang bebas dari pengaruh gravitasi Bumi yang berada kira-kira 3.000 km di atas permukaan Bumi.
2. Orbit adalah kesalahan pengertian umum tentang batasan ke angkasa. Kecepatan untuk orbit Bumi rendah adalah sekitar 7,9 km/s (28.400 km/jam-18.000 mil/jam). Oleh karena itu, mencapai ketinggian yang dibutuhkan merupakan langkah pertama untuk mencapai orbit. Energi yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan untuk orbit Bumi rendah 32 MJ/kg sekitar dua puluh kali energi yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian dasar 10 kJ/km/kg.
3. Pesawat ulang alik adalah pesawat ruang angkasa yang digunakan beberapa kali untuk penerbangan ke luar angkasa. Pesawat ulang-alik (bernama resmi: *Space Transportation System* atau STS; lebih populer dengan *NASA's Space Shuttle* atau *Space Shuttle* saja) adalah pesawat luar angkasa milik Amerika Serikat yang digunakan dalam misi penerbangan luar angkasa berawak.
4. Roket merupakan wahana luar angkasa, peluru kendali, atau kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi roket terhadap keluarnya secara cepat bahan fluida dari keluaran mesin roket.
5. Satelit komunikasi adalah alat yang diluncurkan ke angkasa luar dan bertujuan mempermudah komunikasi jarak jauh (radio, televisi, telepon) dan untuk memantau cuaca dan keadaan angkasa luar. Satelit komunikasi Indonesia yang pertama adalah satelit komunikasi Palapa yang ditempatkan

- pada ketinggian 35.000-36.000 km di atas permukaan Bumi.
6. Manusia yang pernah beraktivitas di luar kendaraan luar angkasa alias *Extra-vehicular activity* adalah Alexey Leonov, Edward Higgins White, Eugene Cernan, Michael Collins, Richard F. Gordon, Jr.
 7. Stasiun luar angkasa adalah sebuah satelit berawak yang dirancang untuk tetap berada di orbit rendah Bumi dalam jangka waktu yang panjang. Beberapa Stasiun Ruang Angkasa adalah *Salyut*, *Skylab*, *Mir*, internasional, dan Tian-gong-1.
 8. Probe adalah misi eksplorasi ruang angkasa ilmiah di mana pesawat antariksa meninggalkan Bumi dan mengeksplorasi ruang angkasa. Beberapa probe angkasa adalah Sputnik (Uni Soviet/Rusia), Pioneer Amerika Serikat, Probe Venus (Uni Soviet/Rusia), Viking menuju Mars (Amerika Serikat), Probe terkini, dan Probe Bulan.

Datar Pustaka

Buku

- Admiranto, Agustius Gunawan. 2009. *Menjelajahi Bintang Galaksi dan Alam Semesta*. Kanisius: Yogyakarta.
- Anugraha, Rinto. 2005. *Pengantar Teori Relativitas dan Kosmologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Aproyono, Heru. 2013. *The Big Bang Theory: Teori Terbentuknya Alam Semesta*. Yogyakarta: Narasi.
- Darker, Steve. 2007. *Tata Surya*. Jakarta: Erlangga.
- Endarto, Danang. 2005. *Pengantar Kosmografi*. Surakarta: UNS Press.
- Fayeldi, Trija. 2011. *Antariksa*. Jakarta: Bestari Buana Murni.
- Gore, Bryson. 2007. *Astronomi: Setiap Galaksi Memiliki Lubang Hitam*. Bandung: Intan Sejati.
- Hawking, Stephen W. 2007. *Teori Segala Sesuatu Asal Usul dan Kepunahan Alam Semesta*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Parker, Steve . 2007. *Tata Surya*. Jakarta: Erlangga for Kids.
- Parker, Steve. 2007. *Penjelajah Ruang Angkasa*. Bandung: Intan Sejati.
- Purwanto, Agus. 2009. *Pengantar Kosmologi*. Surabaya: ITS Press.
- Saraswati. 2010. *Badai Matahari Mengancam Bumi*. Yogyakarta: Narasi.
- Sujadi, Firman. 2009. *Alam Semesta yang Menakjubkan*. Jakarta: Belrudia Indonesia.
- Sutanty, Winardi. 1984. *Astrofisika Mengenal Bintang*. Bandung: ITB.

Tjasyono, Bayong. 2003. *Ilmu KeBumian dan Antariksa*. Bandung: ITB.

WEBSITE

<http://nurmaatus.blogdetik.com/2009/09/21/sejarah-panjang-ilmu-astronomi-modern/>.

<http://id.wikipedia.org/wiki/Astronomi>.

<http://apipblog.wordpress.com/2010/11/28/ilmuwan-muslim-dalam-bidang-astronomi/>.

<http://blogspot.com/apa-itu-astronomi/>.

<http://rohimsbastianpartii.blogspot.com/>

<http://olivia-anggraeni.blogspot.com/2013/04/teori-terjadinya-tata-surya.html>

<http://www.artikelbagus.com/2011/10/teori-terbentuknya-tata-surya.html>

<http://langitselatan.com/2012/07/15/apakah-bidang-orbit-planet-sama-terhadap-Matahari/pembentukan-tasur/>

<http://rabulalamin.blogspot.com/2012/05/teori-terbentuknya-tata-surya.html>

http://gambarplanet_tatasurya.com

<http://id.8pedia.info/8-stasiun-ruang-angkasa-yang-pernah-mengorbit-Bumi/>

http://id.wikipedia.org/wiki/Luar_angkasa

<http://nhingz-anwar.blogspot.com/2013/02/makalah-penerbangan-ke-luar-angkasa.html>

<http://www.alwanku.com/2012/06/15/penerbangan-manusia-ke-angkasa-luar/>

<http://youzoef.wordpress.com/2011/08/30/pengertian-pe-sawat-ulang-alik-dan-roket/>

<http://terselubung.in/umum/5-manusia-pertama-berjalan-di-luar-angkasa.html>

<http://nhingz-anwar.blogspot.com/2013/02/makalah-penerbangan-ke-luar-angkasa.html>