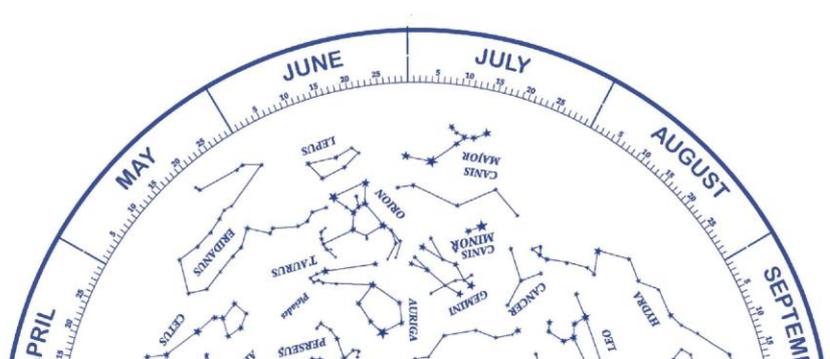
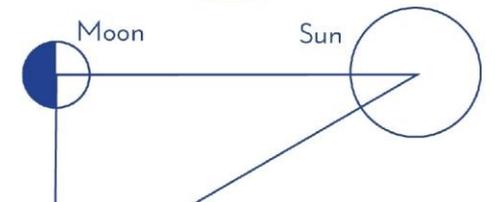
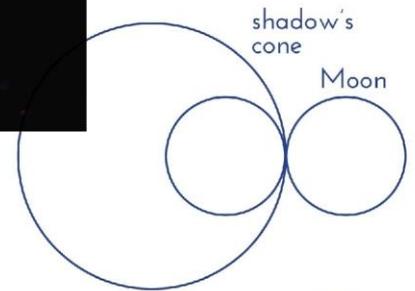
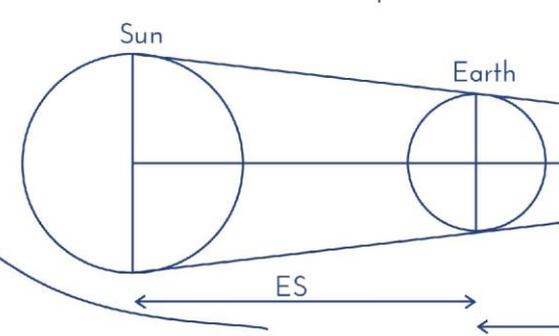
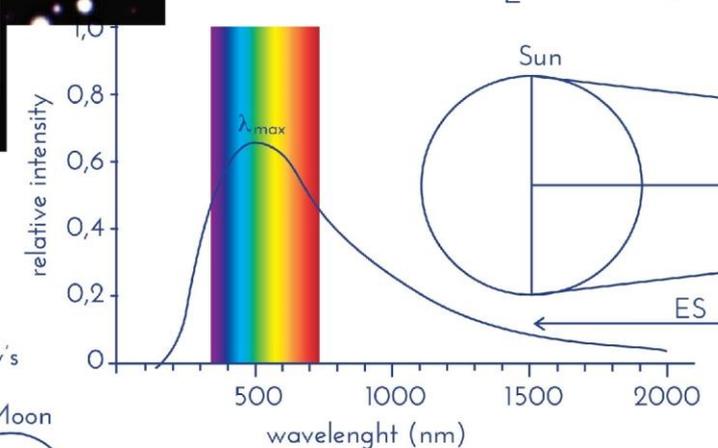
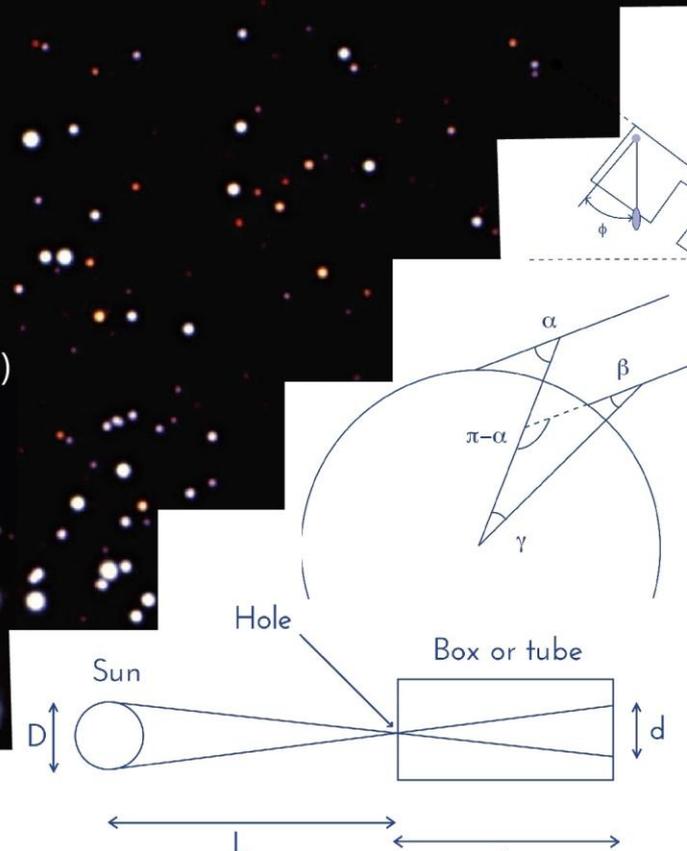


14 Langkah Menuju Alam Semesta

Pelajaran Astronomi untuk Guru dan Mahasiswa Sains

Network for Astronomy School Education (NASE)
International Astronomical Union (IAU)
Institut Teknologi Sumatera (ITERA)
Institut Teknologi Bandung (ITB)

Penyunting: Hakim L. Malasan dan Nindhita Pratiwi (Original version edited by Rosa M. Ros and Mary Kay Hemmenway)



14 LANGKAH MENUJU ALAM SEMESTA

Pelajaran Astronomi untuk Guru dan Mahasiswa Sains

TIM PENERJEMAH

Hakim Luthfi Malasan
Nindhita Pratiwi
Riska Wahyu Romadhonia
Muhammad Isnaenda Ikhsan
Elisa Fitri
Muthia Dewi
Robiatul Muztaba
Dear Michiko Mutiara Noor
Elsa Rizkiya Kencana
Andi Fitriawati
Nova Resfita
Vico Luthfi Ipmawan

**14 LANGKAH MENUJU ALAM SEMESTA:
Pelajaran Astronomi untuk Guru dan Mahasiswa Sains**

Diterjemahkan dari buku yang berjudul

**14 STEPS TO THE UNIVERSE:
Astronomy Course for Teachers and Science
Graduates** Rosa M. Ros and Mary Kay Hemenway
(Editors)

Tim Penerjemah

Hakim Luthfi Malasan
Nindhita Pratiwi
Riska Wahyu Romadhonia
Muhammad Isnaenda Ikhsan
Elisa Fitri
Muthia Dewi
Robiatul Muztaba
Dear Michiko Mutiara Noor
Elsa Rizkiya Kencana
Andi Fitriawati
Nova Resfita
Vico Luthfi Ipmawan

ISBN

978-623-99639-1-0
187 Hal: 21 x 29.7 cm
Terbitan Pertama, Maret 2022

Editor

Hakim Luthfi Malasan
Nindhita Pratiwi

Desain Sampul dan Tata Letak

Maria Vidal

Penerbit

ITERA Press

Redaksi

Gedung Kuliah Umum (GKU) Lantai 1
Institut Teknologi Sumatera (ITERA)
Jalan Terusan Ryacudu, Way Hui, Kecamatan Jati Agung,
Lampung Selatan 35365
Tel/WhatsApp +6285768378398
Email : press@itera.ac.id

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari penulis dan/ penerbit

PENGANTAR

Untuk meningkatkan eksistensi astronomi di tingkat sekolah dasar dan menengah, maka diperlukan program untuk mengedukasi guru-guru. Tujuan utama NASE adalah mengembangkan potensi guru di berbagai negara yang tertarik dalam bidang pendidikan astronomi, dengan menggabungkan isu-isu yang berkaitan dengan disiplin ilmu pada kurikulum yang berbeda, atau memperkenalkan sains kepada para siswa melalui pembelajaran alam semesta. Program NASE yang terdiri dari 14 sesi pembelajaran (termasuk kuliah umum dan lokakarya) merupakan pelatihan awal bagi guru-guru di bidang astronomi. 14 langkah awal ini diperlukan untuk memahami alam semesta melalui buku yang disusun oleh beberapa astronom profesional dan guru-guru yang telah mengembangkan NASE selama bertahun-tahun, yang dapat dilihat di situs web NASE.

Perlu dicatat bahwa semua aktivitas NASE meningkatkan partisipasi aktif, pengamatan, dan pembuatan alat-alat peraga untuk memahami isi buku secara lebih baik. Setiap sekolah biasanya memiliki lapangan atau halaman yang dapat dijadikan siswa sebagai tokoh utama dalam proses pembelajaran.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis atas bantuannya dalam menyiapkan semua materi. Terima kasih juga atas bantuan Riska Wahyu Romadhonia, instruktur NASE dari ITB; Elisa Fitri dan Muthia Dewi, serta instruktur NASE dari ITERA; Muhammad Isnaenda Ikhsan, Robiatul Muztaba, Dear Michiko Mutiara Noor, Elsa Rizkiya Kencana, Andi Fitriawati, Nova Resfita, Vico Luthfi Ipmawan dan Harits Setyawan dalam menerjemahkan dan mendampingi penulisan buku ini. Adapun gambar-gambar yang terdapat pada buku ini disiapkan dan diulas oleh Hakim Luthfi Malasan (ITB, ITERA) dan Nindhita Pratiwi (ITERA).

Untuk mempelajari lebih lanjut mengenai pembelajaran yang sudah dikembangkan selama ini, aktivitas dan pelajaran baru yang dihasilkan dari pembentukan grup lokal selama kegiatan awal NASE, kami mengundang pembaca untuk mengunjungi laman NASE. Program ini tidak hanya menyediakan video pelatihan, namun grup lokal juga membentuk grup kerja yang berisi guru-guru dan komunitas untuk menjaga semangat dalam menciptakan material dan aktivitas baru, yang tersedia secara lengkap di laman NASE.

Di internet juga dapat ditemukan banyak material tambahan yang menyajikan berbagai teori alam semesta kepada guru-guru yang mengikuti pelatihan NASE, untuk mengembangkan pengetahuan dan aktivitasnya.

Kami mengakhiri pengantar ini dengan sebuah kutipan dari Confucius (551 SM – 479 SM) yang sangat sesuai dengan proyek ini dan tujuannya.

Saya mendengar dan saya lupa,
Saya melihat dan saya ingat,
Saya melakukan dan saya mengerti

Tujuan utama dari NASE adalah mengenalkan astronomi ke semua kalangan, untuk membuat semua orang mengerti dan menikmati proses dalam memahami pengetahuan-pengetahuan baru.

Rosa M. Ros
(Ketua *International Astronomical Union, Network for Astronomy School Education, Spanyol*)

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	iii		
DAFTAR ISI.....	iv		
Evolusi Bintang	1	Kehidupan Bintang	95
John Percy.....	1	Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno, Rosa M. Ros	
<i>Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan</i>	<i>1</i>	<i>Penerjemah: Nindhita Pratiwi</i>	
Kosmologi	10	Astronomi di Luar Pengamatan	105
Julieta Fierro, Beatriz García, Susana Deustua		Beatriz García, Ricardo Moreno	
<i>Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan</i>		<i>Penerjemah: Elsa Rizkiya Kencana</i>	
Sejarah Astronomi.....	15	Pengembangan Alam Semesta	114
Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway		Ricardo Moreno, Susana Deustua, Rosa M. Ros	
<i>Penerjemah: Nova Resfita</i>		<i>Penerjemah: Elsa Rizkiya Kencana</i>	
Tata Surya.....	25	Planet dan Eksoplanet	125
Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa		Rosa M. Ros, Hans Deeg	
<i>Penerjemah: Riska Wahyu Romadhonia</i>		<i>Penerjemah: Riska Wahyu Romadhonia</i>	
Horizon Lokal dan Jam Matahari	38	Astrobiologi	144
Rosa M. Ros		Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz, Ana	
<i>Penerjemah: Andi Fitriawati</i>		Villaescusa, Madelaine Rojas	
Peraga Bintang, Matahari dan Bulan ...	51	<i>Penerjemah: Elisa Fitri</i>	
Rosa M. Ros, Francis Berthomieu		Persiapan Pengamatan	155
<i>Penerjemah: Andi Fitriawati</i>		Ricardo Moreno, Beatriz García, Rosa M. Ros, Francis	
Sistem bumi-bulan-matahari:		Berthomieu	
Fase-fase dan Gerhana.....	67	<i>Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan</i>	
Rosa M. Ros		Arkeoastronomi dan	
<i>Penerjemah: Dear Michiko Mutiara Noor</i>		Potensi Edukasinya	167
Aktentas untuk Astronom	76	Juan Antonio Belmonte Avilés	
Rosa M. Ros		<i>Penerjemah: Muthia Dewi</i>	
<i>Penerjemah: Dear Michiko Mutiara Noor</i>		Observasi Astronomi pada	
Spektrum Matahari dan		Masa Pandemi.....	174
Bintik Matahari	84	Robiatul Muztaba, Hakim L. Malasan	
Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno			
<i>Penerjemah: Vico Luthfi Ipmawan</i>			

EVOLUSI BINTANG

John Percy

International Astronomical Union, University of Toronto
(Canada)

Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RANGKUMAN

Artikel ini berisi informasi mengenai bintang dan evolusi bintang untuk para guru fisika/sains pada jenjang SMA. Artikel ini juga berisi materi yang dapat berkaitan dengan kurikulum mata pelajaran sains di sekolah dan terdapat beberapa aktivitas yang dapat dilakukan oleh para siswa yang berhubungan dengan materi ini.

TUJUAN

- Dapat memahami evolusi bintang dan proses yang terjadi di dalamnya
- Dapat memahami Diagram Hertzsprung-Russell
- Dapat memahami konsep magnitudo mutlak dan magnitudo semu

PENDAHULUAN

Evolusi bintang merupakan perubahan yang terjadi pada bintang, mulai dari kelahiran, kehidupan, hingga kematian bintang. Gaya gravitasi yang ada pada bintang, 'memaksa' bintang untuk meradiasikan energi. Untuk mengimbangi kehilangan energi akibat radiasi, bintang memproduksi energi dengan cara reaksi fusi nuklir yang menggabungkan elemen ringan menjadi elemen yang lebih berat. Reaksi nuklir ini secara perlahan mengubah komposisi kimia dan karakteristik bintang. Akibatnya, pada suatu ketika tidak terdapat lagi elemen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir dan akhirnya bintang mati. Memahami sifat dan evolusi dari bintang dapat membuat kita lebih menyadari bagaimana evolusi dari Matahari, bintang yang membuat Bumi memiliki kehidupan. Dengan mempelajari sifat dan evolusi bintang, hal ini dapat membantu kita memahami asal-usul Tata Surya dan bagaimana terciptanya atom dan molekul yang ada di alam semesta, hingga bagaimana terciptanya kehidupan. Kemudian muncul berbagai pertanyaan, seperti "Apakah bintang lain juga menciptakan cukup energi dan hidup cukup lama hingga dapat stabil dan dapat menciptakan kehidupan di planetnya?"; untuk menjawabnya maka penting bagi kita untuk mempelajari mengenai evolusi bintang.

KARAKTERISTIK MATAHARI DAN BINTANG

Langkah pertama untuk mempelajari asal-usul dan evolusi dari Matahari dan bintang adalah dengan memahami karakteristiknya. Para siswa harus lebih dahulu memahami bagaimana

cara kita menentukan karakteristik dari suatu bintang. Matahari merupakan bintang yang paling dekat dengan kita. Materi tentang Matahari sudah dibahas pada bab lain pada buku ini. Pada bab ini kita juga membahas Matahari, karena Matahari juga merupakan bintang, sehingga saat mempelajari evolusi bintang, maka kita juga belajar tentang evolusi Matahari. Para siswa harus paham mengenai karakteristik, struktur, dan sumber energi dari Matahari, karena dengan konsep yang sama, para astronom dapat menentukan struktur dan evolusi dari bintang.

MATAHARI

Karakteristik Matahari cukup mudah untuk ditentukan, karena letaknya yang dekat dengan kita, dibandingkan dengan bintang-bintang lain yang sangat jauh. Jarak rata-rata Matahari ke Bumi adalah $1,495978715 \times 10^{11}$ m; yang kita sebut dengan satuan astronomi (sa). Dengan melakukan pengamatan, kita bisa mengetahui radius sudut Matahari (959,63 detik busur), dari radius sudut ini kemudian dapat dikonversikan ke radius geometri, yakni 696.265 km. Fluks Matahari yang teramat adalah 1.370 W/m^2 , dengan memperhitungkan jarak Bumi-Matahari, maka total daya dari Matahari adalah $3,86 \times 10^{26} \text{ W}$.

Massa Matahari dapat ditentukan dengan melihat tarikan gravitasi Matahari terhadap planet-planet di Tatasurya, dengan menggunakan hukum gravitasi Newton, didapat massa Matahari sebesar $1,9891 \times 10^{30}$ kg. Temperatur dari permukaan Matahari sekitar 5.780 K. Periode rotasi Matahari sekitar 25 hari, namun bervariasi bergantung dengan lintangnya, dan bentuk Matahari hampir bola sempurna. Matahari terdiri dari sebagian besar hidrogen dan helium. Pada aktivitas 2, siswa dapat melakukan pengamatan Matahari, bintang terdekat dari kita, untuk dapat memahami bagaimana bentuk bintang.

BINTANG

Karakteristik dari bintang yang paling mudah untuk diamati adalah kecerlangannya, atau biasa disebut magnitudo semu. Magnitudo merupakan besaran yang digunakan untuk menggambarkan kecerlangan bintang yang merupakan fungsi logaritmik dari fluks bintang yang kita terima di Bumi.

Skala magnitudo bintang dikembangkan oleh astronom Yunani, Hipparchus (190-120 SM). Dia mengklasifikasikan bintang dengan magnitudo 1, 2, 3, 4, dan 5. bintang yang lebih redup memiliki nilai magnitudo yang lebih besar atau lebih positif. Kemudian selanjutnya, diketahui ternyata, indera penglihatan kita bersifat logaritmik terhadap cahaya, dan terdapat perbandingan kecerlangan yang tetap (2,512 kali) pada setiap perbedaan 1 magnitudo. bintang yang paling terang di langit memiliki magnitudo -1,44. Sedangkan bintang teredup yang dapat diamati menggunakan teleskop paling besar adalah magnitudo 30.

Kecerlangan, B , dari suatu bintang bergantung dengan kuat daya bintang atau luminositasnya, P , dan jaraknya, D . Kemudian berdasarkan hukum kuadrat kebalikan dari kecerlangan: kecerlangan sebanding dengan daya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya: $B \propto P/D^2$. Pada bintang-bintang yang dekat, jarak bintang dapat dihitung menggunakan paralaks. Pada aktifitas 1, para siswa akan diberi kesempatan untuk

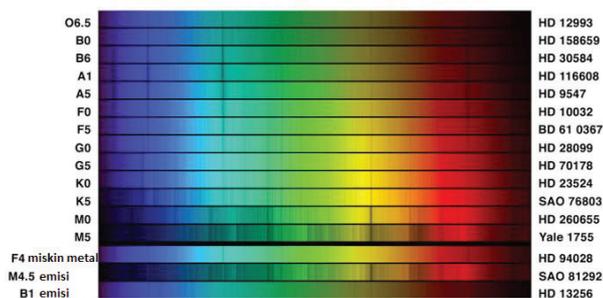
melakukan demonstrasi yang dapat menggambarkan konsep paralaks, dan dapat menunjukkan bahwa paralaks berbanding terbalik dengan jarak dari objek yang kita lihat. Maka daya dari bintang dapat dihitung dari besarnya nilai kecerlangan dan menggunakan hukum kuadrat kebalikan dari kecerlangan.

Bintang tidak memiliki warna yang sama, jika diperhatikan dengan teliti, bintang satu dengan lainnya akan memiliki warna yang sedikit berbeda; yang paling jelas dapat dilihat pada bintang Rigel (*beta Orionis*) dan Betelgeuse (*alfa Orionis*) yang ada di rasi Orion (gambar 1). Pada aktivitas 3, siswa dapat melakukan pengamatan bintang di malam hari dan mendapatkan pengalaman menikmati keindahan langit di malam hari. Warna yang muncul di bintang diakibatkan oleh perbedaan temperatur yang diradiasikan bintang. bintang yang lebih 'dingin' akan cenderung berwarna kemerahan, sedangkan bintang yang lebih panas akan berwarna kebiruan. (Warna ini kebalikan dengan warna yang biasa kita lihat di keran air panas dan dingin yang biasa ada di kamar mandi). Karena cara kerja mata kita dalam merespon cahaya, bintang berwarna merah akan nampak putih-kemerahan, dan bintang biru akan nampak putih-kebiruan.

Warna bintang dapat ditentukan dengan presisi menggunakan fotometer dengan filter warna, dan temperatur bintang kemudian ditentukan dari warnanya.



Gambar 1. Rasi Orion. Betelgeuse, bintang di kiri atas, dingin dan karenanya tampak kemerahan. Deneb, bintang di kanan bawah, panas dan karenanya tampak kebiru-biruan. Nebula Orion terlihat berada di bawah tiga bintang yang berada di tengah rasi bintang.



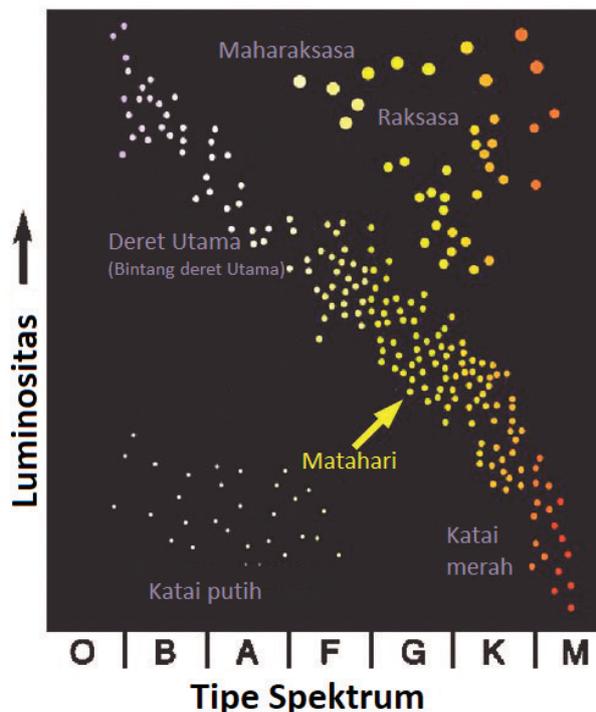
Gambar 2. Spektrum banyak bintang, dari yang terpanas (O6.5: atas) hingga paling dingin (M5: keempat

dari bawah). Perbedaan kenampakan spektra disebabkan oleh perbedaan temperatur bintang-bintang. Tiga spektrum bawah adalah bintang-bintang yang unik dalam beberapa hal.

Sumber: Observatorium Astronomi Optik Nasional.

Temperatur bintang dapat ditentukan dari spektrumnya, yakni distribusi dari warna dan panjang gelombang dari cahaya bintang (gambar 2). Gambar ini menggambarkan keindahan dari warna cahaya yang dihasilkan oleh bintang. Cahaya yang dihasilkan bintang, sebelum sampai ke mata kita harus melewati atmosfer bintang terlebih dahulu; kemudian ion, atom, dan molekul pada atmosfer bintang akan menyerap sebagian cahaya pada panjang gelombang tertentu, akibatnya pada spektrum bintang muncul garis-garis gelap (gambar 2). Bergantung dengan temperatur atmosfer, atom dapat terionisasi, tereksitasi, atau terkombinasi menjadi molekul. Keadaan atom yang teramati, dalam spektrum, dapat memberikan informasi mengenai temperatur.

Satu abad yang lalu, astronom menemukan hubungan penting antara daya/luminositas yang dihasilkan bintang dengan temperatur bintang: setidaknya untuk sebagian besar bintang, luminositas bintang akan lebih besar untuk bintang yang lebih panas. Kemudian baru diketahui, bahwa faktor yang paling mempengaruhi ternyata adalah massa bintang: bintang dengan massa besar memiliki luminositas dan temperatur yang lebih besar. Diagram luminositas-temperatur disebut diagram Hertzsprung-Russell (gambar 3). Sangat penting bagi para siswa untuk belajar membuat grafik ini (aktivitas 8) dan menginterpretasikannya dengan diagram Hertzsprung-Russell pada gambar 3.



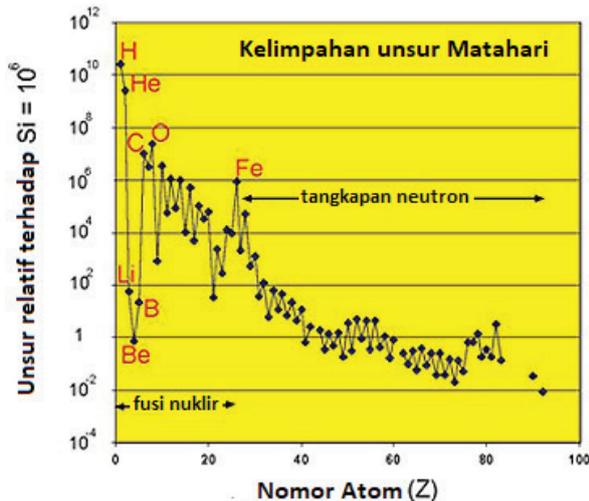
Gambar 3. Diagram Hertzsprung-Russell, grafik daya bintang atau luminositas terhadap temperatur bintang. Untuk alasan historis, temperatur meningkat ke

arah kiri (pada diagram). Huruf O, B, A, F, G, K, dan M adalah jenis - jenis spektrum berdasarkan temperaturnya. Garis-garis diagonal menunjukkan radius bintang; bintang yang lebih besar (raksasa dan *supergiant*) berada di arah kanan atas, yang lebih kecil (katai) berada di arah kiri bawah. Perhatikan, Deret Utama berada pada arah kanan bawah hingga kiri atas. Sebagian besar bintang ditemukan di sini. Lokasi beberapa bintang terkenal juga ditampilkan.

Sumber: *University of California Berkeley.*

Tujuan besar dari astronomi adalah untuk menentukan luminositas berbagai bintang. Kemudian, jika kita dapat mengamati bintang dengan tipe yang sama di tempat lain di alam semesta, maka astronom dapat menggunakan kecerlangannya, B , dan daya atau luminositasnya, P , untuk menentukan jaraknya menggunakan hukum kuadrat kebalikan: $B = P/D^2$.

Spektrum bintang (dan nebula) juga dapat menunjukkan tentang bahan pembentuk bintang: kelimpahan kosmik (gambar 4). Bahan-bahan ini terdiri dari sekitar $\frac{3}{4}$ hidrogen, $\frac{1}{4}$ helium, 2% elemen berat, yang sebagian besar karbon, nitrogen dan oksigen.



Gambar 4. Kelimpahan unsur-unsur di Matahari dan bintang-bintang. Hidrogen dan helium paling banyak. Lithium, berilium, dan boron memiliki kelimpahan yang sangat rendah. Karbon, nitrogen, dan oksigen berlimpah. Kelimpahan unsur-unsur lain sangat menurun dengan meningkatnya jumlah atom. Hidrogen 1012 kali lebih banyak daripada uranium. Elemen dengan jumlah proton yang genap memiliki kelimpahan yang lebih tinggi daripada elemen dengan jumlah proton yang ganjil. Unsur yang lebih ringan dari besi dihasilkan oleh reaksi fusi nuklir di bintang-bintang. Unsur yang lebih berat dari besi dihasilkan oleh penangkapan neutron dalam ledakan supernova

Sumber: NASA.

Sekitar setengah dari bintang-bintang yang ada di dekat Matahari merupakan bintang ganda –yakni dua bintang yang saling mengorbit satu sama lain. bintang ganda merupakan objek yang penting untuk diteliti karena dari bintang ganda, astronom dapat mengetahui nilai massa suatu bintang. Massa

suatu bintang dapat dihitung dengan mengamati gerak bintang yang lainnya, begitu juga sebaliknya. Sirius, Procyon, dan Capella merupakan contoh dari bintang ganda. Terdapat juga bintang yang sistemnya terdiri dari lebih dari dua bintang: terdapat tiga atau lebih bintang yang saling mengorbit satu sama lain. Alfa Centauri, bintang terdekat dari Matahari, merupakan sistem bintang yang terdiri dari tiga bintang, Epsilon Lyrae merupakan sistem bintang dengan empat bintang.

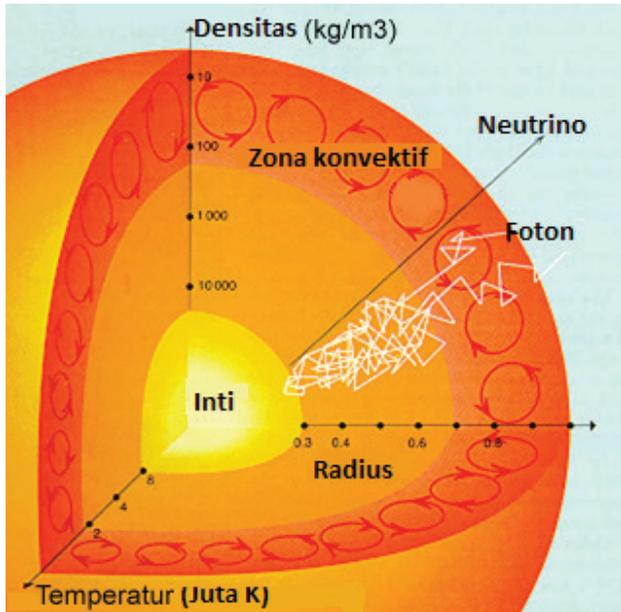
Seperti yang telah disebutkan di atas, terdapat hubungan erat antara luminositas dan massa bintang: luminositas sebanding dengan massa pangkat tiga. Hubungan ini disebut dengan hubungan massa-luminositas.

Massa bintang berada pada rentang 0,1 hingga 100 kali massa Matahari. Luminositas bintang berada pada rentang 0,0001 hingga 1 juta kali luminositas Matahari. bintang normal paling panas berada pada temperatur sekitar 50.000 K; sedangkan yang paling dingin memiliki temperatur 2.000 K. Ketika astronom melakukan survei pada bintang, mereka mendapati, bahwa Matahari ternyata lebih besar dan terang dibandingkan dengan 95% bintang yang berada di sekitar Matahari. bintang dengan massa besar dan terang jarang ditemui. Matahari bukan merupakan bintang biasa, melainkan merupakan bintang di atas rata-rata.

STRUKTUR MATAHARI DAN BINTANG

Struktur Matahari dan bintang ditentukan sebagian besar dari gravitasi. Gravitasi menyebabkan fluida yang membuat Matahari memiliki bentuk hampir bola. Jika kita meninjau bagian dalam Matahari, tekanan akan meningkat, karena ditekan oleh berat dari lapisan gas di atasnya. Berdasarkan hukum gas ideal, yang berlaku untuk gas ideal, kerapatan dan temperatur gas akan membesar jika tekanan membesar. Jika pada lapisan lebih dalam temperaturnya lebih panas, maka kalor akan mengalir ke arah luar, karena kalor akan mengalir dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Proses transfer kalor ini dapat terjadi melalui radiasi atau konveksi. Ketiga prinsip diatas kemudian menghasilkan hubungan massa-luminositas.

Jika kalor mengalir keluar dari Matahari, maka temperatur lapisan dalamnya menurun, dan gravitasi akan menyebabkan Matahari berkontraksi, kecuali jika energinya diproduksi pada bagian inti dari Matahari. Namun, ternyata Matahari tidak mengalami kontraksi, karena ditahan oleh tekanan radiasi yang ditimbulkan oleh proses fusi nuklir yang dijelaskan berikut.



Gambar 5. Potongan melintang Matahari, sebagaimana ditentukan dari model fisika. Di zona konveksi luar, energi dialirkan oleh konveksi; di bawah itu, ia dialirkan oleh radiasi. Energi dihasilkan di dalam inti.

Sumber: Institut Fisika Teoritis, Universitas Oslo.

Empat prinsip ini berlaku untuk semua bintang yang ada di alam semesta. Prinsip-prinsip ini dapat dituliskan kedalam persamaan-persamaan dan diselesaikan menggunakan komputer. Hal ini dapat digunakan untuk memodelkan Matahari dan bintang lainnya: memodelkan tekanan, kerapatan, dan aliran energi pada jarak tertentu dari pusat bintang. Pemodelan ini merupakan metode dasar yang digunakan astronom untuk mempelajari tentang struktur dan evolusi bintang. Model dibuat berdasarkan asumsi massa dan komposisi bintang; dan dari hal tersebut astronom dapat memprediksi radius, luminositas, dan karakteristik lain dari bintang yang dapat diamati (gambar 5).

Astronom telah mengembangkan metode yang baik untuk menguji model yang mereka gunakan untuk memodelkan struktur Matahari dan bintang –helioseismologi atau untuk bintang lain, astroseismologi. Matahari dan bintang ternyata bergetar dengan pola atau mode yang berbeda-beda. Hal ini dapat diamati dengan menggunakan instrumen yang sensitif dan membandingkannya dengan karakteristik getaran yang diprediksi melalui model.

SUMBER ENERGI MATAHARI DAN BINTANG

Para saintis bertanya-tanya selama beberapa abad mengenai sumber energi yang dimiliki oleh Matahari dan bintang. Sumber utama yang paling mudah adalah berasal dari pembakaran suatu bahan bakar, seperti minyak atau gas alam, namun karena daya dari Matahari yang sangat besar (41.026 W), sumber energi ini hanya akan bertahan selama ribuan tahun. Namun, hingga beberapa abad yang lalu, manusia masih berang-

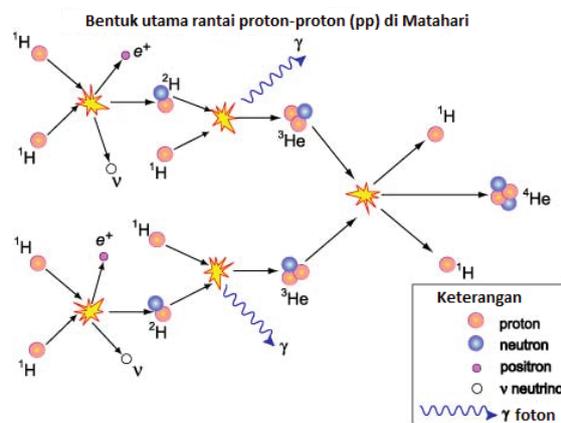
gapan bahwa usia Bumi dan alam semesta hanyalah beberapa ribu tahun, karena mengikuti apa yang tertera pada kitab Injil.

Setelah Newton mengembangkan teori Gravitasi secara umum, para ilmuwan kemudian menyadari bahwa bintang dan Matahari mungkin menciptakan energi dengan cara berkontraksi (menyusut) secara perlahan. Energi potensial gravitasi dapat diubah menjadi energi panas dan radiasi. Sumber energi ini dapat bertahan hingga puluhan juta tahun. Namun, bukti geologi menunjukkan bahwa Bumi, dan juga Matahari ternyata jauh lebih tua dari ini.

Pada akhir abad 19, ilmuwan menemukan radioaktif atau reaksi fisi nuklir. Namun, elemen radioaktif, ternyata sangat jarang ditemui baik di Bumi maupun bintang, sehingga tidak dapat menyediakan energi selama milyaran tahun.

Hingga pada akhirnya, pada abad ke-20, para ilmuwan menyadari, bahwa elemen ringan dapat mengalami reaksi fusi (penggabungan) menjadi elemen yang lebih berat yang disebut dengan reaksi fusi nuklir. Jika temperatur dan kerapatan cukup, maka proses ini dapat menghasilkan energi dengan jumlah sangat besar –lebih dari cukup untuk Matahari dan bintang. Elemen yang memiliki energi potensial fusi paling besar adalah hidrogen, ia merupakan elemen yang paling melimpah di Matahari dan bintang.

Pada bintang bermassa rendah seperti Matahari, fusi hidrogen terjadi melalui beberapa tahapan yang disebut dengan *pp chain*. Proton akan saling bergabung membentuk deuterium. Proton lain kemudian bergabung dengan deuterium untuk membentuk helium-3. Inti Helium-3 akan mengalami fusi untuk membentuk helium-4, isotop normal dari helium (gambar 6).



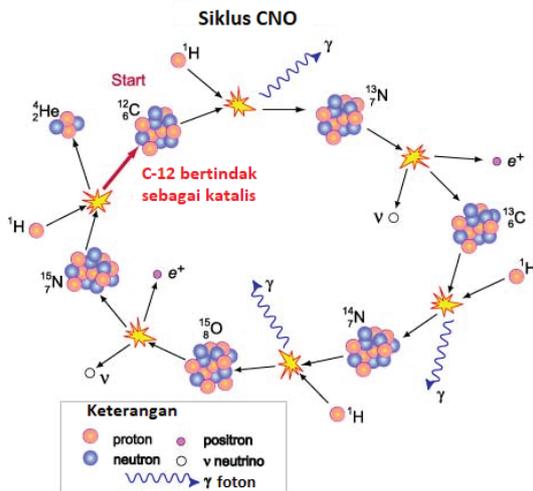
Gambar 6. Rantai reaksi proton-proton dimana hidrogen menyatu menjadi helium di Matahari dan bintang bermassa rendah lainnya. Dalam gambar ini dan gambar berikutnya, perhatikan bahwa neutrino (ν) dipancarkan dalam beberapa reaksi. Energi dipancarkan dalam bentuk sinar gamma (sinar γ) dan energi kinetik inti.

Sumber: Fasilitas Teleskop Nasional Australia.

Pada bintang massif, hidrogen akan bergabung membentuk helium melalui beberapa tahapan yang disebut dengan siklus CNO, yang menggunakan karbon-12 sebagai katalis (gam-

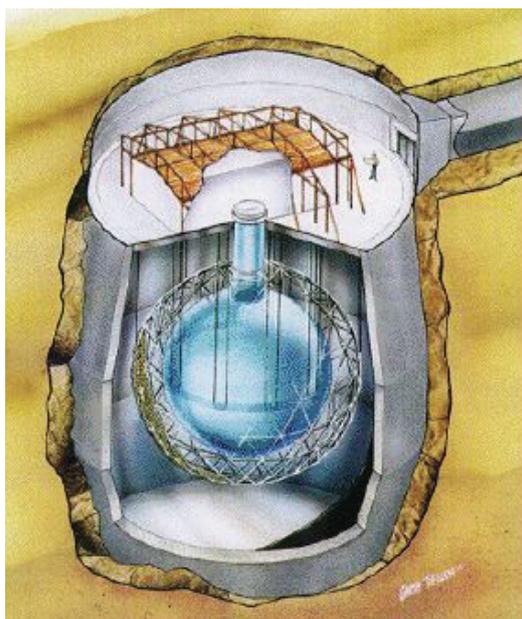
bar 7). Hasil akhirnya adalah setiap empat inti hidrogen akan bergabung membentuk satu inti helium. Sebagian kecil dari massa hidrogen akan dikonversi menjadi energi; lihat aktivitas 9. Karena inti biasanya akan saling tolak menolak jika kedua muatannya positif, maka reaksi fusi atau penggabungan hanya akan terjadi saat inti saling bertumbukan pada energi tinggi (temperatur tinggi) dan terjadi secara sering (kerapatan tinggi).

Jika reaksi fusi nuklir tersebut menghasilkan energi, maka reaksi fusi akan menghasilkan partikel sub-atomik yang disebut neutrino dalam jumlah banyak. Partikel ini biasanya akan menembus benda apapun tanpa berinteraksi dengan bendanya.



Gambar 7. Siklus CNO di mana hidrogen menyatu menjadi helium dalam bintang-bintang yang lebih masif daripada Matahari. Karbon-12 (bertanda “mulai/start”) bertindak sebagai katalis; berperan dalam proses ini namun tidak terpakai.

Sumber: Fasilitas Teleskop Nasional Australia



Gambar 8. The Sudbury Neutrino Observatory, tempat dimana saintis mengkonfirmasi model dari fusi nuklir

di dalam Matahari dengan mengamati fluks neutrino yang sebelumnya diprediksi. Jantung dari observatorium merupakan sebuah tanki besar berisi air berat. Inti deuterium (lihat teks) terkadang berinteraksi dengan neutrino untuk menghasilkan sebuah berkas cahaya yang dapat diamati.

Sumber: Sudbury Neutrino Observatory

Terdapat milyaran neutrino yang melewati tubuh kita setiap detiknya. Observatorium khusus neutrino dapat mendeteksi beberapa dari neutrino ini. Observatorium neutrino pertama hanya dapat mendeteksi sepertiga dari jumlah neutrino yang diperkirakan. Permasalahan neutrino ini bertahan selama 20 tahun, hingga akhirnya diselesaikan oleh Sudbury Neutrino Observatory (SNO) di Kanada (gambar 8). Pusat dari observatorium merupakan sebuah tangki air besar yang berisi air berat –air yang sebagian inti hidrogennya merupakan deuterium. Inti ini terkadang akan menyerap neutrino dan menghasilkan berkas cahaya. Terdapat tiga tipe neutrino, dua per tiga neutrino dari Matahari akan berubah menjadi tipe yang lain. SNO sensitif terhadap ketiga jenis neutrino sehingga dapat mendeteksi seluruh neutrino yang diprediksi teori.

KEHIDUPAN MATAHARI DAN BINTANG:

Metode penelitian sains merupakan konsep dasar dalam menjelaskan sains, sehingga kita harus mulai dari menjelaskan bagaimana para astronom dapat memahami evolusi bintang:

- Dengan menggunakan simulasi komputer yang berdasar hukum fisika yang telah dijelaskan sebelumnya.
- Dengan mengamati bintang di langit, yang mana bervariasi pada setiap tahap evolusi, kemudian tahapan itu akan disatukan pada suatu urutan evolusi bintang
- Dengan mengamati gugus bintang: sekumpulan bintang yang terbentuk dari satu awan debu dan gas, pada satu waktu namun dengan massa yang berbeda. Terdapat ribuan gugus bintang di galaksi kita. Hyades, Pleiades, dan sebagian besar bintang di Ursa Major sebenarnya adalah gugus bintang yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Gugus bintang merupakan “laboratorium alam”: sekelompok bintang terbentuk dari material yang sama, tempat yang sama, serta pada waktu yang bersamaan. bintang-bintang ini hanya berbeda pada massanya. Karena gugus yang berbeda memiliki umur yang berbeda, kita dapat melihat bagaimana sekumpulan bintang dengan massa yang berbeda akan terlihat pada usia yang berbeda setelah mereka lahir.
- Dengan mengamati secara langsung tahapan evolusi yang terjadi secara cepat. Hal ini akan sangat jarang terjadi, karena tahap ini hanya terjadi pada sebagian kecil dari siklus kehidupan bintang
- Dengan mempelajari perubahan periode dari bintang variabel. Perubahan yang terjadi sangat kecil, namun dapat diamati. Periode bintang ini bergantung pada radius bintang. Ketika radius berubah akibat evolusi, periodenya maka juga akan ikut berubah. Perubahan periode

dapat dihitung menggunakan pengamatan jangka panjang dan sistematis dari bintang

Metode pertama, menggunakan simulasi komputer, merupakan metode yang sama yang digunakan untuk menentukan struktur bintang. Setelah struktur bintang diketahui, maka kita dapat mengetahui temperatur dan kerapatan pada tiap titik di dalam bintang, dan kita dapat memperhitungkan bagaimana komposisi kimia dapat berubah akibat dari proses term nuklir yang terjadi. Perubahan komposisi ini kemudian dapat dihubungkan dengan model selanjutnya, yakni model evolusi bintang.

Bintang variabel berdenyut paling terkenal disebut sebagai *Cepheids*, yang diambil dari bintang Delta Cephei, yang merupakan contoh bintang yang terang. Terdapat hubungan antara variasi periode dari bintang Cepheid dan luminositasnya. Dengan menghitung periodenya, astronomer dapat menentukan luminositas dan jarak dapat ditentukan dengan hukum kuadrat kebalikan dari kecerlangan. Cepheid merupakan objek yang penting untuk menentukan ukuran dan skala umur dari alam semesta.

Pada aktivitas 5, siswa dapat mengamati bintang variabel, melalui proyek, seperti Langit Masyarakat. Hal ini dapat membuat para siswa mengembangkan berbagai kemampuan dalam sains maupun matematika, dengan melakukan aktivitas sains, bahkan mungkin bisa berkontribusi dalam pengetahuan astronomi.

KEHIDUPAN DAN KEMATIAN MATAHARI DAN BINTANG

Fusi hidrogen merupakan proses yang sangat efisien. Proses inilah yang dapat menyebabkan bintang memancarkan cahaya selama hidupnya. Reaksi fusi terjadi paling cepat di daerah pusat bintang, dimana temperatur dan kerapatannya paling tinggi. bintang kemudian membentuk inti helium yang kemudian mengembang ke arah luar. Saat ini terjadi, inti bintang harus semakin panas dengan cara menyusut, supaya hidrogen disekitar inti helium bisa cukup panas untuk melakukan reaksi fusi. Hal ini menyebabkan lapisan luar dari bintang bisa mengembang –perlahan, kemudian menjadi cepat. Lalu bintang akan menjadi bintang raksasa merah, mencapai ukuran ratusan kali lebih besar dari Matahari. Kemudian pusat dari inti helium akan menjadi cukup panas untuk melakukan reaksi fusi helium menjadi karbon. Fusi ini akan mengimbangi tarikan ke dalam dari gravitasi, namun tidak akan terjadi terlalu lama, karena fusi helium tidak seefektif fusi hidrogen. Sekarang inti karbon akan menyusut, dan kemudian menjadi panas, dan lapisan luar bintang mengembang menjadi bintang yang lebih besar dari raksasa merah. bintang yang paling masif akan mengembang menjadi ukuran yang jauh lebih besar lagi, menjadi bintang super raksasa merah.

Sebuah bintang akan mati ketika bahan bakarnya telah habis. Ketika itu terjadi, tidak ada lagi energi yang dapat membuat bagian dalam bintang panas dan cukup untuk menghasilkan tekanan gas yang dapat menahan gravitasi yang dapat meruntuhkan bintang. Jenis kematian bintang akan bergantung pada massa bintangnya.

Lamanya kehidupan bintang juga bergantung dengan massanya: bintang dengan massa rendah memiliki luminositas rendah dan memiliki waktu hidup yang sangat lama –puluhan milyar tahun. Massa dengan massa besar memiliki luminositas tinggi dan usia yang pendek –jutaan tahun. Sebagian besar bintang adalah bintang bermassa sangat rendah dan masa hidup mereka melebihi usia alam semesta sekarang.



Gambar 9. Nebula Helix, sebuah nebula planet. Gas-gas di nebula dilontarkan dari bintang selama fase evolusi raksasa merahnya. Inti bintang itu adalah katai putih panas. Katai putih bisa dilihat, samar-samar, di tengah nebula.

Sumber: NASA.

Sebelum bintang mati, bintang akan kehilangan massa. Selama bintang menggunakan bahan bakar hidrogen terakhirnya dan kemudian helium, bintang akan membengkak menjadi bintang raksasa merah, radiusnya ratusan kali lebih besar dari Matahari, dan volumenya milyaran kali lebih besar dari Matahari. Pada aktivitas 4, siswa dapat membuat model skala, untuk menggambarkan perubahan ukuran dari bintang selama ia berevolusi. Gravitasi di lapisan luar pada raksasa merah sangat kecil. Juga bintangnya akan menjadi tidak stabil untuk berdenyut, ekspansi, dan kontraksi yang berirama. Karena ukuran raksasa merah yang besar, membutuhkan berbulan-bulan hingga tahun untuk menyelesaikan satu siklus denyutan. Hal ini menyebabkan lapisan luar bintang kemudian lepas ke ruang angkasa, membentuk planetari nebula di sekitar bintang yang akan mati (gambar 9). Gas didalam planetari nebula akan tereksitasi dan menjadi berpijar akibat dari cahaya ultraviolet dari inti bintang yang panas. Pada akhirnya, gas ini akan menjauh dari bintang dan bergabung dengan gas dan debu lain untuk membentuk nebula baru tempat di mana bintang baru akan terbentuk.

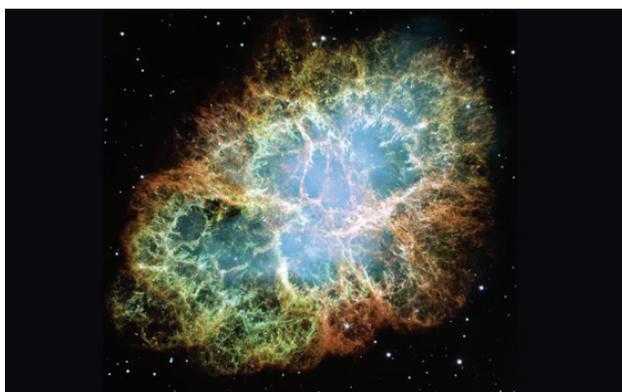
Kehidupan bintang masif sedikit berbeda daripada bintang massa rendah. Pada bintang massa rendah, energi dipindahkan dari dalam keluar melalui radiasi. Pada inti bintang masif, energi ditransportasikan melalui konveksi, sehingga inti dari bintang tercampur seluruhnya. Setelah hidrogen terakhir terpakai di dalam inti, bintang akan berubah dengan sangat cepat menjadi raksasa merah. Untuk kasus bintang bermassa rendah perubahan ini terjadi secara perlahan.

Bintang harus memiliki massa lebih dari 0,08 kali dari massa Matahari. Jika tidak, maka bintang tidak akan cukup panas dan rapat pada bagian intinya untuk dapat membuat reaksi

fusi hidrogen. bintang yang paling masif memiliki massa hingga ratusan kali massa Matahari. bintang yang lebih masif lagi akan sangat kuat hingga radiasinya sendiri akan mencegahnya untuk terbentuk, dan membentuk bentuk yang stabil.

Bintang Bermassa Rendah (Umum ditemukan)

Bintang dengan massa awal kurang dari delapan kali massa Matahari, proses kehilangan massa akan menyebabkan intinya menjadi 1,4 kali massa Matahari. Inti bintang ini tidak memiliki bahan bakar termonuklir. Tarikan ke dalam dari gravitasi diimbangi oleh tekanan keluar dari elektron. Elektron mencegah penyusutan lanjutan karena terdapat Prinsip Larangan Pauli – hukum teori kuantum, bahwa terdapat batas ambang jumlah elektron yang dapat berada pada suatu volume tertentu. Inti ini kemudian kita sebut sebagai bintang katai putih. Katai putih memiliki massa kurang dari 1,44 kali massa Matahari. Batas massa ini disebut batas Chandrasekhar, karena astronomer India-Amerika dan penerima Nobel Subrahmanyan Chandrasekhar menunjukkan, bahwa bintang katai putih yang lebih masif daripada massa itu akan runtuh akibat massanya sendiri.



Gambar 10. Nebula Kepiting, sisa ledakan supernova yang direkam oleh para astronom di Asia pada tahun 1054 Masehi. Inti dari bintang yang meledak adalah bintang neutron yang berputar cepat, atau pulsar, di dalam nebula. Sebagian kecil dari energi rotasi ditransmisikan ke nebula, membuatnya bersinar.

Sumber: NASA.

Bintang katai putih merupakan titik terakhir dari evolusi bintang pada umumnya. bintang ini sangat umum ditemui di galaksi kita. Meskipun mudah ditemui namun bintang ini sangat sulit untuk diamati: karena bintangnya berukuran tidak lebih besar dari Bumi, meskipun panas, area radiatifnya sangat sempit. Luminositasnya ribuan kali lebih kecil daripada Matahari. Katai putih meradiasi hanya karena ia benda yang sangat panas, secara perlahan mendingin dengan meradiasikan energinya. bintang terang, seperti Sirius dan Procyon memiliki bintang katai putih yang mengorbit mengelilinginya. bintang katai putih ini tidak memiliki sumber energi selain dari panas yang disimpannya. Mereka bekerja seperti bara api, yang secara perlahan mendingin. Setelah milyaran tahun, mereka akan mendingin seluruhnya dan menjadi dingin dan gelap.

Bintang Bermassa Besar (Jarang ditemukan)

Bintang masif dengan massa besar sangat panas dan terang, namun bintang ini sangat jarang ditemukan. Mereka memiliki umur yang sangat pendek, hanya beberapa juta tahun. Inti dari bintang masif sangat panas dan cukup rapat untuk dapat melakukan reaksi fusi elemen hingga menjadi besi. Inti besi tidak lagi memiliki energi, baik untuk fusi maupun fisi. Tidak ada lagi sumber energi untuk menjaga inti tetap panas dan menahan gaya gravitasi ke dalam. Gravitasi menyebabkan inti bintang runtuh dalam hitungan detik, mengubahnya menjadi bola yang berisi neutron (atau materi aneh lain) dan melepaskan energi gravitasi yang sangat besar. Peristiwa ini menyebabkan lapisan luar dari bintang meledak sebagai supernova (gambar 10). Lapisan luar bintang ini dilontarkan dengan kecepatan hingga 10.000 km/detik.

Sebuah supernova, pada kecerlangan maksimumnya, dapat seterang satu galaksi yang berisi milyaran bintang. Baik Tycho Brahe dan Johannes Kepler, keduanya mengamati dan mempelajari supernova terang pada 1572 oleh Brahe dan 1604 oleh Kepler. Menurut Aristotle, bintang merupakan benda yang sempurna dan tidak akan berubah; sedangkan Brahe dan Kepler membuktikan kebalikannya. Tidak ada supernova yang teramati di Galaksi kita selama 400 tahun. Sebuah supernova, terlihat dengan mata telanjang, teramati pada tahun 1987 di Awan Magellan Besar, sebuah satelit galaksi dari Bimasakti.

Massa dari inti supernova nilainya lebih besar dari limit Chandrasekhar. Proton dan elektron pada saat terjadi keruntuhan inti akan mengalami fusi dan membentuk neutron dan neutrino. Ledakan jumlah neutrino dapat dideteksi menggunakan observatorium neutrino. Selama massa inti kurang dari tiga kali massa Matahari, maka inti akan tetap stabil. Gaya gravitasi ke dalam akan diimbangi oleh tekanan kuantum dari neutron ke arah luar. Benda ini disebut sebagai bintang neutron. Diameternya sekitar 10 km dengan kerapatan 10^{14} kali kerapatan air. bintang neutron dapat dilihat menggunakan teleskop sinar-X jika masih sangat panas, namun dahulu bintang neutron ditemukan menggunakan cara yang tidak biasa, yakni dari suatu sumber denyutan gelombang radio yang disebut pulsar. Periode denyutannya sekitar satu detik atau bahkan kurang. Denyutannya dihasilkan oleh medan magnet kuat di bintang neutron yang dilontarkan dengan kecepatan sangat tinggi akibat dari rotasi bintang yang sangat cepat.

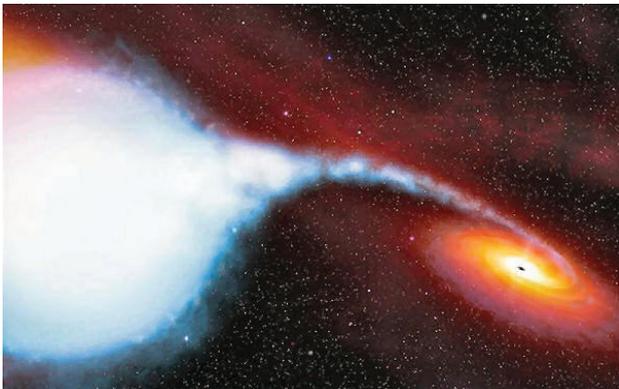
Terdapat jenis lain dari supernova yang terjadi pada sistem bintang ganda, ketika satu bintang mati dan menjadi katai putih. Ketika bintang kedua mulai mengembang, bintang ini dapat mengalirkan gas ke bintang katai putih pasangannya. Jika massa katai putih menjadi lebih besar dari limit Chandrasekhar, maka katai putih akan ‘terbakar sangat cepat’; materialnya akan mengalami reaksi fusi dan dalam waktu yang sangat singkat akan menjadi karbon, melepaskan cukup energi untuk menghancurkan bintang itu.

Pada ledakan supernova, semua elemen kimia yang diproduksi oleh reaksi fusi dilontarkan ke luar angkasa. Unsur-unsur yang lebih berat dari besi diproduksi dalam ledakan, meskipun jumlahnya sedikit, karena neutron meradiasi inti yang lebih ringan yang dilontarkan.

Bintang Sangat Masif (Sangat jarang)

Bintang dengan massa sangat besar sangat jarang ditemukan –satu bintang dari satu milyar. bintang-bintang ini memiliki luminositas hingga jutaan kali luminositas Matahari dan umurnya sangat pendek. bintangnya sangat masif sehingga saat bahan bakarnya habis, intinya akan runtuh, dan massanya lebih dari tiga kali massa Matahari. Gravitasinya sangat besar bahkan dapat melebihi tekanan kuantum dari neutron. Inti bintang akan terus menyusut hingga kerapatannya sangat rapat hingga gaya gravitasinya mencegah apapun untuk lepas, bahkan cahaya juga tidak bisa lepas. Lalu bintang ini menjadi benda yang disebut lubang hitam. Lubang hitam sama sekali tidak meradiasikan apapun, namun jika terdapat bintang normal di dekatnya, bintang tetangga bisa bergerak mengorbit lubang hitam. Gerak dari bintang ini dapat diamati untuk mendeteksi lubang hitam dan mengestimasi massanya. Selanjutnya sejumlah gas dari bintang dapat ditarik menuju lubang hitam dan akan memanaskan hingga terlihat menyala pada daerah sinar-X sebelum jatuh ke dalam lubang hitam (gambar 11). Lubang hitam merupakan sumber kuat dari sinar-X dan ditemukan menggunakan teleskop sinar-X.

Pada pusat dari banyak galaksi, termasuk Bimasakti kita, astronom telah menemukan lubang hitam supermasif yang massanya jutaan hingga milyaran kali massa Matahari. Massanya dihitung dari efek yang diciptakannya terhadap bintang-bintang disekitarnya di dekat pusat galaksi. Lubang hitam supermasif kemungkinan terbentuk sebagai bagian dari proses pembentukan galaksi, namun belum jelas bagaimana ini bisa terjadi. Salah satu tujuan astronomi pada abad ke-21 adalah memahami bagaimana bintang pertama, galaksi, dan lubang hitam supermasif ini dapat terbentuk, sesaat setelah lahirnya alam semesta



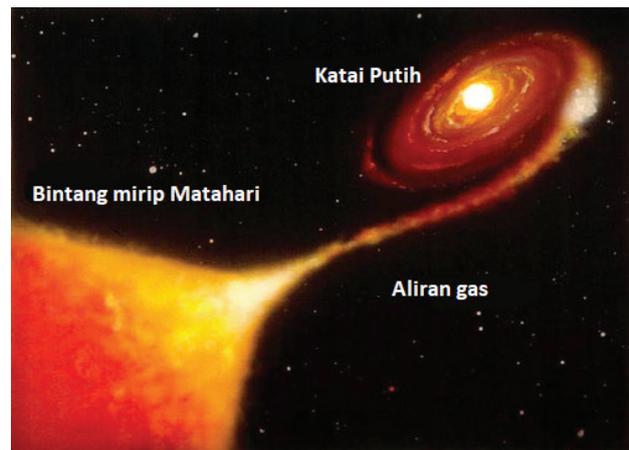
Gambar 11. Ilustrasi bintang ganda sumber sinar X, Cygnus X-1. Sistem ini terdiri dari bintang normal masif (kiri), dan lubang hitam (kanan), sekitar 15 kali massa Matahari, dalam orbit bersama. Beberapa gas dari bintang normal ditarik ke dalam piringan akresi di sekitar lubang hitam, dan akhirnya ke dalam lubang hitam itu sendiri. Gas-gas tersebut dipanaskan hingga temperatur yang sangat tinggi, menyebabkannya memancarkan sinar-X.

Sumber: NASA.

Bintang Variabel Kataklimik

Sekitar setengah dari bintang yang ada di alam semesta adalah bintang ganda, dua atau lebih pada satu orbit. Seringkali orbitnya sangat besar dan dua bintang tidak akan saling mempengaruhi evolusi satu sama lain. Namun jika orbitnya cukup kecil, kedua bintang dapat berinteraksi, terutama jika salah satunya mengembang menjadi raksasa merah. Jika salah satu bintang mati menjadi katai putih, bintang neutron, atau lubang hitam, maka bintang normalnya akan mengalirkan materi ke dalam bintang yang sudah mati dan banyak hal menarik dapat terjadi (gambar 12). Sistem bintang ganda bervariasi kecerlangannya, karena berbagai penyebab dan dikenal sebagai bintang variabel kataklismik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bintang katai putih dapat meledak sebagai supernova jika cukup massa tertransfer kepadanya. Jika bintang normalnya mengalirkan materi yang kaya akan hidrogen kepada katai putih, maka materialnya dapat meledak melalui fusi hidrogen, sebagai nova. Materi yang jatuh ke dalam katai putih, bintang neutron, atau lubang hitam dapat menjadi sangat panas, karena terjadi perubahan energi potensial gravitasi menjadi panas, dan memproduksi radiasi energi tinggi, seperti sinar-X.

Pada ilustrasi lubang hitam (gambar 11) dapat dilihat, bahwa terdapat piringan akresi dari gas di daerah sekitar lubang hitam dan aliran gas dari bintang normal mengalir menuju lubang hitam.



Gambar 12. bintang variabel kataklismik. Materi ditarik dari bintang normal (kiri) menuju katai putih (kanan). Materi ini menabrak cakram akresi di sekitar katai putih, yang menyebabkan kecerlangannya berkerlip. Materi pada akhirnya jatuh di katai putih, di mana materi tersebut bisa menyala atau meledak.

Sumber: NASA.

KELAHIRAN MATAHARI DAN BINTANG

Kelahiran bintang sedang terjadi saat ini. Karena sebagian besar bintang masif hanya memiliki usia beberapa juta tahun, dan usia alam semesta lebih dari 10 milyar tahun, maka bisa diduga, bahwa bintang masif ini belum lama lahir. Lokasi bin-

tang masif ini menunjukkan suatu petunjuk: mereka ditemukan di dalam dan di dekat awan debu dan gas besar yang disebut nebula. Gas ini mengandung ion, atom, dan molekul, yang sebagian besar hidrogen, juga terdapat helium, dan terdapat elemen yang lebih besar, namun dalam jumlah yang sangat sedikit. Sedangkan debunya terdiri dari butiran silikat dan grafit, dengan ukuran kurang dari satu mikrometer. Jumlah debu jauh lebih sedikit dari gas, namun debu memiliki peran penting di nebula. Debu menyebarkan molekul bisa terbentuk dengan cara melindunginya dari radiasi kuat dari bintang terdekat. Permukaan debu dapat menyediakan katalis dalam pembentukan molekul. Nebula besar dan terang yang paling dekat adalah Nebula Orion (gambar 13). bintang panas di nebula membuat atom gas nya berpendar. Debunya hangat dan akan memancarkan radiasi inframerah. Debu juga akan menghalangi cahaya dari bintang dan gas di belakangnya, menyebabkannya terlihat seperti tambalan gelap di nebula.



Gambar 13. Nebula Orion, awan gas besar dan debu tempat bintang (dan planetnya) terbentuk. Gas bersinar oleh fluoresensi. Debu menghasilkan bercak-bercak gelap, penyerapan yang bisa Anda lihat, terutama di kiri atas.

Sumber: NASA

Gravitasi merupakan gaya yang sifatnya menarik, sehingga tidak mengejutkan jika beberapa bagian dari nebula secara perlahan mengerut. Hal ini akan terjadi jika gaya gravitasi lebih besar daripada tekanan pada turbulensi awan tersebut. Tahap pertama dari pengerutan bisa juga dibantu oleh adanya gelombang kejut dari supernova yang berada di dekat awan atau akibat dari tekanan radiasi dari bintang masif didekatnya. Setelah pengerutan secara gravitasi dimulai, maka proses ini akan terus berlanjut. Sekitar setengah dari energi awan nebula ini dilepaskan akibat pengerutan gravitasi, hal ini akan membuat bintang panas. Sedangkan setengahnya lagi akan diradiasikan keluar. Ketika temperatur bintang di dalamnya mencapai 1.000.000 K, maka reaksi fusi termonuklir dari deuterium akan dimulai; ketika temperaturnya sedikit lebih panas lagi, reaksi fusi termonuklir hidrogen normal akan dimulai. Ketika energi yang diproduksi seimbang dengan energi yang diradiasikan, maka bintang secara 'resmi' sudah lahir.

Ketika penyusutan secara gravitasi pertama dimulai, materi yang ada memiliki rotasi yang sangat lambat (momentum sudut) akibat adanya turbulensi di awan. Selama proses penyusutan atau kontraksi berlangsung, akibat adanya hukum kekekalan momentum, rotasi dari materi di awan gas itu juga akan bertambah. Efek ini dapat dilihat pada atlet ski es, di mana ketika atlet ingin berputar dengan kecepatan tinggi, mereka akan melipat tangannya kedalam sehingga rotasinya akan meningkat. Selama rotasi dari calon bintang ini berlangsung, gaya sentrifugal akan menyebabkan materi di sekitar bintang untuk memipih membentuk piringan. bintang terbentuk di daerah dengan kerapatan tinggi di bagian tengah piringan. Planet terbentuk di dalam piringan itu, planet batuan terbentuk dekat dengan bintang sedangkan planet gas dan es terbentuk di daerah yang dingin di tepian piringan.

Di nebula seperti Nebula Orion, astronom telah mengamati bintang dengan berbagai jenis tahap pembentukan. Astronom telah mengamati piringan protoplanet di mana planet seperti planet di Tatasurya kita terbentuk. Dan pada tahun 1995, para astronom mulai menemukan planet-planet yang mengorbit bintang lain yang mirip Matahari. Hal ini membuktikan, bahwa terbentuknya planet ternyata normal dari hasil proses pembentukan bintang. Mungkin saja terdapat banyak planet mirip Bumi di luar sana, di alam semesta!

PUSTAKA

- Bennett, Jeffrey et al, *The Essential Cosmic Perspective*, Addison-Wesley; one of the best of the many available textbooks in introductory astronomy, 2005.
- Kaler, James B, *The Cambridge Encyclopaedia of Stars*, Cambridge Univ. Press, 2006.
- Percy, J.R, *Understanding Variable Star*, Cambridge University Press, 2007.

SUMBER INTERNET

- American Association of Variable Star Observers. <http://www.aavso.org>. Education project: <http://www.aavso.org/vsa>
- Chandra X-Ray Satellite webpage. http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/
- Kaler's "stellar" website. <http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html>
- Stellar Evolution on Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution

KOSMOLOGI

Julieta Fierro, Beatriz García, Susana Deustua

International Astronomical Union, Universidad Nacional Autónoma de México (México), National Technological University (Argentina), Space Telescope Science Institute (United States)

Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RANGKUMAN

Meskipun setiap objek ruang angkasa memiliki keunikannya masing-masing, memahami evolusi dari alam semesta merupakan subjek pelajaran yang memiliki daya tarik tersendiri. Walaupun kita terlahir di lingkungan Bumi, memahami apa yang kita tau tentang alam semesta ini adalah hal yang menarik.

Astronomi pada abad ke-19 berfokus pada mengatalogkan properti dari masing-masing objek astronomis: planet, bintang, nebula, dan galaksi. Pada akhir dari abad 20, fokusnya berubah menjadi memahami properti dari objek-objek seperti: gugus bintang, pembentukan galaksi, dan struktur alam semesta. Sekarang kita tahu usia dan sejarah alam semesta dan juga kita tahu bahwa ternyata alam semesta mengembang dipercepat, namun kita belum memahami sifat dari materi gelap. Dan penemuan hal baru masih terus berlangsung hingga sekarang.

Pada bagian ini akan digambarkan beberapa properti dari galaksi yang merupakan bagian dari struktur besar dari alam semesta. Kemudian akan dijelaskan mengenai model standar Big Bang dan juga bukti-bukti yang mendukung model ini.

TUJUAN

- Dapat memahami bagaimana alam semesta sudah berevolusi sejak Big Bang hingga sekarang
- Dapat mengetahui bagaimana materi dan energi diatur di alam semesta
- Menganalisis bagaimana para astronom belajar tentang sejarah alam semesta

GALAKSI

Galaksi terdiri dari bintang, gas, debu, dan juga materi gelap, dan galaksi dapat memiliki ukuran yang sangat besar, diameternya bisa lebih dari 300.000 tahun cahaya. Galaksi tempat Tata Surya berada, Bima Sakti, memiliki seratus miliar bintang. Di alam semesta terdapat miliaran galaksi yang mirip seperti ini.

Galaksi kita merupakan galaksi bertipe spiral, mirip dengan galaksi Andromeda (gambar 1a). Matahari bergerak mengelilingi pusat galaksi dan membutuhkan waktu sekitar 200 juta tahun untuk menyelesaikan satu putaran, dengan kecepatan-

nya sekitar 250 km/detik. Karena Tata Surya kita berada pada piringan galaksi, kita tidak dapat melihat galaksi kita secara keseluruhan, mirip seperti ketika kita berada di tengah hutan dan berusaha untuk mengambil gambar keseluruhan hutan. Galaksi kita disebut Bima Sakti. Dengan mata telanjang dari Bumi, jika kita melihat ke arah Bima Sakti kita dapat melihat banyak bintang tunggal dan sebuah sabuk yang lebar yang terdiri dari banyak bintang dan awan gas dan debu antar bintang. Struktur galaksi kita ditemukan melalui berbagai pengamatan menggunakan teleskop visual dan juga teleskop radio, dan dengan mengamati galaksi lain. (jika tidak ada cermin, maka kita dapat membayangkan muka kita dengan cara melihat muka orang lain). Kita menggunakan gelombang radio karena gelombang radio dapat menembus awan antar bintang, awan antar bintang tidak dapat ditembus oleh cahaya nampak, mirip dengan konsep mengapa kita dapat menerima sinyal radio (hp) meskipun berada di dalam ruangan.

Kita mengklasifikasikan galaksi menjadi 3 tipe. Galaksi irregular (tidak beraturan) merupakan galaksi yang kecil, dan memiliki banyak kandungan gas, efeknya memiliki kemampuan untuk membentuk bintang baru. Banyak dari galaksi tipe ini adalah galaksi satelit dari galaksi lain. Bima Sakti memiliki 30 satelit galaksi, dan yang pertama kali ditemukan adalah awan Magellan, yang mana dapat dilihat dari belahan Bumi bagian selatan.

Tipe kedua adalah tipe galaksi spiral, seperti galaksi kita. Pada umumnya galaksi tipe ini memiliki dua lengan yang baik dengan rapat atau longgar terputar membentuk spiral yang berasal dari bagian tengah galaksi yang disebut bulge. Inti dari galaksi seperti ini biasanya memiliki lubang hitam dengan massa jutaan kali massa Matahari. Bintang baru biasanya terbentuk pada daerah lengan galaksi, karena pada daerah ini materi antar bintang memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain sehingga meterinya dapat lebih mudah berkontraksi/menyusut menjadi bintang.

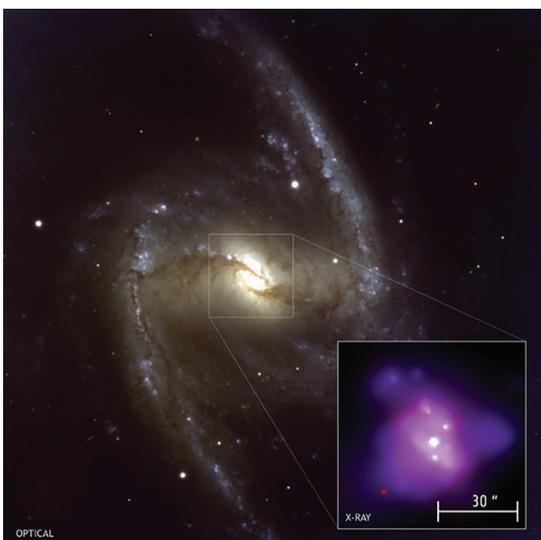




Gambar 1a: Galaksi Andromeda. Galaksi spiral sangat mirip dengan Bima Sakti kita sendiri. Matahari berada di tepi luar salah satu lengan galaksi kita. (Foto: Bill Schoening, Vanessa Harvey / program REU / NOAO / AURA / NSF). Gambar.1b: Awan Magellan Besar. Galaksi satelit tidak teratur dari Bimasakti yang dapat dilihat dengan mata telanjang dari belahan bumi selatan.

(Foto: ESA dan Eckhard Slawik)

Ketika lubang hitam di dalam inti galaksi menarik awan gas atau bintang, materinya terpanaskan dan sebelum jatuh ke dalam lubang hitam, beberapa bagian akan mengeluarkan jet gas yang berpendar yang bergerak menembus ruang angkasa dan memanaskan medium antar galaksi. Hal ini dikenal dengan inti galaksi aktif, dan sebagian besar galaksi spiral memilikinya.



Gambar 2a: Gambar optik galaksi NGC 1365 diambil menggunakan ESO VLT dan citra Chandra pada daerah sinar-X dekat dengan lubang hitam pusat. (Foto: NASA, ESA, Hubble Heritage (STScI / AURA) -ESA / Hubble Collaboration, dan A. Evans). Gambar 2b: Arp 194 - sistem dua galaksi berinteraksi dalam proses yang sangat spektakuler. Inti sedang bergabung, dan ekor biru dilepaskan

(Foto: NASA, ESA dan Hubble Heritage Team (STScI))



Gambar 3: Abell 2218 gugusan galaksi. Busur dapat dilihat, disebabkan oleh efek pelensaan gravitasi.

(Foto: NASA, ESA, Richard Ellis (Caltech) dan Jean-Paul Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees, Prancis)).

Galaksi tipe selanjutnya adalah galaksi yang terbesar yakni galaksi elips (meskipun terdapat juga galaksi elips yang kecil). Dipercaya bahwa galaksi tipe ini dan juga galaksi spiral besar, terbentuk ketika galaksi kecil bergabung satu sama lain. Beberapa bukti untuk mekanisme ini muncul dari adanya keanekaragaman usia dan juga komposisi kimia dari berbagai macam kelompok bintang di galaksi yang mengalami penggabungan.

Galaksi membentuk gugus galaksi, dengan ribuan galaksi. Galaksi elips raksasa biasanya berada pada daerah tengah gugus dan beberapa dari mereka memiliki dua inti akibat dari proses penggabungan dua galaksi.

Gugus dan supergugus galaksi terdistribusi di alam semesta dalam struktur seperti filamen mengelilingi daerah yang sangat luas. Perumpamaannya jika alam semesta ini merupakan gelembung, maka galaksi berada di permukaan gelembung.

KOSMOLOGI

Kita akan menjelaskan beberapa properti dari alam semesta tempat kita tinggal. Alam semesta terdiri dari materi, energi, dan ruang dan juga berevolusi seiring berjalannya waktu. Dimensi waktu dan ruangnya jauh lebih besar dibandingkan dengan yang kita pakai sehari-hari.

Kosmologi berusaha untuk menjawab pertanyaan dasar tentang alam semesta seperti: Dari mana kita berasal? Bagaimana alam semesta dimasa yang akan datang? Di mana kita? Berapa usia alam semesta?

Penting untuk disebutkan bahwa sains juga berkembang. Semakin banyak yang kita tahu, semakin kita menyadari bahwa banyak yang kita belum ketahui. Sebuah peta akan berguna meskipun peta tersebut hanya gambaran dari suatu tempat, seperti halnya sains yang mengijinkan kita untuk mengetahui gambaran dari alam, melihat beberapa aspeknya dan memprediksi suatu kejadian, semua berdasarkan pada asumsi yang masuk akal yang didukung dengan pengukuran dan data.

Dimensi alam semesta

Jarak antar bintang sangat jauh. Bumi berjarak 150 juta km dari Matahari dan Pluto berjarak 40 kali lebih jauh dari itu. Bintang terdekat berjarak 280.000 kali lebih jauh lagi dan galaksi terdekat dari kita jaraknya 10 miliar (10 000 000 000) kali lebih jauh. Filamen dari struktur galaksi besarnya 10 triliun (10 000 000 000 000) kali lebih jauh dari jarak Bumi ke Matahari.

Usia alam semesta

Alam semesta dimulai pada 13,7 miliar (13 700 000 000) tahun yang lalu. Tata surya baru terbentuk kemudian pada 4,6 miliar (4 600 000) tahun yang lalu. Kehidupan di Bumi muncul 3,8 miliar (3 800 000 000) tahun yang lalu dan dinosaurus punah 65 juta tahun yang lalu. Manusia modern baru muncul sekitar 150.000 tahun yang lalu.

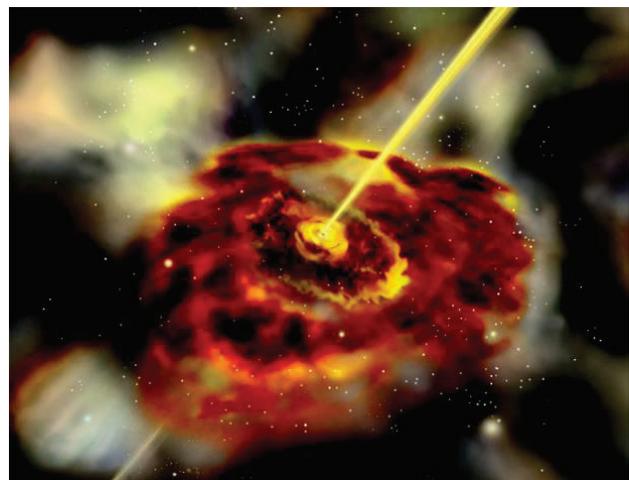
Kita menganggap bahwa alam semesta itu memiliki awal karena kita mengamati ternyata alam semesta mengembang secara cepat. Hal ini menunjukkan bahwa semua gugus galaksi bergerak saling menjauhi satu sama lain dan semakin jauh jarak antar mereka maka semakin cepat juga mereka menjauh.

Jika kita ukur laju pengembangannya, maka kita bisa mengestimasi kapan dulu alam semesta itu berada pada satu tempat yang sama. Perhitungan ini memberikan perkiraan usia alam semesta yakni 13,7 miliar tahun. Usia ini tidak berkontradiksi dengan evolusi bintang karena kita belum pernah mengamati bintang dan galaksi dengan usia lebih dari 13,5 miliar tahun. Peristiwa yang memulai pengembangan alam semesta diketahui sebagai Big Bang.

Mengukur Kecepatan

Kita dapat mengukur kecepatan bintang atau galaksi menggunakan efek Doppler. Pada kehidupan sehari-hari kita mengalami efek Doppler, yakni saat kita mendengar perubahan suara sirine ambulans atau polisi ketika mendekat dan kemudian menjauhi kita. Eksperimen sederhana yang bisa dilakukan adalah dengan menempatkan alarm pada kantong dengan tali yang panjang. Kemudian juga kantong tersebut diutar di atas kepala, maka kita dapat mendeteksi bahwa suara alarm akan berubah ketika mendekat dan menjauhi kita. Kita dapat menghitung kecepatan alarm tersebut dengan mendengarkan perubahan suaranya, semakin cepat perubahannya maka semakin cepat juga gerak alarm itu.

Cahaya diemisikan oleh benda astronomis juga mengalami perubahan frekuensi maupun perubahan warna yang dapat diukur bergantung dengan kecepatan saat benda itu mendekat atau menjauh. Panjang gelombang akan menjadi lebih panjang (memerah) jika bendanya menjauhi kita dan menjadi lebih pendek (biru) saat bergerak mendekati kita.





Gambar 4a: Ilustrasi artistik dari lubang hitam di tengah galaksi. (Foto: NASA E / PO - Sonoma State Univ.)
 Gambar 4b: Galaksi M87, contoh jet galaksi dari pengamatan sesungguhnya.

(Foto: NASA dan Tim Hubble Heritage).

Ketika alam semesta masih berada pada kondisi yang lebih mampat daripada sekarang, gelombang suara yang muncul kemudian membentuk daerah dengan kerapatan yang tinggi dan rendah. Supergugus galaksi terbentuk pada lokasi di mana kerapatan materinya paling tinggi. Ketika alam semesta mengembang, ruang antar daerah dengan kerapatan tinggi menjadi membesar dalam hal ukuran dan volume. Struktur filamen dari alam semesta merupakan hasil dari pengembangan alam semesta.

Gelombang Suara

Suara merambat melalui medium seperti udara, air, atau kayu. Ketika kita menghasilkan suara, kita membuat gelombang yang memampatkan materi di sekitarnya. Pemampatan materi ini membuat gelombang berjalan di sepanjang materi hingga ke telinga kita dan memampatkan gendang telinga kita, sehingga suara dapat dikirimkan ke indra pendengaran kita. Kita tidak dapat mendengar ledakan dari Matahari atau badai dari Jupiter karena ruang di antara benda ruang angkasa hampir hampa sehingga gelombang suara tidak bisa merambat.

Penting untuk ditekankan bahwa tidak ada pusat dalam proses pengembangan alam semesta. Jika menggunakan analogi dua dimensi, bayangkan jika kita berada di Paris di kantor UNESCO, dan Bumi mengembang. Maka kita akan mengamati bahwa semua kota akan saling menjauh satu sama lain, dan juga dari kita, namun kita tidak memiliki alasan untuk beranggapan bahwa kita merupakan pusat dari pengembangan ini, karena jika dilihat dari sudut pandang kota lain maka semua orang akan merasakan hal yang sama.

Meskipun dari sudut pandang kita, kecepatan cahaya sebesar 300.000 km/detik itu sangat cepat, namun kecepatan ini tidak cepat tak berhingga. Cahaya bintang membutuhkan ratusan tahun untuk dapat mencapai Bumi dan cahaya dari galaksi lain membutuhkan jutaan tahun untuk sampai Bumi. Semua infor-

masi yang kita ambil dari alam semesta membutuhkan waktu yang sangat lama untuk sampai, sehingga kita selalu hanya melihat bintang di masa lalunya, bukan kondisi bintang yang sebenarnya saat ini.

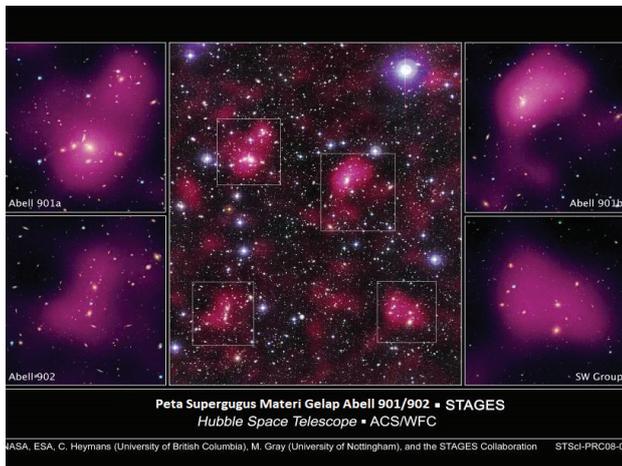
Terdapat objek yang sangat jauh sehingga cahayanya belum sempat sampai ke kita sehingga kita tidak dapat melihatnya. Bukan berarti bendanya tidak ada, namun karena benda tersebut terbentuk setelah cahaya di daerah itu sampai ke kita.

Kecepatan cahaya yang terbatas mengakibatkan beberapa implikasi pada astronomi. Distorsi ruang mempengaruhi lintasan yang dilalui cahaya, sehingga jika kita melihat galaksi pada suatu tempat, mungkin saja galaksi itu tidak berada pada di tempat itu sekarang, karena kurvatur ruang bisa mengubah posisi galaksi tersebut. Sebagai tambahan, bintang tidak lagi pada titik yang kita amati sekarang, karena bintang juga bergerak. Bintang-bintang itu juga wujudnya tidak lagi seperti yang kita lihat sekarang. Kita selalu melihat objek astronomis pada masa lalunya dan semakin jauh jarak mereka maka kita juga makin melihat masa lalunya yang lebih dahulu. Sehingga menganalisis objek yang mirip pada berbagai jarak sama saja dengan melihat objek pada waktu yang berbeda-beda pada masa evolusinya. Dengan kata lain kita dapat melihat sejarah dari bintang jika kita melihatnya dengan mengasumsikan bahwa bintang itu tipenya mirip namun dengan jarak yang berbeda.

Kita tidak dapat melihat tepi dari alam semesta karena cahaya dari tepian alam semesta belum sempat sampai ke Bumi. Alam semesta kita memiliki ukuran yang tidak terbatas, sehingga kita hanya melihat sebagian saja, yakni dengan radius 13,7 miliar tahun cahaya, yakni jarak yang ditempuh cahaya sejak Big Bang. Sumber cahaya memancarkan cahaya pada segala arah, sehingga pada bagian alam semesta yang berbeda menggambarkan kondisi alam semesta pada waktu yang berbeda pula.

Kita melihat suatu objek pada waktu saat objek itu mengemisikan cahayanya, karena cahaya membutuhkan waktu untuk mencapai kita. Hal ini menunjukkan bahwa kita tidak memiliki posisi yang khusus di alam semesta, semua pengamat dari galaksi lain juga dapat mengamati hal yang sama dari apa yang kita lihat.

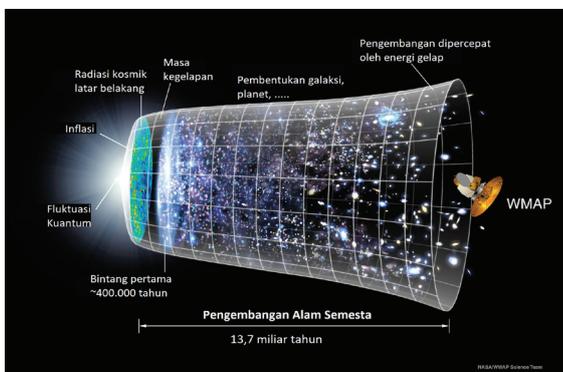
Seperti semua sains, di dalam astronomi dan astrofisika, semakin kita belajar tentang alam semesta semakin banyak pertanyaan yang kita temui. Sekarang kita akan mendiskusikan tentang materi gelap (*dark matter*) dan energi gelap (*dark energy*), untuk memberikan ide tentang seberapa besar apa ketidaktahuan kita tentang alam semesta.



Gambar 5: Sampai saat ini, lebih dari 300 awan debu dan gas yang gelap dan padat telah ditemukan, di mana proses pembentukan bintang terjadi. Super Cluster Abell 90/902.

(Foto: Teleskop Luar Angkasa Hubble, NASA, ESA, C. Heymans (Universitas British Columbia) dan M. Gray (Universitas Nottingham)).

Materi gelap tidak berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik, sehingga materi gelap tidak menyerap maupun memisalkan cahaya. Materi biasa, seperti yang ada dalam bintang, dapat memproduksi cahaya atau menyerapnya, begitu juga awan debu antar bintang. Materi gelap tidak sensitif terhadap semua radiasi, namun memiliki massa, sehingga memiliki gaya tarik gravitasi. Materi gelap ditemukan dari efeknya pada gerak benda-benda yang terlihat. Sebagai contoh, jika galaksi memiliki gerak mengelilingi ruang kosong, maka kita dapat meyakini bahwa sesuatu menarik galaksi menuju ke tempat itu. Seperti tata surya yang di tahan oleh gaya gravitasi Matahari, yang tetap menjaga planet dalam orbitnya, galaksi juga ternyata memiliki orbit diakibatkan benda yang menariknya. Sekarang kita tahu bahwa materi gelap itu ada pada masing-masing galaksi, dan ada di gugus galaksi juga, dan ternyata materi gelap merupakan pondasi dari struktur filamen alam semesta. Materi gelap merupakan tipe materi yang paling umum yang ada di alam semesta.



Gambar 6: Ekspansi Alam Semesta.

(Foto: NASA).

Sekarang kita juga tahu bahwa pengembangan alam semesta terjadi secara dipercepat. Hal ini berarti terdapat gaya yang melawan efek gravitasi. Energi gelap merupakan nama yang diberikan astronom untuk fenomena yang baru ditemukan ini. Jika tidak ada energi gelap, maka seharusnya pengembangan alam semesta terjadi diperlambat.

Pengetahuan kita sekarang tentang materi dan energi gelap yang terkandung di alam semesta adalah 74% energi gelap, 22% materi gelap, dan hanya 4% merupakan materi normal, yang bisa kita lihat (galaksi, bintang, planet, gas, debu). Sehingga pada dasarnya, sifat dan properti dari 96% dari alam semesta belum diketahui.

Masa depan dari alam semesta kita bergantung dengan jumlah materi terlihat, materi gelap, dan energi gelap. Sebelum penemuan materi gelap dan energi gelap, diperkirakan pengembangan alam semesta akan berhenti dan gravitasi akan membalikan pengembangan dan akan menghasilkan *Big Crunch*, yakni ketika semuanya akan kembali ke satu titik. Namun ketika keberadaan materi gelap diketahui, teori ini kemudian dimodifikasi.

Pengembangan alam semesta akan mencapai nilai konstan pada waktu yang tak berhingga di masa yang akan datang. Namun sekarang saat kita sudah tau keberadaan energi gelap, masa depan yang diduga adalah pengembangannya dipercepat, begitu juga dengan volume alam semesta. Akhir dari alam semesta akan menjadi sangat dingin, sangat gelap pada waktu yang tak berhingga.

PUSTAKA

- Greene, B., *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (2006)/*El tejido del cosmos* (2010)
- Fierro, J., *La Astronomía de México*, Lectorum, México, 2001.
- Fierro, J, Montoya, L., *La esfera celeste en una pecera*, El Correo del Maestro, México, 2000.
- Fierro J, Domínguez, H, *Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo*, Lectorum, México, 2005.
- Fierro J, Domínguez, H, *La luz de las estrellas*, Lectorum, El Correo del Maestro, México, 2006.
- Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, *Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo*, Alfaguara, 2006.
- Thuan, Trinh Xuan, *El destino del universo: Despues del big bang (Biblioteca ilustrada)*(2012) / *The Changing Universe: Big Bang and After* (New Horizons) (1993)
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Weinberg, Steven y Nestor Miguez, *Los tres primeros minutos del universo* (2009)

SUMBER INTERNET

- The Universe Adventure <http://www.universeadventure.org/> or <http://www.cpepweb.org>
- Ned Wright's Cosmology Tutorial (in English, French and Italian) <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>

SEJARAH ASTRONOMI

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay
Hemenway

International Astronomical Union, Williams College
(Massachusetts, USA), Astronomical Institute of the Romanian
Academy (Bucharest, Romania), University of Texas (Austin,
USA)

Penerjemah: Nova Resfita

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Survei singkat tentang Sejarah Astronomi ini menjelaskan gambaran umum asal usul astronomi dan perkembangannya di Eropa Barat hingga ke masa Isaac Newton.

TUJUAN

- Memberikan gambaran terstruktur tentang sejarah astronomi di berbagai belahan dunia dengan tujuan untuk menunjukkan bahwa astronomi selalu menjadi hal menarik bagi semua orang
- Memberikan daftar tokoh-tokoh utama yang berkontribusi dalam sejarah perkembangan astronomi hingga ke zaman Newton, seperti Tyco Brahe, Copernicus, Kepler dan Galileo.
- Waktu konferensi yang terbatas menyebabkan terhambatnya pencarian tentang perkembangan astronomi saat itu, namun penjelasan rinci dapat ditemukan di bab-bab selanjutnya.

ZAMAN PRASEJARAH

Pada zaman dahulu, dalam keadaan langit gelap, orang-orang kuno dapat melihat bintang-bintang terbit di langit bagian timur, bergerak ke atas, kemudian terbenam di bagian barat. Pada suatu arah tertentu, bintang-bintang tersebut bergerak dalam lingkaran kecil. Saat ini, ketika kita memandang langit ke arah utara, kita dapat melihat bintang pada posisi tersebut, yaitu Bintang Utara atau Polaris. Bintang ini bukan merupakan bintang yang sangat terang karena ada 48 bintang di langit yang bersinar lebih terang daripada Polaris, namun bintang Polaris ini berada di posisi yang menarik. Pada masa kuno, bintang-bintang lainnya disejajarkan dengan kutub utara bumi atau terkadang tidak terdapat bintang yang berada di sekitar kutub tersebut.

Dikarenakan seringnya orang-orang kuno memandang langit, mereka memperhatikan jika beberapa objek langit yang bersinar lebih terang tidak terbit dan terbenam secara bersamaan dengan bintang-bintang. Salah satunya bulan, yang merupakan objek paling bersinar terang di langit pada malam hari. Bulan muncul lebih terlambat hampir satu jam setiap malam

dan kemudian bersinar dengan latar belakang bintang-bintang yang berbeda. Bentuknya juga berubah-ubah, sehingga dinamakan fase bulan.

Namun, beberapa objek langit tersebut bergerak secara berbeda antara satu dan lainnya. Inilah yang disebut planet oleh orang-orang Yunani. Secara virtual, ketika penduduk bumi melihat objek di langit, mereka akan memberi nama objek tersebut.

Sebagian orang-orang kuno membangun monumen seperti lingkaran tegak, diantaranya Stonehenge di Inggris atau makam seperti di Menorca (Spanyol), yang disejajarkan dengan rasi Bintang Pari pada tahun 1000 Sebelum Masehi. Jika orang-orang Babilonia sangat kompeten dalam merekam fenomena astronomi, maka orang-orang Yunani menggunakan pengetahuan tersebut untuk menjelaskan tentang berbagai fenomena langit.

BANGSA YUNANI

Sebagian besar bangsa Yunani Kuno, termasuk Aristoteles (384-322 SM) berpendapat bahwa bumi merupakan pusat alam semesta yang dibangun oleh empat unsur yaitu tanah, udara, api dan air. Di luar bumi adalah elemen kelima, yaitu *aether* atau *quintessence* yang membentuk titik-titik cahaya di langit.

Bagaimana pengembara (planet) bergerak bersama bintang-bintang? Sebagian besar planet bergerak pada arah yang sama dengan arah gerak bintang, yaitu terbit dari bagian timur kemudian bergerak ke arah barat. Namun terkadang, planet berhenti dan kembali ke posisi semula sesuai dengan posisi bintang. Gerakan mundur ini disebut gerak "*retrograde*" yang berlawanan dengan "*prograde*" (gerak maju).

Astronomer Yunani seperti Claudius Ptolemy (sekitar abad ke 90-168 M) bekerja di Alexandria, Afrika Utara pada abad ke 2 Masehi. Ptolemy berkeinginan dapat memprediksi posisi planet-planet dan mengemukakannya dalam suatu solusi matematika. Dengan mengikuti konsep Aristoteles, Ptolemy menempatkan bumi sebagai pusat alam semesta. Bulan dan planet lainnya bergerak mengelilingi bumi dengan orbit lingkaran bertingkat dimana semakin besar orbit maka semakin jauh jaraknya dari bumi. Pusat lingkaran kecil berada di tepi lingkaran besar. Kemudian untuk gerakan pada orbit kecil, planet-planet tersebut terkadang akan bergerak lebih cepat dan berlawanan dengan pusat orbit yang bergerak maju. Sehingga bagi manusia di bumi, planet-planet tersebut terlihat bergerak berlawanan.

Orbit-orbit kecil tersebut dinamakan "*epicycles*" dan orbit-orbit besar disebut "*deferents*". Ide Ptolemy tentang orbit kecil yang bergerak dalam lingkaran ini mempengaruhi konsep ilmu barat yang telah berlangsung selama ribuan tahun. Melakukan observasi hingga hitungan matematika secara teori merupakan langkah yang penting dan unik dalam perkembangan ilmu barat.

Walaupun mereka tidak mempunyai nama yang sama dalam penamaan objek yang diobservasi, secara virtual setiap peradaban di bumi mengamati langit yang sama. Mereka menggunakan informasi tersebut untuk menentukan kalender dan memprediksi periode berbagai musim untuk bercocok

tanam, panen, atau berburu dan juga untuk upacara agama. Seperti halnya masyarakat Yunani, orang-orang kuno lainnya mengembangkan konsep matematika yang kompleks untuk memprediksi gerakan planet-planet atau fenomena gerhana, namun hal ini tidak berarti bahwa mereka menerapkan apa yang kita sebut sebagai teori ilmiah. Berikut beberapa contohnya:

Afrika

Di Afrika, terdapat batu-batu berdiri di Nabta, daerah Gurun Nubian yang berumur lebih tua 1000 tahun daripada Stonehenge. Orang-orang Mesir menggunakan astronomi untuk mensejajarkan piramida serta mengembangkan kepercayaan spiritual mereka terhadap bintang. Petroglif pada Namoratunga di Kenya juga menjelaskan aspek berternak modern pada zaman tersebut. Kepercayaan terhadap bintang-bintang muncul pada seluruh bagian Afrika, mulai dari daerah Dogon di Mali, hingga ke Afrika Barat, Ethiopia dan Afrika Selatan.

Astronomi Islam

Pada zaman perkembangan Islam, banyak perkembangan astronomi yang dilahirkan, terutama saat masa keemasan Islam (Islamic Golden Age) pada abad ke 8-15 Masehi dan sebagian besar ditulis dalam bahasa Arab. Pengetahuan astronomi tersebut dikembangkan di Timur Tengah, Asia Tengah, Andalusia, Afrika Utara dan kemudian hingga ke Asia Timur dan India. Sejumlah penamaan benda-benda langit dan istilah astronomi diambil dari nama-nama Arab penemunya, seperti Aldebaran, Altair, alidade, azimuth, almucantar dan lainnya. Bangsa Arab juga menciptakan angka-angka Arab, termasuk penggunaan angka nol. Mereka sangat tertarik dalam menemukan posisi dan waktu yang berguna untuk memudahkan mereka dalam melaksanakan shalat. Mereka juga menemukan banyak penemuan baru dalam bidang optik. Banyak terobosan yang berbahasa latin diterjemahkan ke bahasa Arab untuk keturunan mereka.

Observasi sistematis pertama dalam Islam diketahui dilakukan pada masa kepemimpinan Al Maamun (786-833 Masehi). Pada masa ini, di beberapa observatorium privat mulai dari Damaskus hingga ke Baghdad, sudut garis meridian diukur, parameter matahari ditentukan dan pengamatan rinci tentang matahari, bulan dan planet pun dilakukan.

Instrumentasi yang digunakan pada masa astronomi Islam diantaranya bola langit dan armillary, astrolab, jam matahari dan kuadran. Gambar 1 menunjukkan astrolab yang digunakan oleh astronomer Islam.



Gambar 1. Astrolab Arab

BANGSA AMERIKA

Amerika Utara

Bangsa asli Amerika Utara juga menamakan konstelasi mereka dan menceritakan tentang langit secara turun temurun kepada penerusnya. Beberapa artefak seperti roda batu atau penjajaran bangunan merupakan bukti penggunaan astronomi dalam kehidupan sehari-hari.

Astronomi Suku Maya

Bangsa Maya merupakan peradaban meso-Amerika yang tercatat sebagai satu-satunya bangsa yang mengembangkan bahasa tulisan secara keseluruhan pada zaman pra-Kolumbia di Amerika, sebagaimana juga seni, arsitektur, sistem matematika dan astronominya. Didirikan selama masa pra-Klasik (sekitar 2000 SM – 250 M), kota-kota bangsa Maya telah mencapai puncak perkembangan peradabannya selama masa Klasik (sekitar 250 – 900 M) dan berlangsung hingga masa post-Klasik hingga datangnya bangsa Spanyol. Bangsa Maya tidak pernah menghilang, baik sejak berakhirnya zaman klasik maupun datangnya penakluk Spanyol dan periode penjajahan Spanyol di Amerika.

Astronomi bangsa Maya merupakan salah satu ilmu astronomi kuno yang terkenal didunia, terutama tentang kalendernya yang terkenal, yang salah diinterpretasi sebagai prediksi berakhirnya dunia. Maya juga merupakan satu-satunya peradaban pre-teleskopik yang mendemonstrasikan pengetahuan tentang Nebula Orion yang bersifat kabur, tidak seperti bintang yang membentuk satu titik.

Bangsa Maya sangat tertarik dengan jalur zenit, yaitu waktu ketika matahari bergerak tepat di atas kepala. Garis lintang dari sebagian besar kota-kotanya berada lebih rendah dari *Tropic of Cancer*, dimana pada jalur zenit ini memungkinkan matahari untuk berada tepat di atas kepala dua kali dalam setahun. Untuk merepresentasikan posisi matahari tepat berada

di atas kepala, bangsa Maya memiliki Dewa yang dinamakan *Diving God*.



Gambar 2. Chichén Itzá (Meksiko) sebagai salah satu situs arkeologi penting bagi perkembangan astronomi Suku Maya

Venus merupakan objek astronomi paling penting bagi bangsa Maya, bahkan lebih penting dibanding matahari. Kalender Maya merupakan sistem kalender dan almanak yang digunakan pada zaman peradaban Maya saat pra-Kolumbia Meso-Amerika dan beberapa komunitas bangsa Maya modern di daerah perbukitan di Guatemala dan Oaxaca, Meksiko.

Walaupun kalender Meso-Amerika tidak berasal dari Bangsa Maya, pengembangan dan perbaikannya merupakan sistem kalender yang paling canggih. Sama halnya dengan kalender bangsa Aztec, kalender Maya merupakan kalender yang terdokumentasi paling baik dan dapat dipahami secara menyeluruh.

Astronomi Suku Aztec

Bangsa Aztec merupakan grup etnis tertentu di Meksiko Tengah, khususnya orang-orang yang berbahasa Nahuatl dan mendominasi sebagian besar Meso-Amerika pada abad ke-14, 15, dan 16 Masehi, periode pada masa akhir zaman post-klasik dalam kronologi masa Meso-Amerika.

Budaya dan sejarah Bangsa Aztec awalnya diketahui melalui bukti peninggalan arkeologi yang ditemukan pada saat penggalian seperti Templo Mayor di ibukota Meksiko dan penemuan lainnya, seperti kodeks kertas kulit asli, laporan saksi mata oleh penjajah Spanyol atau deskripsi abad ke-16 dan 17 tentang budaya dan sejarah Aztec yang ditulis oleh pendeta Spanyol dan penjelasan tentang Aztec dalam bahasa Spanyol atau bahasa Nahuatl.

Kalender Aztec atau Batu Matahari merupakan monolit paling awal yang tersisa dari budaya pra-Hispanik di Amerika Tengah dan Selatan yang diyakini diukir sekitar tahun 1479. Kalendernya merupakan monolit melingkar dengan empat lingkaran konsentris. Pada bagian tengah terdapat wajah Tonatiuh (Dewa Matahari) yang dihiasi dengan batu giok dan memegang pisau dengan mulutnya. Empat matahari atau "dunia" sebelumnya direpresentasi oleh figur berbentuk persegi yang menggapit Matahari Kelima ditengahnya. Bagian lingkaran terluar terdiri atas 20 area yang mewakili hari dalam sistem 18 bulan kalender Aztec. Untuk melingkupi 365 hari dalam

sistem kalender matahari, Bangsa Aztec memasukkan 5 hari pengorbanan atau *Nemontemi*.

Sama halnya dengan sebagian besar bangsa kuno, bangsa Aztec berkelompok berdasarkan konstelasi yaitu, *Mamalhualtli* (Sabuk Orion), *Tianquiztli* (Pleiades), *Citlaltlactli* (Gemini), *Citlalcolotl* (Scorpio) dan *Xonecuilli* (Biduk). Komet dinamakan "bintang yang berasap".

Periode besar/agung dalam kosmologi Aztec ditentukan oleh era matahari yang berbeda dimana periode berakhirnya ditentukan oleh bencana besar seperti kerusakan oleh jaguar, angin topan, kebakaran, banjir atau gempa bumi.

Astronomi Suku Inca

Peradaban suku Inca merupakan suatu peradaban grup Andean pra-Kolumbia yang dimulai sejak abad ke-13 di lembah Cuzco, Peru dan saat ini berkembang disepanjang Samudra Pasifik dan Andes, meliputi bagian barat dari benua Amerika Selatan. Pada masa puncaknya, peradaban ini berkembang dari Kolumbia ke Argentina dan Chile, melewati Equador, Peru dan Bolivia.

Bangsa Inca menganggap rajanya, Sapa Inca, sebagai "anak matahari". Anggotanya merupakan area gelap atau nebula gelap di galaksi Bima Sakti yang dianggap sebagai binatang, dan menghubungkan kemunculannya dengan hujan musiman.

Bangsa Inca menggunakan kalender matahari untuk bercocok tanam dan kalender bulan untuk libur keagamaan. Berdasarkan pengakuan para penakluk Spanyol, dibagian pinggiran kota Cuzco terdapat suatu papan jadwal publik yang terdiri atas 12 kolom dengan tinggi 5 meter dan dapat diamati dari kejauhan. Papan jadwal publik ini digunakan untuk menentukan tanggal. Suku Inca tersebut merayakan dua pesta utama, yaitu *Inti Raymi* (titik balik matahari musim panas) dan *Capac Raymi* (titik balik matahari musim dingin).

Bangsa Inca juga memiliki konstelasi khusus, diantaranya *Yutu* (ayam hutan) yang merupakan area gelap pada galaksi Bima Sakti yang dikenal dengan istilah "*Coal Sack*". Mereka menamakan kluster Pleiades sebagai *Qollqa*. Dengan melihat bintang-bintang pada konstelasi Lira, bangsa Inca menggambarkan satu dari hewan yang paling terkenal bagi mereka dan menamakannya "*Little Silver Llama*" atau Llama berwarna yang memiliki bintang paling bersinar (Vega) adalah *Urkuchilay*, walaupun menurut pihak lain, nama tersebut merupakan konstelasi secara keseluruhan. Selain itu juga terdapat *Machacuay* (ular), *Hamp'atu* (katak), *Atoq* (rubah), *Kuntur* dan lainnya.

Kota-kota utama dibangun menurut deret astronomi dan menggunakan titik mata angin. Di daerah perbatasan kota Cuzco terdapat suatu kuil penting yang didedikasikan untuk matahari (*Inti*), yang dari kuil ini ditarik beberapa garis dalam bentuk radial yang membagi lembahnya menjadi 328 kuil. Jumlah kuil tersebut masih menjadi misteri, namun satu hal yang dapat menjelaskan hubungannya dengan astronomi adalah hitungannya yang tepat dengan jumlah hari yang terdapat dalam duabelas bulan pada kalender bulan. Sementara 37 hari yang hilang dalam 365 hari dalam kalender matahari bertepatan dengan hari-hari ketika kluster Pleiades tidak dapat diobservasi dari kota Cuzco.

INDIA

Referensi tertulis paling awal yang diberikan dalam literatur keagamaan India (milenium ke-2 Sebelum Masehi) menjadi tradisi yang dilakukan oleh bangsa India di zaman millennium ke-1 disaat cabang-cabang ilmu pengetahuan baru mulai dikenalkan.

Selama beberapa abad kemudian, sekelompok astronom India mempelajari berbagai aspek ilmu astronomi dan wacana global dengan berbagai budaya lainnya. Gnome dan bola armilari merupakan instrumen yang umum digunakan.

Kalender Hindu yang digunakan pada masa kuno telah mengalami berbagai perubahan dalam proses regionalisasi dan saat ini terdapat beberapa kalender regional India, termasuk kalender nasional India. Dalam kalender Hindu, hari berawal dengan adanya matahari terbit secara lokal. Kalender ini dibagi menjadi lima "ciri-ciri" yang dinamakan dengan "angas".

Ekliptika yang dimiliki dibagi menjadi 27 *nakshatra* yang dinamakan rumah bulan atau asterisme. *Nakshatra* ini merepresentasikan siklus bulan terhadap bintang-bintang yang letaknya tetap, 27 hari dan 72 jam, dan sebagian yang menjadi bagian dari *nakshatra* ke-28. Perhitungan *nakshatra* muncul pada periode Rig Veda (dari zaman Milenium ke-2 hingga ke-1 Sebelum Masehi).

CINA

Bangsa Cina dikenal sebagai pengamat yang paling gigih dan akurat dalam mengamati fenomena astronomi di dunia sebelum bangsa Arab. Rekaman lengkap tentang observasi astronomi dimulai sejak masa Warring States (abad ke-4 SM) dan terus dikembangkan dari zaman Han ke periode kekuasaan selanjutnya.

Beberapa elemen dalam astronomi India menjangkau Cina dengan ekspansi penganut agama Budha selama masa dinasti Han Terakhir (abad ke 25-220 M), namun sebagian besar penyatuan astronomi India yang sangat detil terjadi pada masa dinasti Tang (618-907 M).

Astronomi kemudian hidup kembali dengan adanya stimulus ilmu kosmologi dari barat dan teknologi setelah bangsa Katolik Roma memulai misi mereka. Teleskop mulai dikenalkan di abad ke-17 M. Peralatan dan inovasi yang digunakan dalam astronomi Cina diantaranya bola armilari, bola langit, bola armilari bertenaga air dan menara bola langit.

Astronomi Cina lebih fokus pada observasi dibanding teori. Menurut penuturan Jesuits yang datang ke Beijing pada abad ke-17 M, bangsa Cina telah memiliki data sejak tahun 4000 SM, termasuk tentang ledakan supernova, gerhana dan penampakan komet.

Pada tahun 2300 SM, mereka mengembangkan kalender matahari yang pertama kali dikenal, dan pada tahun 2100 SM, mereka merekam fenomena terjadinya gerhana matahari. Selanjutnya pada tahun 1200 SM, mereka menggambarkan bintik matahari, yang dinamai dengan "bercak gelap" matahari. Pada tahun 532 SM, mereka merekam munculnya bintang supernova di konstelasi Aquilla, dan pada tahun 240 dan 164 SM mereka melihat komet Halley melintas. Kemudian pada tahun

100 SM, bangsa Cina menciptakan kompas dengan menandakan arah utara.

Pada masa selanjutnya, mereka menentukan presesi ekuinoks sebesar 1 derajat dalam setiap 50 tahun, mencatat lebih banyak supernova dan juga menemukan ekor komet yang selalu berada berlawanan arah menjauhi posisi matahari.

Pada tahun 1006 M, mereka mencatat munculnya supernova yang sangat terang dan dapat dilihat selama siang hari. Supernova ini dilaporkan merupakan supernova paling terang. Dan pada tahun 1054 M, mereka mengobservasi suatu supernova yang bekasnya kemudian dikenal dengan nama "*Crab Nebula*".

Bola selestial bangsa Cina berbeda dengan yang dimiliki oleh bangsa Barat. Ekuator selestial bangsa Cina dibagi menjadi 28 bagian yang dinamakan "rumah" dan terdapat 284 konstelasi dengan nama seperti Dipper, Three Steps, Supreme Palace, Tripod, Spear atau Harpoon. Kemudian Tahun Baru Cina dimulai pada hari di bulan pertama setelah matahari memasuki konstelasi Aquarius.

Seorang ilmuwan Cina yang bernama Shen Kuo (1031-1095 M) bukan hanya ilmuwan pertama dalam sejarah yang menggunakan kompas jarum magnetik, tetapi juga menciptakan pengukuran yang lebih akurat tentang jarak antara kutub bintang utara dengan arah utara sebenarnya yang dapat digunakan untuk navigasi. Kemudian Shen Kuo dan ilmuwan lainnya yang bernama Wei Pu mendirikan suatu proyek observasi astronomi malam hari selama 5 tahun berturut-turut yang kemudian proyek intensif ini menjadi saingan dengan penelitian yang dikerjakan oleh Tycho Brahe di Eropa. Mereka juga menggambarkan koordinat yang tepat dari planet-planet dalam suatu peta bintang dan juga menciptakan teori tentang pergerakan planet termasuk gerak *retrograde*.

EROPA BARAT

Seiring dengan jatuhnya Roma, ilmu pengetahuan yang diikuti oleh bangsa Yunani hampir tidak sebarbar melalui aktifitas yang dilakukan oleh para biksu yang sering menyalin naskah-naskah yang tidak berarti bagi mereka. Akhirnya, dengan munculnya sekolah Katedral dan universitas pertama, para ilmuwan mulai menyelesaikan teka teki yang ditemukan dalam ilmu sains. Melalui perdagangan (dan pembajakan), manuskrip-manuskrip baru dari Timur dibawa melalui perang salib dan hubungan dengan ilmuwan Islam (khususnya di Spanyol), manuskrip tersebut diterjemahkan kedalam bahasa Latin. Beberapa ilmuwan berusaha untuk menggali informasi yang sesuai dengan cara pandang pemahaman Kristen yang mereka miliki.

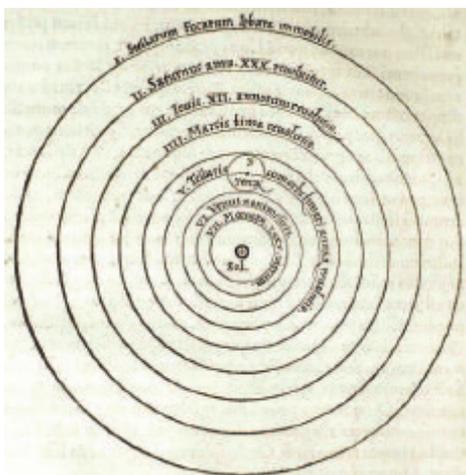
Seorang Jenius Bidang Matematika: Nicholas Copernicus dari Polandia

Pada awal tahun 1500 M, Nicholas Copernicus (1473-1543 M) menyimpulkan bahwa alam semesta akan menjadi lebih sederhana jika matahari dijadikan sebagai pusatnya, dibandingkan dengan bumi yang telah dijadikan sebagai pusat tata surya. Kemudian gerak retrograde dari planet-planet yang ada akan tetap terjadi meskipun semua planet benar-benar mengelilingi matahari dengan gerak melingkar. Gerak berbalik (*retrograde*) akan menjadi ilusi optik yang dihasilkan oleh su-

atu planet jika planet tersebut bergerak melewati planet lain. Sama halnya dengan mengamati suatu mobil disisi kanan ketika sama-sama berhenti saat lampu merah, jika mobil yang dikendarai melaju terlebih dahulu, maka mobil yang berhenti tersebut seakan-akan bergerak berlawanan.

Copernicus mengemukakan idenya dengan beberapa matematikawan, namun tidak mempublikasikannya hingga seorang ilmuwan muda bernama Georg Rheticus meyakinkannya dan mengurus publikasinya dikota lain. Tulisannya yang telah dicetak dengan judul *De Revolutionibus Orbium Celestium* tiba disaat Copernicus sekarat di tahun 1543. Sehingga, Copernicus tidak berkesempatan melihat kata pengantar yang ditulis oleh penerbit dan belum ditanda tangan yang menyatakan bahwa buku tersebut merupakan cara matematika untuk menghitung posisi, bukan kebenaran yang sebenarnya. Dengan mengikuti konsep Aristoteles, Copernicus menggunakan lingkaran dan menambahkan beberapa lingkaran kecil (*epicycle*). Bukunya juga mengikuti struktur pada buku Ptolemy namun cara dia berpikir matematika secara sederhana dipengaruhi oleh Pythagorus.

Pada buku Copernicus terdapat diagram (Gambar 3) yang mungkin diagram paling terkenal dalam sejarah ilmu pengetahuan. Diagram tersebut menggambarkan matahari terletak ditengah-tengah suatu deret lingkaran. Copernicus dapat menghitung kecepatan suatu planet bergerak mengelilingi matahari karena dia mengetahui planet mana yang bergerak paling cepat angkasa. Sehingga, Copernicus dapat mengemukakan deret planet dalam urutan yang tepat, yaitu Merkuri, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, dan dia juga mendapatkan jarak relatif dari planet-planet tersebut dengan benar. Namun, perhitungannya tidak benar-benar memprediksi posisi planet seperti yang dilakukan dengan metode Ptolemy.



Gambar 3. Diagram Copernicus yang pertama kali menunjukkan bahwa matahari sebagai pusat sistem yang dikenal dengan tata surya. Diagram ini merupakan edisi pertama dalam buku *De Revolutionibus Orbium Celestium* (Revolusi Orbit Selestial) yang dipublikasikan pada tahun 1543.

Di Inggris, Leonard Digges menulis sebuah buku dalam bahasa Inggris tentang bumi dan alam semesta. Pada tahun 1576, anak lelakinya yang bernama Thomas menulis suatu lampiran yang mendiskripsikan ide baru Copernicus. Pada lampiran ini,

diagram Copernicus muncul dalam versi bahasa Inggris untuk pertama kalinya (Gambar 4). Digges juga menggambarkan bahwa terdapat bintang-bintang dalam berbagai jarak dari sistem tata surya yang tidak hanya terjadi dalam satu kawasan selestial.



Gambar 4. Diagram Copernicus pertama dalam bahasa Inggris yang ditulis pada lampiran buku Thomas Digges. Ramalan yang bertahan lama yang terdapat dalam buku ayahnya, diterbitkan pada tahun 1556. Pada buku tersebut hanya terdapat diagram Ptolemy. Namun, lampiran buku Thomas Digges ini muncul pertama kali di tahun 1576 dan dicetak pada tahun 1596.

Seorang pengamat jenius: Tycho Brahe dari Denmark

Seorang aristokrat Denmark bernama Tycho Brahe (1546 – 1601) menguasai suatu pulau di pesisir pantai Kopenhagen dan menerima hasil sewa dari penduduk yang tinggal disana. Di pulau yang bernama Hven, Tycho menggunakan kekayaannya untuk membangun observatorium besar dengan instrumen yang lebih besar dan lebih baik. Walaupun alat-alat ini merupakan instrumen pra-teleskop, alat-alat ini merupakan instrumen penting yang dapat mengukur lebih akurat posisi bintang dan planet dibanding instrumen-instrumen sebelumnya.

Tycho menjadikan rumahnya sebagai pelopor universitas jaman sekarang dengan mendatangkan para ilmuwan yang akan bekerja sama dengannya. Dia kemudian menciptakan alat observasi yang jauh lebih baik untuk mengukur posisi bintang dan planet dan mencatatnya secara akurat.

Namun dalam semangat ilmu sainsnya, Tycho mengabaikan tugasnya terhadap kerajaan dan ketika raja dan ratu terbaru dipilih, Tycho dipaksa untuk keluar dari daerah tersebut. Dia akhirnya pindah ke Praha di benua Eropa dengan membawa berbagai cetakan penemuannya, catatan data bintangnya dan juga peralatan yang dapat dibawa-bawa (*portable*).

Tycho berhasil meningkatkan akurasi dalam observasi ilmiah. Observasi akuratnya dalam mengukur komet pada berbagai

jarak menunjukkannya bahwa area-area di alam semesta tidak harus tergabung dengan bumi sebagai pusatnya. Sehingga, dia merancang model alam semesta yaitu model hibrid gabungan Ptolemy dan Copernicus, matahari dan bulan bergerak mengelilingi bumi sementara planet-planet lain bergerak mengelilingi matahari. Model yang dimiliki Tycho masih memiliki lingkaran, namun tidak seperti Aristoteles, Tycho menggambarkan lingkaran-lingkaran planet tersebut boleh melintasi lingkaran lainnya.

Penemuan Tycho patut diapresiasi khususnya tentang observasi berkualitas tinggi terhadap posisi bintang-bintang di sekitar planet Mars. Tycho juga mengundang seorang matematikawan muda bernama Johannes Kepler untuk bekerjasama dengannya. Sejak saat itu, popularitas Tycho terkenal melalui hasil karya Kepler.

Menggunakan Matematika: Johannes Kepler dari Jerman

Sebagai seorang guru di Graz, Austria, Johannes Kepler muda (1571-1630) teringat dengan ketertarikannya dengan ilmu astronomi, didorong oleh komet dan gerhana bulan yang pernah diamatinya. Dia menyadari bahwa terdapat lima bentuk tiga dimensi yang dibangun dengan sisi yang sama besar dan jika bentuk ini disatukan dan dipisah oleh suatu bola, maka bentuk-bentuk tersebut berhubungan dengan enam planet yang telah dikenal. Bukunya yang berjudul „*Mysterium Cosmographicum*“ (Mystery Kosmos) yang diterbitkan tahun 1596 memuat satu dari beberapa diagram paling indah dalam sejarah ilmu pengetahuan (Gambar 5). Dalam diagram tersebut, dia mengelompokkan suatu oktahedron, ikosahedron, dodekahedron, tetrahedron dan kubus dengan delapan, duabelas, duapuluh, empat dan enam sisi untuk menunjukkan jarak planet-planet yang dikenal selanjutnya. Walaupun diagramnya sangat indah, diagram tersebut benar-benar salah.



Gambar 5. Lembaran diagram Kepler pada buku *Mysterium Cosmographicum* (Misteri Kosmos) yang diterbitkan pada tahun 1596. Pemikirannya tentang susunan geometri tata surya digantikan pada dekade berikutnya dengan adanya susunan baru planet-planet

menurut dua hukum gerakan planet dari tiga hukum yang telah dicetusnya, yaitu suatu sistem yang valid hingga saat ini.

Namun kemampuan matematika yang dimiliki oleh Kepler membuatnya berkesempatan wawancara dengan Tycho Brahe. Pada tahun 1600, dia menjadi salah satu dari beberapa asisten Tycho dan dia juga membuat perhitungan baru dengan menggunakan data yang dimiliki oleh Tycho. Kemudian, Tycho menghadiri suatu makan malam formal dan meminum minuman beralkohol secara berlebihan dan tidak dapat meninggalkan meja makan karena urusan etika saat itu. Hal ini menyebabkan kantong kemihnya pecah dan mengakibatkan Tycho meninggal secara mendadak.

Namun, Kepler tidak bisa mendapatkan data-data Tycho dalam waktu singkat. Satu sisi, data tersebut merupakan satu dari beberapa barang berharga yang dapat diwariskan kepada anak-anak Tycho (dia menikahi seorang wanita biasa dan tidak dapat mewariskan properti yang nyata). Akan tetapi, Kepler akhirnya mendapatkan akses data Tycho tentang Mars dan mencobanya agar sesuai dengan kalkulasinya. Kepler juga mengerjakan tabel logaritma khusus untuk menghasilkan perhitungan yang lebih akurat.

Data yang didapatkan oleh Kepler dari Tycho merupakan posisi Mars di langit dengan latar belakang jutaan bintang. Kepler mencoba menghitung gerakan nyata Mars yang mengelilingi matahari. Pada awalnya dia mencoba mencocokkan suatu lingkaran atau orbit berbentuk telur, namun dia tidak dapat mencocokkan observasinya secara akurat. Akhirnya, dia mencoba suatu gambar geometris yang dinamakan *elips*, sejenis lingkaran yang ditekan di dua sisi dan hasilnya cocok. Penemuannya ini merupakan satu dari penemuan luar biasa dalam sejarah astronomi walaupun pada awalnya Kepler menggunakannya untuk observasi Mars dan planet lainnya dalam sistem tata surya. Saat ini, penemuannya telah digunakan untuk rataan planet yang ditemukan disekeliling bintang-bintang lainnya.

Buku Kepler yang terbit tahun 1609 berjudul *Astronomia Nova* (Astronomi Terbaru) memuat dua dari tiga hukum gerak yang dicetusnya, yaitu:

Hukum Kepler 1: Planet-planet mengelilingi matahari dalam bentuk orbit elips dengan matahari sebagai fokus utamanya.

Hukum Kepler 2: Suatu garis yang menghubungkan suatu planet dengan matahari memiliki luas daerah yang sama dengan selang waktu yang sama juga.

Lintasan elips merupakan suatu kurva tertutup yang memiliki dua titik utama yang dikenal dengan nama fokus. Untuk menggambarkan suatu elips, dua titik digambarkan di atas secarik kertas dengan masing-masing sebagai fokusnya. Kemudian ambil sebuah benang melingkar yang lebih panjang dibanding jarak kedua titik fokus. Setelah itu, benang tersebut diletakkan pada titik fokus. Kemudian letakkan pensil ditengah, kemudian tarik keluar hingga benang menegang, setelah itu, tarik pensil disekitar benang untuk membentuk bentuk elips. Eksperimen ini menunjukkan bahwa satu dari beberapa poin utama untuk menentukan elips adalah jumlah nilai jarak dari suatu titik fokus terhadap titik fokus lain pada elips bernilai konstan. Lingkaran merupakan suatu bentuk khusus elips dimana dua titik berada pada satu titik yang sama.

Kepler tetap mencari keselarasan dalam gerakan planet-planet. Dia menghubungkan kecepatan planet dengan nada musik, nada yang lebih tinggi berarti planet bergerak lebih cepat seperti Mercurius dan Venus. Pada tahun 1619, Kepler menerbitkan buku utamanya yang berjudul *Harmonices Mundi* (Harmoni Dunia). Dalam buku tersebut (Gambar 6), dia tidak hanya mencatat bagian musik dengan nada-nada namun juga bagian ini dikenal dengan Hukum ke-3 Kepler tentang gerakan planet.



Gambar 6. Buku Kepler *Harmonices Mundi* (Harmoni Dunia) yang diterbitkan pada tahun 1619.

Hukum ke-3 Kepler untuk Gerak Planet: Akar pangkat dua dari periode orbit planet yang mengelilingi bumi bernilai proporsional dengan jarak orbitnya dipangkat tiga.

Para astronom cenderung untuk mengukur jarak antara planet dalam ukuran *Astronomical Unit* yang sesuai dengan jarak rata-rata antara bumi dan matahari, atau sekitar 150 juta kilometer.

Merkurius	0,387 AU	0,240 tahun
Venus	0,723 AU	0,615 tahun
Bumi	1 AU	1 tahun
Mars	1,523 AU	1,881 tahun
Jupiter	5,203 AU	11,857 tahun
Saturnus	9,537 AU	29,424 tahun

Tabel 1. Jarak antara matahari dengan periode planet dalam waktu Kepler.

Jika kolom pertama dikuadratkan dan kolom kedua di pangkat tiga, nilainya akan cenderung hampir sama. Perbedaan yang ada didapat dari perkiraan, bukan dari nilai nyata, walaupun dengan penambahan jumlah desimal maka pengaruh dari planet lainnya dapat terdeteksi.

Penemuan-penemuan dengan Teleskop: Galileo Galilei dari Italia

Tahun 2009 merupakan Tahun Internasional Astronomi yang pertama kali dideklarasikan oleh Persatuan Astronomi Internasional, kemudian oleh UNESCO dan terakhir oleh Majelis Umum PBB. Hal ini dilakukan untuk memperingati digunakannya teleskop untuk pengamatan oleh Galileo 400 tahun yang lalu, pada tahun 1609 Masehi.

Galileo (1564-1642) merupakan seorang profesor di Padua, bagian dari Republik Venesia. Galileo mendapatkan kabar tentang penemuan oleh seorang bangsa Belanda yang dapat mengamati secara dekat objek yang terletak sangat jauh. Walaupun dia tidak pernah melihatnya secara langsung, Galileo mencoba memahami prinsip lensa, komponennya dan kemudian menggabungkannya. Dia kemudian menunjukkan kepada para bangsawan Venesia sebagai alat militer dan komersial yang dapat membantu mengamati kapal di lautan yang jauh. Penemuannya ini kemudian merupakan suatu kesuksesan yang besar.

Satu lensa yang digunakan Galileo untuk berbagai penemuannya masih tersimpan di Museum History of Science di Florence, Italia dan juga dua teleskop lengkap miliknya (Gambar 7a).



a



b

Gambar 7. **a**: Satu dari dua teleskop Galileo yang diselamatkan dan dibawa ke Institut Franklin di Philadelphia pada tahun 2009. Bagian luar lensanya dilapisi oleh cincin karton. Dengan menyembunyikan bagian luar lensa tersebut yang merupakan bagian dengan akurasi terendah, Galileo meningkatkan kualitas citra yang didapatkannya. (Foto: Jay M. Pasachoff) **b**: Suatu halaman pada buku Galileo *Sidereus Nuncius* (*The Starry Messenger*) yang terbit pada tahun 1610 yang menunjukkan permukaan bulan. Buku tersebut ditulis dalam bahasa Latin, bahasa oleh para ilmuwan Eropa. Pada

buku ini juga terdapat penjelasan mendalam tentang gerak relatif bulan-bulan yang mengelilingi Jupiter.

Galileo kemudian memiliki ide untuk mengarahkan teleskopnya ke langit. Walaupun teleskop sulit digunakan dan juga memiliki ruang pandang yang sempit serta kesulitan dalam menunjukkan suatu tempat, Galileo berhasil mengamati bagian bulan dan menyadari bahwa terdapat banyak struktur pada bulan tersebut. Karena pelatihannya dalam menggambar selama Renaisans Italia, Galileo menyadari bahwa struktur-struktur tersebut merupakan sinar dan bayangan dimana dia melihat pegunungan dan lembah-lembah. Berdasarkan panjangnya bayangan dan perubahannya terhadap perubahan iluminasi dari matahari, dia bahkan dapat menentukan tingginya pegunungan tersebut. Beberapa bulan sebelumnya, seorang bangsa Inggris bernama Thomas Harriot juga menggunakan teleskop serupa untuk mengamati bulan, namun dia hanya dapat menggambarkan coretan kabur dari bagian bulan yang diamati. Tetapi, Harriot tidak tertarik untuk publikasi atau ketenaran sehingga hasil karyanya tidak diketahui hingga setelah dia wafat.

Salah satu lensa yang digunakan Galileo masih ada, retak, di Museum Sejarah Sains di Florence, Italia, dan dua teleskop lengkapnya yang tersisa juga ada disana.

Galileo mulai menulis tentang penemuan-penemuannya di akhir 1609. Dia tidak hanya menemukan pegunungan dan lembah di bulan tetapi juga galaksi Bima Sakti yang terdiri dari banyak bintang, termasuk juga arterisme (kelompok bintang). Kemudian pada bulan Januari 1610, dia juga menemukan empat "bintang" disekitar planet Jupiter yang bergerak bersamaan dengan Jupiter dan berpindah posisi dari suatu malam ke malam berikutnya. Penemuan ini ditandai sebagai penemuan bulan-bulan Jupiter yang sekarang dikenal dengan *Satelit Galileo*. Galileo menuliskan penemuannya ini dalam suatu buku tipis berjudul *Sidereus Nuncius (The Starry Messenger)* yang diterbitkan pada tahun 1610 (Gambar 7b). Sejak Aristoteles dan Ptolemy, pemahaman yang ada yaitu bumi merupakan satu-satunya pusat revolusi. Aristoteles juga diyakini sebagai orang yang sempurna. Sehingga penemuan satelit Jupiter merupakan pukulan luar biasa bagi penganut konsep geosentris, dan oleh karena itu, penemuan ini menjadi bagian penting bagi teori heliosentris oleh Copernicus.

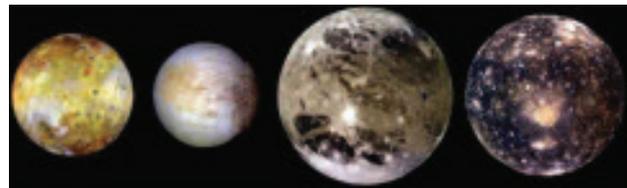


Gambar 8. Pada tahun 2009, untuk memperingati 400 tahun sejak pertama kali digunakannya teleskop oleh Galileo, sebuah papan nama dipasang pada bagian atas suatu menara yang dibangun sejak abad ke-15 (yang direkonstruksi pada abad ke-20 setelah roboh pada tahun 1902) di Venesia. Perayaan ini merupakan demonstrasi yang dilakukan oleh Galileo tentang

penggunaan teleskopnya didepan para bangsawan Venesia dalam mengamati kapal-kapal yang berada dilautan luas, sebelum pengamatannya terhadap langit. Tulisan pada papan nama tersebut diterjemahkan menjadi "Galileo Galilei dengan teropong kecilnya, pada tanggal 21 Agustus 2009, memperluas horizon manusia, 400 tahun yang lalu."

(Foto: Jay M. Pasachoff)

Galileo mencoba menamakan bulan-bulan yang mengelilingi Jupiter setelah pendukungnya Cosmo de' Medici memintanya. Namun, nama-nama tersebut tidak cocok. Dalam beberapa tahun, Simon Marius mengajukan nama-nama bulan yang hingga saat ini digunakan. (Marius sebenarnya telah melihat bulan sebelum Galileo, namun dia mempublikasikan penemuannya setelah publikasi Galileo). Dari kiri ke kanan, bulan-bulan tersebut adalah Io, Europa, Ganimede, dan Callisto (Gambar 9). Bahkan dengan menggunakan teleskop amatir yang kecil, bulan-bulan tersebut dapat terlihat di malam yang cerah dan dapat juga diamati perpindahan posisinya seiring dengan perubahan waktu. Bulan-bulan ini mengorbit Jupiter dalam periode beberapa hari untuk sekali putaran.



Gambar 9. Galileo akan merasa bahagia jika mengetahui pesawat luar angkasa yang dinamai berdasarkan namanya dan pendahulunya dapat menghasilkan gambar dari "Satelit Medician" yang ditemukannya pada tahun 1609. Pada gambar ini ditunjukkan citra satelit Medician dengan skala relatif yang sebenarnya. Dari kiri ke kanan, kita dapat melihat Io, yang baru mengalami perubahan permukaannya dengan 24 kali erupsi gunung api secara terus menerus. Yang kedua adalah Europa yang menjadi kunci utama dalam menemukan kehidupan ekstra-terestrial karena adanya lautan dibawah lapisan es yang halus. Ketiga adalah Ganymede, bulan terbesar dalam sistem tata surya yang menunjukkan bagian beralur indah pada permukaannya. Dan yang paling kanan adalah Callisto, bulan terjauh diantara bulan-bulan Jupiter lainnya yang diselimuti oleh lapisan es keras yang menahan bekas dari berbagai serangan batu meteor sejak milyaran tahun yang lalu.

(Foto: NASA, Galileo Mission, PIA01400)

Walaupun dengan menggunakan teleskop terbesar dan terbaik, para astronomer belum mampu mendapatkan gambar yang jelas dari struktur permukaan satelit Galileo. Namun, dengan satelit NASA Pioneer 10 dan 11 kemudian Voyager 1 dan 2 yang melintas mendekati sistem orbit Jupiter, maka didapatkan informasi detail dari satelit-satelit Jupiter yang kemudian di karakterisaasi jenis dan permukaannya. Menggunakan pengamatan di bumi dan luar angkasa, para astronom masih

mengeksplorasi bulan-bulan yang terdapat di orbit Jupiter, walaupun penemuan terbaru mereka masih jauh lebih kecil dibanding dengan satelit-satelit Galileo.

Galileo juga menggunakan penemuan-penemuannya untuk mendapatkan pekerjaan lebih baik dengan pendapatan yang lebih tinggi di kota Florence. Sayangnya, Florence sangat dekat dengan otoritas Papal di Roma yang berfungsi sebagai banker bagi Pope dan tidak seliberal Republik Venesia. Kemudian Galileo melanjutkan penulisan ilmiahnya diberbagai bidang seperti bintang matahari, komet, dan benda mengambang. Tulisannya secara keseluruhan membantah penemuan yang telah dilakukan oleh Aristoteles. Kemudian Galileo juga menemukan bahwa Venus memiliki fasa yang menunjukkan bahwa Venus mengorbit matahari. Hal ini membuktikan bahwa bumi mengelilingi matahari, dimana teori hybrid Tycho tentang kosmologi dapat menjelaskan konsep tersebut. Namun, Galileo melihatnya sebagai pendukung teori Copernicus.

Pada tahun 1616, Galileo diminta oleh pejabat gereja di Roma untuk tidak mengajarkan paham Copernicus yang menyatakan bahwa matahari sebagai pusat alam semesta. Galileo akhirnya memilih diam untuk sementara waktu hingga pada tahun 1632, dia menerbitkan suatu buku yang berjudul *Dialogue (Dialogue on Two Chief World Systems)* yang berisi tentang diskusi paham heliosentris dan geosentris oleh tiga lelaki. Dia memiliki izin resmi untuk menerbitkan buku tersebut, namun buku itu menunjukkan preferensinya dengan jelas dukungan terhadap paham sistem heliosentris oleh Copernicus. Hal ini menyebabkan Galileo didakwa dan menjadi tawanan rumah hingga akhir hayatnya.

Ilmu Fisika Baru: Isaac Newton dari Inggris

Banyak orang yang percaya bahwa tiga fisikawan terbaik sepanjang masa adalah Isaac Newton, James Clerk Maxwell, dan Albert Einstein. Ringkasannya: Newton menemukan Hukum Gravitasi, Clerk Maxwell menyatukan listrik dan magnetisasi dan Einstein menemukan Teori Relativitas secara umum dan khusus.

Dalam cerita yang sebenarnya, Isaac Newton muda (1642-1727) dirumahkan dari Universitas Cambridge ke Woolsthorpe, dekat Lincoln di Inggris ketika berbagai universitas yang ada di Inggris ditutup karena adanya wabah. Ketika disana, Newton melihat sebuah apel yang jatuh dari pohonnya dan menyadari bahwa gaya yang mengontrol jatuhnya apel sama dengan gaya yang mengontrol gerakan bulan.

Akhirnya, Newton kembali ke Trinity College, Cambridge pada fakultas yang sama. Sementara itu, sekelompok ilmuwan di London berkumpul di suatu kedai kopi untuk membentuk suatu komunitas (sekarang bernama Royal Society), dan Edmond Halley muda juga dikirim ke Cambridge untuk mengkonfirmasi suatu cerita dimana seorang matematikawan jenius, bernama Isaac Newton dapat membantu mereka dengan suatu pertanyaan ilmiah yang penting. Perjalanan dari London ke Cambridge dengan kereta pos ternyata jauh lebih lama dan lebih sulit dibandingkan dengan menggunakan kereta saat ini.

Halley bertanya kepada Newton jika terdapat suatu gaya yang jatuh dengan jarak yang dikuadratkan, bagaimana bentuk orbit yang akan didapat? Dan Newton menjawab bentuknya

akan terlihat seperti suatu elips. Merasa terkesan, Halley juga menanyakan apakah Newton telah membuktikannya dan dia pun menjawab jika pembuktiannya terdapat dalam dokumen yang dimilikinya. Dia mengatakan bahwa dokumen tersebut tidak dapat ditemukan, walaupun sebenarnya Newton ingin mengulur waktu untuk benar-benar mengubah analisisnya atau sebaliknya. Akhirnya, Newton menuliskan beberapa kesimpulan matematikanya. Kesimpulan tersebut membantunya dalam menerbitkan buku terkenalnya yang berjudul *The Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (Prinsip Matematika Filosofi Alam) dimana filosofi yang dimaksud sekarang bernama sains.

Buku *Principia* Newton diterbitkan tahun 1687 dalam bahasa Latin. Newton saat itu masih menjadi seorang pengajar di kampus, sebelum menjadi ksatria bagi Inggris dengan karya-karya selanjutnya. Sementara itu, Halley harus membayar biaya percetakan buku Newton ini, dan dia memperjuangkannya walau hanya menulis bagian kata pengantar.

Buku *Principia* menjelaskan tentang Hukum Newton yang menunjukkan bagaimana gravitasi menurun sebanding dengan jarak pangkat dua, dan juga pembuktian Hukum Kepler tentang orbit planet. Buku ini juga memuat Hukum Newton tentang gerak yang dinotasikan dalam "hukum" sementara hukum Kepler ditulis dalam pernyataan biasa.

Hukum Newton tentang Gerak:

Hukum Newton Pertama tentang gerak: suatu benda yang bergerak akan cenderung tetap bergerak dan suatu benda yang diam akan tetap diam.

Hukum Newton Kedua tentang gerak (versi modern): gaya sama dengan massa dikalikan dengan percepatan

Hukum Newton Ketiga tentang Gerak: Untuk setiap gaya aksi, akan terdapat gaya aksi yang nilainya sama dan arahnya berlawanan.

Newton menjabarkan prinsip sains melalui fisika matematikanya yang kemudian digunakan dalam ilmu sains hingga saat ini.

KELANJUTAN PENELITIAN ASTRONOMI

Sama halnya dengan manusia kuno yang ingin tahu tentang langit dan juga ingin mengetahui posisi kita dalam alam semesta, para astronomer saat ini juga telah melanjutkan penemuan-penemuan dimasa lalu dengan motivasi yang sama. Penemuan secara teoritis dan observasi telah mengubah pemahaman kita tentang posisi bumi di alam semesta dari paham geosentris oleh Ptolemy, hingga ke hipotesis heliosentris Copernicus, kemudian penemuan sistem tata surya yang bukan merupakan pusat galaksi kita, hingga ke pemahaman tentang galaksi yang terdistribusi di alam semesta.

Astronomi kontemporer fokus pada program untuk menemukan sifat dari materi gelap dan energi gelap. Teori Einstein tentang relativitas mengindikasikan bahwa galaksi bima sakti bukan pusat alam semesta, namun makna "pusat" dapat dikatakan tidak berarti. Penemuan terbaru tentang ratusan planet luar yang mengorbit bintang-bintang lain telah menunjukkan bagaimana sebenarnya sistem tata surya kita. Teori baru ten-

tang terbentuknya planet bersifat paralel dengan observasi terbaru tentang sistem planet yang tidak terbayangkan. Jalur penemuannya telah terbentuk jauh sebelum para astronomer modern melakukannya, yaitu telah berlangsung sejak ribuan atau ratusan tahun yang lalu.

DAFTAR PUSTAKA

- Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
- Passachoff, J dan Filippenko, A, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*, 4th ed., Cambridge University Press, 2012.

SUMBER INTERNET:

- www.solarcorona.com
- <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint/html>
- <http://www2.astronomicalheritage.net>

TATA SURYA

Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa

International Astronomical Union, Instituto Astronómico de la Academia Rumana (Rumania), Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas y UTN, (Argentina), Universidad de la República, (Uruguay)

Penerjemah: Riska Wahyu Romadhonia

Observatorium Astronomi ITERA Lampung (Indonesia)

RANGKUMAN

Dalam alam semesta di mana sistem bintang, Tata Surya, planet, dan eksoplanet yang terikat di dalamnya, tanpa diragukan lagi, Tata Surya merupakan sistem yang paling kita ketahui. Siapa yang tidak mengetahui apa itu Matahari, planet, komet, dan asteroid. Tapi apakah pengetahuan yang diperoleh benar adanya? Untuk mengetahui jenis objek tersebut berdasarkan sudut pandang ilmiah, maka perlu ditinjau pula aturan atau pola yang bekerja pada sistem tersebut.

Berdasarkan pertemuan yang diadakan oleh Persatuan Astronomi Internasional pada tanggal 24 Agustus 2016 (*the resolution of the International Astronomical Union of 24 August 2016*), menyepakati bahwa objek yang berada pada Tata Surya adalah:

- planet
- satelit alami planet
- planet kerdil
- objek kecil lain: asteroid, meteoroid, komet, debu, objek sabuk Kuiper, dll

Dengan pemahaman yang sama, jika terdapat bintang lain yang dikelilingi oleh objek terestrial berdasarkan hukum fisika layaknya sistem pada Tata Surya, maka sistem tersebut dinamakan sebagai sistem planet luar atau eksoplanet. Salah satu pertanyaan mendasar yang ingin diketahui adalah Bagaimanakah posisi Tata Surya di alam semesta? Sedangkan Tata Surya bukan satu-satunya sistem planet di alam semesta. Pada bab ini, kita akan mencoba untuk menjelaskan karakteristik penting dari sistem Tata Surya dan sistem eksoplanet lainnya.

TUJUAN

- Menentukan posisi Matahari di alam semesta,
- Menentukan objek yang membentuk Tata Surya,
- Mengetahui secara detail karakteristik berbagai objek yang berada pada Tata Surya, terutama karakteristik khusus yang dimiliki

TATA SURYA

Sistem, berdasarkan definisi merupakan susunan yang teratur dari pandangan, teori, asas, dan sebagainya. Sedangkan berdasarkan terminologinya, sistem merupakan kesatuan yang terdiri dari berbagai komponen (asas, hukum, gaya, dll) yang

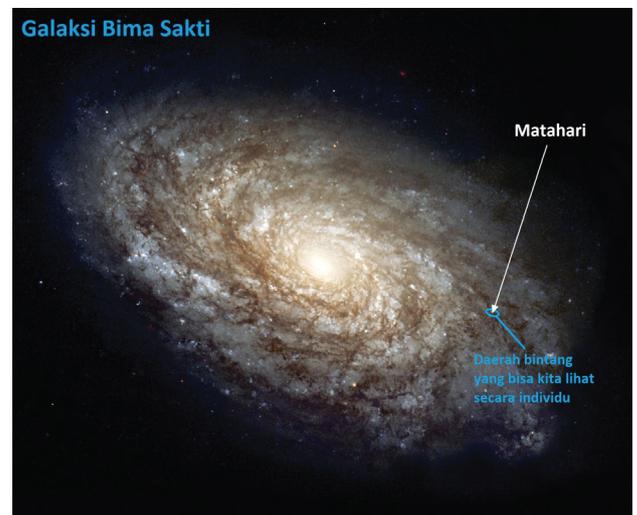
berhubungan satu sama lain dan bersesuaian dengan sejumlah hukum atau aturan tertentu.

Untuk mendeskripsikan Tata Surya, maka harus ditentukannya semua elemen (dalam hal ini objek) dalam kesatuan sistem, sehingga pengertian Tata Surya: Matahari dan semua objek yang bergerak di sekitarnya, dan terkoneksi oleh gaya gravitasi.



Gambar 1. Sistem Tata Surya berdasarkan ukuran dari objek utamanya

Tata Surya terletak pada lengan terluar dari galaksi kita, yaitu Galaksi Bima Sakti. Lengan tersebut dinamakan Lengan Orion. Lengan ini berada pada daerah dengan kerapatan yang relatif rendah.



Gambar 2. Posisi Tata Surya pada Galaksi Bima Sakti (simulasi)

Matahari beserta seluruh objek pada Tata Surya mengorbit pusat Galaksi dengan radius antara 25.000 – 28.000 tahun cahaya (diperkirakan kurang lebih setengah dari radius galaksi) dan periode orbital antara 225 – 250 juta tahun (dalam satuan tahun galaksi Tata Surya). Tata Surya mengelilingi pusat Galaksi Bima Sakti dalam orbit yang hampir lingkaran dengan kecepatan 220 km/s, dengan arah gerak berorientasi menuju posisi bintang Vega.

Galaksi Bima Sakti terdiri dari 200 miliar bintang, bersamaan dengan planet masing-masing sistem bintang, dan lebih dari 1000 nebula. Total massa dari Galaksi Bima Sakti beserta seluruh objeknya berkisar 1000 miliar kali lebih besar dari massa Matahari, dan diameternya diperkirakan sekitar 100.000 tahun cahaya.

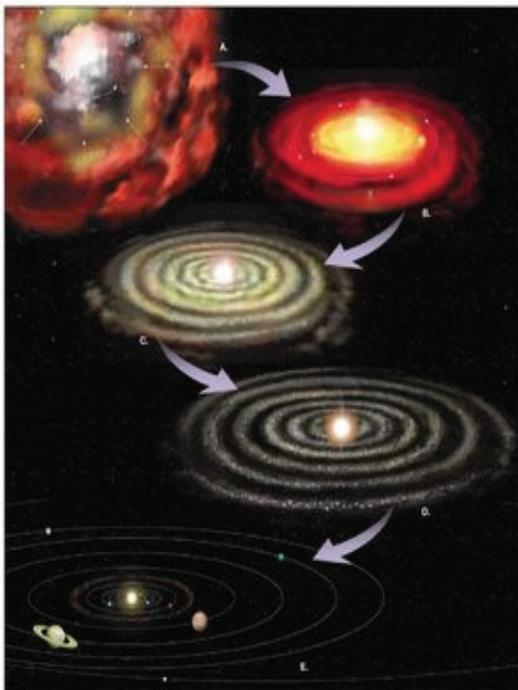
Sistem bintang yang paling dekat dengan Tata Surya adalah sistem Alpha Centauri (Bintang paling terang di rasi bintang Centaurus). Sistem tersebut terbentuk dari 3 bintang. Dua bintang diantaranya adalah bintang ganda (Alpha Centauri

A dan B), yang sangat mirip dengan Matahari, dan mengorbit dengan jarak 0,2 tahun cahaya pada bintang katai merah, disebut Alpha Centauri C, dimana bintang ini memiliki luminositas lebih rendah. Alpha Centauri C merupakan bintang paling dekat dengan Matahari pada jarak 4,24 tahun cahaya dan oleh sebab itu bintang ini juga disebut sebagai "Proxima Centauri".

Galaksi Bima Sakti merupakan bagian dari galaksi grup yang disebut "Local Group", terdiri dari 3 galaksi spiral besar dan sekitar 30 galaksi kecil lainnya. Galaksi Bima Sakti mempunyai bentuk spiral besar. Lengan spiral pada Galaksi terdiri dari materi antarbintang, nebula, dan gugus bintang muda, yang lahir dari materi antarbintang tersebut. Pada pusat Galaksi terdiri dari bintang tua, yang sering ditemukan berkelompok membentuk struktur bola, atau lebih dikenal sebagai gugus bola. Galaksi Bima Sakti memiliki sekitar 200 gugus bola, dan hanya 150 gugus yang dikenal. Gugus bintang ini cenderung berada di pusat galaksi. Tata Surya terletak pada 20 tahun cahaya di atas bidang ekuatorial galaksi dan 28.000 tahun cahaya dari pusat galaksi. Letak pusat galaksi berada pada arah rasi bintang Sagitarius, 25.000 – 28.000 tahun cahaya dari Matahari.

PEMBENTUKAN DAN EVOLUSI TATA SURYA

Berdasarkan teori standar, sekitar 4,6 miliar tahun yang lalu, Tata Surya terbentuk dari kontraksi gravitasi pada awan gas dan debu antar bintang. Keruntuhan awan ini dimulai dari adanya perturbasi atau gangguan yang kuat (kemungkinan ledakan supernova), yang mengakibatkan gaya gravitasi melebihi tekanan gas.



Gambar 3. Skema dari proses pembentukan Tata Surya, berdasarkan teori standar, "Nebular Hypotesis" (Hipotesis Nebula) yang diusulkan oleh Kant dan Laplace pada abad ke-17

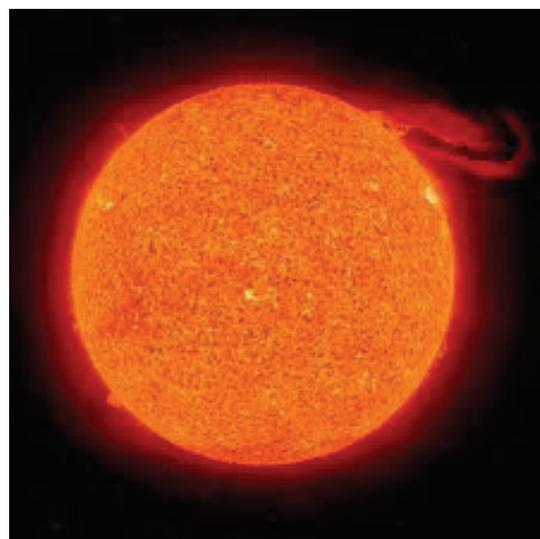
Kekekalan momentum sudut menyebabkan nebula berotasi semakin cepat, dan memipih, dan melahirkan protobintang di pusatnya, dan piringan protoplanet yang terbentuk dari debu dan gas di sekitarnya. Di dalam piringan protoplanet, terkondensasi sebuah inti padat yang kecil (planetesimal), yang kemudian terakumulasi oleh proses akresi untuk membentuk sebuah planet.

Hipotesis primitif nebula diusulkan pada tahun 1755 oleh Emanuel Kant dan juga secara terpisah oleh Pierre-Simon Laplace.

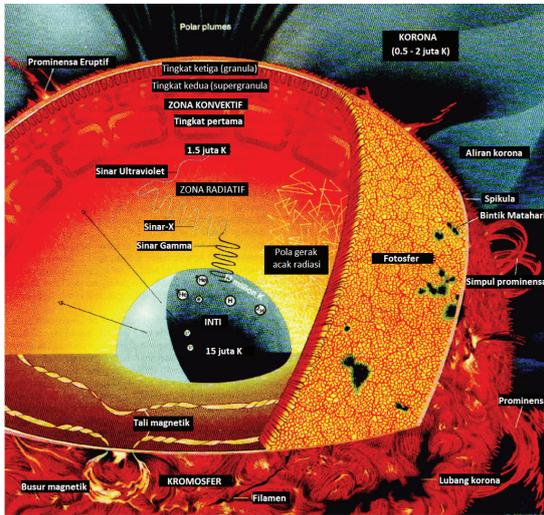
Teori standar (berdasarkan "Hipotesis Nebula" awalnya diusulkan oleh Kant dan Laplace) dapat menjelaskan protoplanet dan orbit semi-sirkular. Selain itu telah ditemukan dengan pengamatan pada beberapa sistem planet di sekitar bintang muda lain, sehingga teori inilah yang diterima hingga sekarang.

MATAHARI

Matahari merupakan bintang dengan massa menengah. Umur Matahari diperkirakan 4,6 miliar tahun. Saat ini, Matahari telah menempuh setengah dari siklus evolusi pada deret utamanya. Selama berada pada deret utama, hidrogen pada pusat Matahari diubah menjadi helium melalui reaksi fusi nuklir. Setiap detik pada inti Matahari, lebih dari 4 juta tons materi diubah menjadi energi, sehingga menghasilkan neutrino dan radiasi matahari. Komposisi Matahari sebagian besar terdiri dari hidrogen dan helium. Persentase hidrogen berkisar 74%, dan helium berkisar 25% dari total massa Matahari, sedangkan sisa massa lainnya merupakan elemen-elemen berat seperti oksigen dan karbon.



Gambar 4a: Matahari pada infamerah



Gambar 4b. Struktur internal Matahari

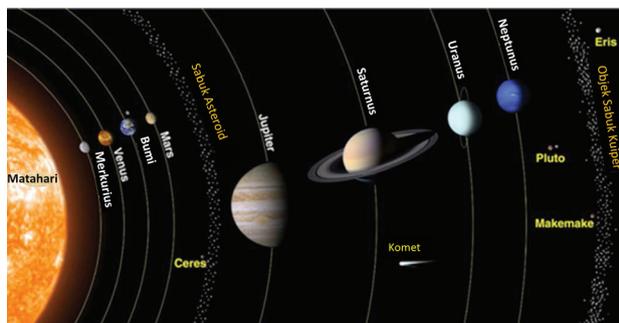
Siklus Kehidupan Matahari

Dalam 5 milyar tahun, Matahari akan membesar dan menjadi bintang katai putih, dimana nebula planet akan terbentuk. Hidrogen akan habis, dan akan menyebabkan perubahan yang sangat besar, termasuk kehancuran Bumi di dalamnya. Aktivitas matahari, khususnya aktivitas magnetiknya, yang dideteksi dari jumlah dan ukuran bintik matahari di permukaan matahari, hal serupa juga akan terjadi pada lidah api matahari dan variasi angin matahari. Aktivitas ini akan menghembuskan materi komposisi matahari ke Tata Surya dan mungkin dapat lebih jauh dari itu.



Gambar 5. Siklus kehidupan Matahari sejak protobintang hingga katai putih.

PLANET



Gambar 6. Objek pada Tata Surya (tidak berdasarkan skala)

Dewasa ini, definisi planet yang digunakan merupakan hasil dari pertemuan ke-26 Persatuan Astronomi Internasional (*26th General Meeting of International Astronomical Union*) yang diadakan di Praga, tahun 2006.

Di dalam Tata Surya, planet adalah objek langit yang:

1. Berada pada orbit tertentu di sekeliling Matahari,
2. Mempunyai massa yang cukup besar sehingga dapat memenuhi kesetimbangan hidrostatis dengan ditandai oleh bentuk hampir bulat (diameter berkisar 1000 km),
3. Tidak ada objek lain pada orbitnya ("telah menyingkirkan tetangga-tetangganya").

Objek non-satelit yang memenuhi hanya dua ciri pertama dikategorikan sebagai "planet kerdil". Sedangkan untuk objek non-satelit yang hanya memenuhi ciri pertama disebut sebagai "objek kecil pada Tata Surya" atau "*small solar system body*" (SSSB).

Berdasarkan *IAU*, planet dan planet kerdil merupakan dua kelas yang sangat berbeda. Pada mulanya, ada rencana untuk memasukkan planet kerdil sebagai subkategori planet, akan tetapi dengan pertimbangan dapat berpotensi penambahan banyak planet ke Tata Surya, akhirnya rencana ini tidak dijalankan. Pada tahun 2006, dengan adanya definisi planet, maka hanya ada tiga planet kerdil (Ceres, Eris, dan Makemake) dan reklasifikasi Pluto dari planet menjadi planet kerdil. Sekarang, sudah terdapat 5 planet kerdil: Ceres, Pluto, Makemake, Haumea, dan Eris. Hingga sekarang, masih banyak penelitian untuk memasukkan objek baru ke dalam daftar planet kerdil.

Definisi tersebut juga dapat membedakan planet dengan objek kerdil, akan tetapi definisi ini tidak dapat digunakan pada sistem bintang lain, dimana objek kerdil tidak ditemukan di dalamnya. Definisi *Extrasolar planets*, atau eksoplanet mengikuti draft pedoman komplementer tahun 2003 (*complementary 2003 draft guideline*) untuk planet, dimana dapat dibedakan dengan bintang kerdil, yaitu dengan ukuran yang lebih besar.

8 Planet di Tata Surya dapat dikelompokkan menjadi:

- 4 Planet Kebumihan, pada bagian dalam Tata Surya (Merkurius, Venus, Bumi, dan Mars)
 - Bebatuan, dengan densitas berkisar $4 - 5 \text{ g / cm}^3$
- 4 Planet Raksasa, pada bagian luar Tata Surya, dapat dibagi menjadi dua tipe:
 - Planet Gas Raksasa: Jupiter dan Saturnus. Komposisi utama Hidrogen dan Helium, dengan komposisi kimia mirip dengan komposisi Matahari
 - Planet Es Raksasa: Uranus dan Neptunus. Memiliki lebih banyak es dibandingkan gas. Komposisi kimia berbeda jauh dengan komposisi Matahari.

Planet raksasa lebih ringan dari planet kebumihan (terrestrial), dengan densitas berkisar $0,7 \text{ g / cm}^3$ (Saturnus) hingga 2 g / cm^3

Planet raksasa terbentuk dengan skala waktu orde 10 juta tahun (planet batuan membutuhkan waktu sekitar 100 juta tahun). Planet tidak terbentuk secara "in situ", namun terdapat peristiwa migrasi yang disebabkan oleh pertukaran momen-

tum sudut antara planet raksasa pada saat pembentukan dan planetesimal yang tersapu ke daerah lain dari Tata Surya atau bahkan terlempar keluar dari Tata Surya.

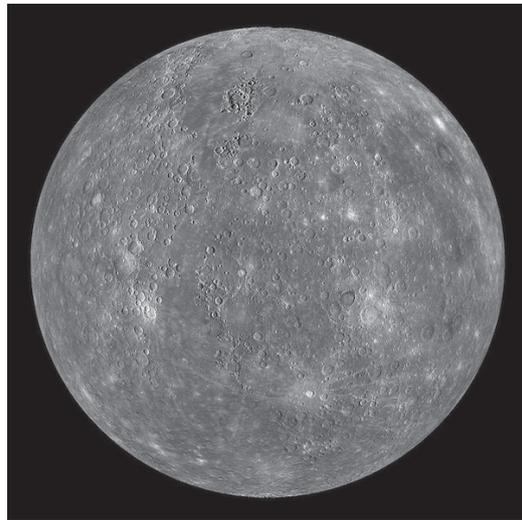
Karakterisasi setiap planet mempunyai makna untuk menentukan sifat umum, seperti massa, radius, densitas, periode rotasi pada porosnya (hari), periode revolusi terhadap Matahari (tahun), komposisi kimia dari struktur internal dan atmosfer, dll. Pada bab ini, kami tidak akan menyajikan data tabel, karena tersedia di internet, dan di buku. Kami akan berfokus pada deskripsi karakteristik unik untuk setiap objek, seperti asal usul, dan lainnya sehingga guru / pengajar dapat mengembangkannya dalam melakukan pengajaran di kelas. (untuk data spesifik setiap planet dan benda lain di Tata Surya, silakan tinjau informasi di internet).

MERKURIUS

Merkurius merupakan planet terdekat dari Matahari dan juga planet terkecil di Tata Surya. Merkurius termasuk dalam kategori planet batuan/kebumihan. Nama planet ini merupakan nama dewa Seni dan Perdagangan Romawi "Mercury".

Merkurius tidak memiliki satelit alami, dan merupakan salah satu dari 5 planet yang dapat dilihat dari Bumi dengan mata telanjang. Planet ini pertama kali diamati dengan teleskop pada abad ke-17. Dewasa ini, planet Merkurius telah disurvei oleh 2 wahana antariksa: Mariner 10 (tiga kali pada 1974-1975) dan Messenger (dua kali pada 2008).

Meskipun dapat dilihat dengan mata telanjang, planet ini tidak mudah untuk diamati, dikarenakan posisi sebagai planet terdekat dengan Matahari. Posisi planet Merkurius di langit sangat berdekatan dengan Matahari, dan hanya dapat teramati dengan baik di sekitar elongasi¹ Bumi-Matahari-Merkurius, sesaat sebelum matahari terbit dan sesaat setelah matahari terbenam. Akan tetapi, misi antariksa telah memberikan banyak informasi terkait planet Merkurius, dan secara mengejutkan dapat disimpulkan bahwa Merkurius sangat mirip dengan Bulan.



Gambar 7 : Merkurius

Perlu dipahami lebih lanjut untuk 2 karakteristik khusus planet Merkurius: planet terkecil di Tata Surya dan planet terdekat dari Matahari. Merkurius memiliki eksentrisitas orbit terbesar ($e = 0.2056$) dan juga inklinasi terbesar terhadap bidang ekliptikanya ($i = 7^\circ$). Periode sinodis nya sebesar 115.88 hari, yang berarti bahwa sebanyak 3 kali setahun berada pada posisi elongasi barat maksimum terhadap Matahari (sering disebut "bintang pagi") dan sebanyak 3 kali setahun berada pada posisi elongasi timur maksimum terhadap Matahari (sering disebut "bintang sore"). Pada setiap posisi tersebut, sudut elongasi tidak akan pernah melebihi 28° .

Merkurius memiliki radius sebesar 2440 km, dan menjadikannya sebagai planet terkecil di Tata Surya, bahkan lebih kecil dari 2 satelit Galilean Jupiter: Ganymede dan Callisto.

Densitas sebesar $5,427 \text{ g / cm}^3$ menjadikan planet Merkurius sebagai planet terpadat setelah Bumi (densitas $5,5 \text{ g / cm}^3$). Besi kemungkinan merupakan komposisi elemen berat utama (70% besi dan 30% materi bebatuan), sehingga berkontribusi pada kerapatan Merkurius yang sangat tinggi. Secara umum dinyatakan bahwa Merkurius tidak memiliki atmosfer, akan tetapi pernyataan ini kurang tepat, karena atmosfer Merkurius sangat tipis, terbentuk oleh 42% Oksigen, 29,0% Natrium, 22,0% Hidrogen, 6,0% Helium, 0,5% Kalium, dan sejumlah kecil Argon, Nitrogen, Karbon dioksida, uap air, Xenon, Krypton, dan Neon.

Merkurius merupakan satu-satunya planet selain Bumi yang memiliki medan magnetik yang cukup besar, meskipun medan magnetik tersebut sebesar 1/100 kali medan magnetik Bumi, akan tetapi cukup untuk membuat magnetosfer yang memanjang hingga 1,5 radius planet, dibandingkan dengan kasus Bumi, magnetosfer Bumi memanjang hingga 11,5 radius Bumi. Seperti halnya dengan Bumi, medan magnetik Merkurius terbentuk oleh efek dinamo dan kutub yang terbentuk merupakan kutub dipolar layaknya Bumi, dengan sumbu magnetik berinklinasi sebesar 11° terhadap sumbu rotasi.

Temperatur pada Merkurius sangat bervariasi dengan selisih yang sangat besar. Saat planet melewati titik perihelion, suhu dapat mencapai hingga 427°C pada ekuator tengah hari, suhu tersebut cukup untuk melelehkan logam seng. Namun, saat malam hari datang (permukaan tidak menghadap Matahari),

¹ Sudut yang dibentuk oleh garis lurus yang menghubungkan Bumi-Matahari dengan suatu planet disebut elongasi. Sudut elongasi yang dibentuk oleh Bumi-Matahari-Merkurius antara .

suhu turun hingga $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$, yang mengakibatkan perbedaan diurnal planet Merkurius sebesar $610\text{ }^{\circ}\text{C}$!

Tidak ada planet yang mengalami perbedaan sebesar itu. Perbedaan ekstrem ini disebabkan oleh banyaknya radiasi matahari pada siang hari, tidak adanya atmosfer tebal (atmosfer Merkurius sangat tipis), dan durasi satu hari Merkurius (interval antara fajar dan senja hampir sebesar 3 terrestrial bulan), waktu yang cukup lama untuk menyimpan panas (atau sebaliknya, dingin dengan proses yang sama pada malam yang panjang).

Kawah Merkurius sangat mirip dengan kawah yang ada di Bulan secara morfologi, bentuk dan strukturnya. Kawah terbesar adalah Caloris Basin. Benturan yang menghasilkan cekungan setelah tumbukan merupakan fenomena yang paling sering terjadi untuk mengubah bentuk permukaan suatu planet. Benturan tersebut dapat menyebabkan perubahan keseluruhan kerak planet, dan bahkan gangguan internal planet. Peristiwa ini yang terjadi ketika kawah Caloris terbentuk dengan diameter berkisar 1.550 km .

Presesi Perihelion Merkurius

Presesi dari perihelion Merkurius telah dikonfirmasi. Seperti pada planet lainnya, perihelion Merkurius tidaklah tetap akan tetapi memiliki pola yang teratur di sekeliling Matahari. Untuk waktu yang lama, pola orbit tersebut adalah 43 detik busur per abad, dimana lebih cepat dibandingkan prediksi menggunakan mekanika "Newtonian" klasik.

Presesi ini telah diprediksi oleh teori relativitas umum Einstein, yang disebabkan oleh bentuk kurva ruang waktu yang terbentuk oleh massa Matahari. Dengan adanya kesesuaian hasil antara observasi perihelion dengan prediksi dari teori relativitas umum, maka hal ini merupakan bukti yang kuat untuk mendukung validitas dari teori relativitas Einstein.



Gambar 8 Pergerakan Presesi Perihelium Merkurius

VENUS

Venus merupakan satu dari empat planet terrestrial pada planet dalam Tata Surya. Planet merupakan planet terdekat kedua dari Matahari, dan dinamakan sesuai dengan nama Dewi Yunani, "Venus", yang melambangkan cinta dan kecantikan.

Posisi kedua terdekat dengan Matahari, struktur dan kerapatan atmosfer menjadikan Venus salah satu objek terpanas di Tata Surya. Planet ini memiliki medan magnetik yang sangat lemah dan tidak mempunyai satelit alami. Venus juga merupakan satu-satunya planet yang bergerak retrograde² terhadap revolusinya dan satu-satunya planet dengan periode rotasi lebih besar dari periode revolusinya. Planet Venus merupakan objek paling terang di langit setelah Matahari dan Bulan jika dilihat dari Bumi.

Orbit Venus berbentuk hampir lingkaran sempurna, dengan eksentrisitas $0,0068$, dan merupakan eksentrisitas terkecil pada Tata Surya. Satu tahun Venus sedikit lebih pendek daripada satu hari sidereal Venus, dengan perbandingan $0,924$.

Dimensi dan struktur geologi Venus mirip dengan Bumi. Akan tetapi kerapatan atmosfer Venus sangat padat. Perpanduan antara CO_2 dan awan sulfur dioksida (SO_2) tebal menciptakan efek rumah kaca, dimana efek ini merupakan efek terbesar yang ada di Tata Surya dengan suhu sekitar $460\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suhu pada permukaan Venus lebih tinggi daripada di Merkurius, walaupun jarak Venus hampir dua kali lipat dari jarak Merkurius dan hanya menerima sekitar 25% radiasi matahari yang diterima planet Merkurius. Permukaan planet ini memiliki relief yang hampir seragam. Medan magnetik Venus sangat lemah, tetapi mampu menarik ekor plasma sepanjang 45 juta km, hal ini diamati pertama kali oleh satelit SOHO pada tahun 1997.

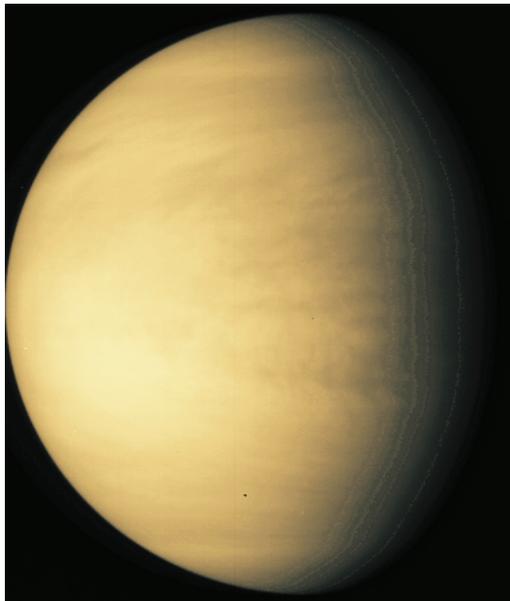
Karakteristik khusus yang dimiliki oleh Venus adalah rotasi retrograde. Venus berotasi pada sumbunya dengan sangat lambat, berlawanan arah jarum jam, sedangkan planet lainnya (kecuali Uranus) pada Tata Surya berotasi searah jarum jam. Periode rotasi Venus telah diketahui sejak tahun 1962. Gerak rotasi yang lambat dan retrograde, mengakibatkan hari matahari³ (eng: *solar days*) lebih pendek daripada hari sideralnya. Hari sidereal akan lebih lama untuk planet yang berotasi searah jarum jam. Dengan perbedaan hari pada planet Venus, mengakibatkan dalam satu tahun Venus, kurang dari 2 hari matahari telah hilang.

Penyebab gerak rotasi retrograde Venus belum diketahui dengan pasti. Alasan yang paling memungkinkan adalah adanya tumbukan yang sangat kuat dengan objek besar lain ketika proses pembentukan planet pada Tata Surya terjadi. Terdapat kemungkinan pula bahwa atmosfer Venus berpengaruh pada gerak rotasi planet akibat kerapatannya yang sangat besar.

Atmosfer Venus sangat unik, dengan tekanan permukaan 93 bar (9.3 MPa) dan komposisi utama 96,5% Karbon dioksida, 3,5% Nitrogen, 0,015% Sulfur dioksida, 0,007% Argon, 0,002% Uap air, 0,0017% Karbon monoksida, 0,0012% Helium, 0,0007% Neon.

2 Berotasi dengan arah rotasi planet berlawanan arah revolusinya terhadap Matahari.

3 Hari matahari adalah waktu yang dibutuhkan planet untuk satu kali rotasi dengan Matahari sebagai titik acuannya. Sedangkan hari sidereal adalah waktu yang dibutuhkan planet untuk satu kali rotasi dengan bintang sebagai titik acuannya. Sebagai contoh, Bumi memiliki hari matahari sebesar 24 jam, sedangkan hari sidereal Bumi adalah 23 jam 56 menit 4,09 detik. Untuk Venus, hari matahari-nya sebesar 116,75 hari terestrial (116 hari 18 jam), sedangkan hari sidereal Venus sebesar 243,018 hari terestrial (243 hari 25 menit 55,2 detik)



Gambar 9: Venus. Foto diperoleh dari Misi Magellan
(Magellan Mission)

- Keduanya memiliki relatif sedikit kawah, tanda bahwa permukaan planet cukup muda dan adanya atmosfer tebal,
- Keduanya memiliki komposisi kimia yang hampir sama.

Transit Venus

Transit Venus merupakan peristiwa dimana bayangan Venus muncul pada piringan Matahari dan berada diantara lintasan Bumi-Matahari. Dikarenakan inklinasi dari orbit Venus, fenomena transit Venus ini jarang terjadi pada rentang umur manusia normal. Fenomena ini terjadi dua kali dalam rentang 8 tahun, dan akan terulang kembali dalam rentang waktu lebih dari satu abad, berkisar 105,5 atau 121,5 tahun. Transit Venus terakhir tercatat pada tanggal 8 Juni 2004 dan 6 Juni 2012, serta akan terulang kembali pada tanggal 11 Desember 2117.

BUMI

Bumi merupakan planet ketiga terdekat dari Matahari dan planet terbesar kelima secara ukuran di Tata Surya. Planet ini juga merupakan planet batuan terbesar pada golongan planet dalam di Tata Surya. Planet Bumi satu-satunya planet di alam semesta yang diketahui terdapat kehidupan. Diperkirakan Bumi terbentuk pada 4,57 miliar tahun lalu. Bulan, sebagai satu-satunya satelit alami Bumi, mulai mengorbit Bumi sesaat setelah Bumi terbentuk, 4,533 miliar tahun lalu, dan terdapat beberapa teori tentang asal-usul Bulan. Sekitar 71% permukaan Bumi tertutupi oleh air, dan sisa 29,2% merupakan padatan dan "kering". Akan tetapi total air merupakan bagian yang sangat kecil dibandingkan elemen lain pada struktur planet Bumi.



Gambar 10. Venus pada sinar tampak
(Teleskop Hubble)



Gambar 11: Bumi dan Bulan
(Misi Galileo, 1998)

Venus sebagai saudara kembar Bumi. Analogi.

Kedua planet ini lahir pada waktu yang sama dari awan gas yang sama pada 4,6 miliar tahun lalu,

- Keduanya merupakan planet dalam di Tata Surya,
- Pada permukaan keduanya terdapat struktur tanah yang bervariasi, seperti pegunungan, lapangan, lembah, dataran tinggi, gunung berapi, kawah, dll,

Antara Bumi dan alam semesta terdapat interaksi yang nyata dan kekal. Sebagai contoh Bulan menyebabkan gaya tidal bagi Bumi. Bulan juga mempunyai pengaruh terhadap kecepatan rotasi Bumi. Semua objek yang berada di sekeliling Bumi akan

tertarik ke arah Bumi, gaya tarikan ini dinamakan sebagai gaya gravitasi, dan percepatan yang dialami oleh benda jatuh akibat medan gravitasi disebut percepatan gravitasi (disimbolkan dengan " g " = $9,81 \text{ m / s}^2$).

Lautan di Bumi dipercaya telah terbentuk sejak periode pembentukan awal akibat benturan dari banyak komet, yang kemudian benturan dengan asteroid juga mempengaruhi dan mengubah lingkungan di Bumi secara signifikan. Sedangkan untuk perubahan orbit Bumi terhadap Matahari diprediksikan merupakan penyebab terjadinya zaman es di Bumi, seperti yang telah dipelajari pada sepanjang sejarah Bumi.

Tekanan pada permukaan atmosfer Bumi sebesar 101,3 kPa dan terdiri dari 78% Nitrogen (N_2), 20,95% Oksigen (O_2), 0,93% Argon, 0,038% Karbon dioksida, dan sekitar 1% uap air (bergantung musim).

MARS

Mars merupakan planet terdekat keempat dari Matahari di Tata Surya, dan terkecil kedua setelah Merkurius. Mars termasuk pada golongan planet terrestrial, dan menyandang nama Dewa perang Roma, "Mars", dikarenakan warnanya yang kemerahan jika dilihat dari Bumi. Beberapa misi antariksa telah mempelajari planet ini lebih lanjut sejak tahun 1960 untuk mendapatkan sebanyak mungkin informasi mengenai struktur geografi, atmosfer, dan detail lainnya.

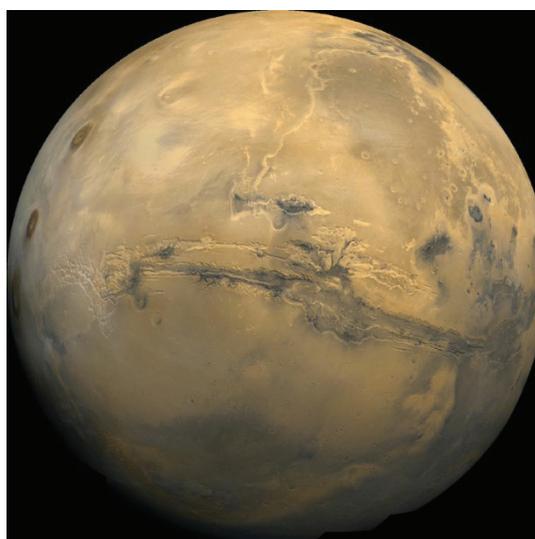
Mars dapat diamati dengan mata telanjang dari Bumi, akan tetapi Mars tidak seterang Venus dan hanya terkadang lebih terang dari Jupiter. Mars akan lebih terang dari Jupiter jika Mars berada pada posisi oposisi dengan Bumi-Matahari. Diantara seluruh objek pada Tata Surya, planet yang dijuluki sebagai planet "Merah" ini paling banyak menginspirasi berbagai buku fiksi. Alasan utamanya dikarenakan planet ini memiliki kanal yang terkenal, pertama kali dikenalkan pada tahun 1858 oleh Giovanni Schiaparelli, dan sering disebut sebagai hasil dari konstruksi manusia, yang sekarang sudah terbukti bahwa hal tersebut salah. Warna kemerahan planet ini disebabkan oleh adanya senyawa hematite (Fe_2O_3 , besi (iii) oksida), yang dapat ditemukan pada mineral di permukaan Mars. Mars memiliki relief permukaan yang tajam, dimana terdapat pegunungan tertinggi di Tata Surya, volcano Olympus Mons, dengan ketinggian berkisar 25 km, dan juga tebing terbesar dengan kedalaman rata-rata 6 km.

Inti planet Mars terbuat dari besi dengan diameter sekitar 1700 km, dilapisi mantel olivine dan kerak basal dengan ketebalan rata-rata 50 km. Mars memiliki atmosfer dengan komponen utama karbon dioksida. Dulu atmosfer Mars memiliki lapisan hidrosphere yang aktif, dimana terkadang air berada di permukaan, akan tetapi dengan kondisi temperatur atmosfer, akibat dari hilangnya medan magnet, dan juga pengaruh temperatur Mars, maka air menguap pada suhu ruangan. Saat ini, atmosfer Mars memiliki tekanan permukaan sebesar 0,6 – 1,0 kPa dan mempunyai komposisi 95,72% Karbon dioksida, 2,7% Nitrogen, 1,6% Argon, 0,2% Oksigen, 0,07% Karbon monoksida, 0,03% uap air, 0,01% Nitrogen monoksida, dan sebagian kecil Neon, Crypon, Formaldehida, Xenon. Ozon, Methana.

Mars hanya memiliki 2 satelit alami, yaitu Phobos dan Deimos, yang kemungkinan besar merupakan asteroid yang terperangkap oleh gravitasi Mars. Diameter Mars adalah setengah

dari diameter Bumi dan area permukaannya sama dengan luas daratan di Bumi. Massa Mars berkisar 1/10 dari massa Bumi, dan merupakan planet dengan densitas terendah diantara planet terrestrial lainnya. Berdasarkan karakteristik ini, gravitasi Mars lebih rendah daripada gravitasi di Merkurius, walaupun secara ukuran, Mars dua kali lipat daripada Merkurius.

Besar inklinasi orbit Mars hampir sama dengan inklinasi Bumi, sehingga musim yang ada di Mars sama dengan yang ada di Bumi. Ukuran es di kutub di Mars sangat bervariasi bergantung dengan musim yang berlangsung akibat pertukaran karbon dioksida dan molekul air dengan atmosfer. Karakteristik lain dari planet ini adalah satu hari Mars lebih panjang 39 menit dari satu hari Bumi. Sebaliknya, akibat jarak Mars yang lebih jauh, satu tahun Mars lebih lama daripada satu tahun Bumi, lebih dari 322 hari. Mars merupakan planet terdekat dari Bumi, dan jarak ini semakin dekat ketika Mars berada pada oposisi, dimana Bumi berada pada posisi diantara Matahari dan Mars dalam garis lurus.



Gambar 12 Mars (atas); Olympus Mons (bawah)

Pada tanggal 27 Agustus 2003, Mars hanya berjarak 55,76 juta km dari Bumi, atau hanya 0,3727 AU, dimana jarak terdekat Mars sebelumnya tercatat pada jarak 59,618 juta km. Fenomena seperti ini seringkali membuat kita berimajinasi, misal seperti Mars akan terlihat sebesar Bulan purnama. Dengan di-

ameter sudut sebesar 25,13 detik busur, Mars secara normal hanya akan terlihat seperti titik jika dilihat dengan mata telanjang, sedangkan Bulan akan terlihat jauh lebih besar dimana diameter busurnya berkisar 30 menit busur (1800 detik busur). Oleh karena itu, oposisi Mars merupakan salah satu fenomena langka, dan oposisi Mars terdekat akan terjadi kembali pada tanggal 28 Agustus 2287, dimana jarak antara kedua planet adalah 55,69 juta km.

JUPITER

Jupiter adalah planet terdekat kelima dari Matahari dan planet terbesar di Tata Surya. Diameter Jupiter 11 kali lebih besar dari diameter Bumi, dengan massa 318 kali lebih besar dari massa Bumi, dan volume 1300 kali lebih besar dari volume Bumi. Jupiter mengorbit Matahari dengan jarak 778.546.200 km. Jupiter merupakan objek paling terang keempat di langit jika terlihat dari Bumi (setelah Matahari, Bulan, Venus, dan terkadang Mars). Keberadaan planet ini telah diketahui sejak zaman prasejarah. Penemuan empat satelit terbesar Jupiter, Io, Europe, Ganymede, dan Callisto (disebut pula satelit Galilean) oleh Galileo, dan Simon Marius pada tahun 1610 merupakan pengamatan pertama yang membuktikan bahwa Bumi bukan sebagai pusat gerak objek langit. Penemuan tersebut merupakan titik balik yang penting bagi teori heliosentris terhadap gerak planet yang dikemukakan oleh Nicolaus Copernicus. Hasil temuan dan dukungan Galileo terhadap teori gerak Copernicus memberikan masalah untuknya dengan pihak Gereja, dimana pada zaman itu teori geosentris sangat dipercaya oleh masyarakat, dan Gereja merupakan pihak yang berkuasa. Sebelum misi antariksa Voyager, hanya 16 satelit alami yang diketahui, akan tetapi sekarang ini telah diketahui lebih dari 60 satelit alami yang mengitari Jupiter.

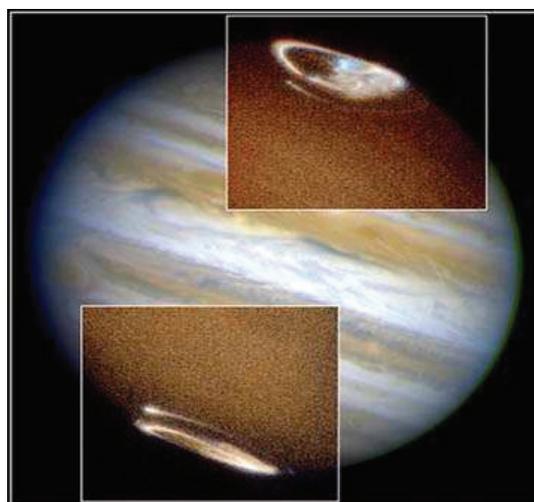
Inti Jupiter diprediksikan merupakan materi padat dengan massa hingga 10 – 15 kali massa Bumi. Inti tersebut dilapisi oleh lapisan tebal dari cairan hydrogen metalik. Dikarenakan suhu dan tekanan di dalam Jupiter, mengakibatkan hydrogen dalam wujud cair bukan gas dan berperan sebagai konduktor listrik sehingga menjadi sumber dari medan magnetik Jupiter. Lapisan ini juga kemungkinan besar mengandung helium dan jejak es. Lapisan luar Jupiter sebagian besar terbuat dari molekul hydrogen dan helium, wujud cair di dalam, dan wujud gas di luar. Atmosfer yang terlihat dari Bumi hanya bagian luar dari lapisan yang tebal. Air, karbon dioksida, metana, dan molekul sederhana lainnya terdeteksi dalam jumlah kecil.

Atmosfer Jupiter terdiri dari 80% hidrogen, dan 14% helium dengan sedikit metana, air, ammonia, dan "batu". Komposisi ini hampir sama dengan komposisi solar nebula primordial, nebula awal terbentuknya Tata Surya (Uranus dan Neptunus mempunyai jumlah hidrogen dan helium lebih sedikit).

Salah satu karakteristik unik dari Jupiter adalah adanya Bintik Merah Raksasa. Bintik Merah Raksasa (*Great Red Spot*, *GRS*) pertama kali diamati dengan teleskop di Bumi lebih dari 300 tahun lalu. Bintik ini berbentuk oval dengan ukuran panjang sumbu mayor 25000 km dan sumbu minor 12000 km, diameter ini mampu menampung dua atau tiga diameter Bumi. Daerah Bintik Merah Raksasa merupakan daerah bertekanan tinggi dan termasuk jenis badai antisiklon, dimana awan superior lebih tinggi dan lebih dingin daripada sekelilingnya. Struktur seperti ini juga teramati pada Saturnus dan Neptunus. Teori

bagaimana bintik tersebut dapat terbentuk dan bertahan dalam kurun waktu lama belum dapat dijelaskan hingga sekarang.

Pada Jupiter dan planet gas raksasa lainnya, terdapat badai dengan kecepatan sangat tinggi di daerah pita yang lebar pada lintang yang berbeda, dan dikelompokkan pada pita-pita yang bergerak pada arah berlawanan. Badai bergerak pada arah yang berbeda pada 2 pita yang berdampingan di Jupiter. Suhu yang kecil atau perbedaan komposisi kimia berpengaruh terhadap perbedaan warna untuk setiap pita Jupiter. Atmosfer Jupiter selalu mengalami turbulensi. Hal ini membuktikan bahwa badai didorong, sebagian besar, oleh energi panas internal planet dan bukan berasal dari Matahari, seperti kasus badai di Bumi. Atmosfer Jupiter memiliki tekanan permukaan sebesar 20 – 200 kPa (lapisan awan) dan komposisi kimianya adalah 90% Hidrogen (H_2), 10% Helium, 0,3% Methana, 0,036% Amonia, 0,003% Hidrogen Deuterida (HD), 0,0006% Etana, 0,0004% Air, serta es terdiri dari: Amonia, air, dan amonium hidrosulfida (NH_4SH).



Gambar 13: Jupiter (kiri); Aurora di Jupiter (kanan, diambil dari Hubble Space Telescope)

Magnetosfer Jupiter mempunyai medan magnet yang sangat besar, 14 kali lebih kuat dari medan magnet Bumi. Magnetosfer ini dapat mengembang hingga 650 juta km (lebih jauh dari orbit Saturnus). Satelit alami Jupiter berada pada magnetosfernya, yang mana dapat menjelaskan sebagian fenomena yang

terjadi pada Io. Masalah yang kemungkinan akan dihadapi untuk perjalanan ruang angkasa di masa depan, seperti yang dihadapi oleh penyusun misi Voyager dan Galileo, adalah terdapat partikel dalam jumlah yang sangat besar pada ruang di sekeliling Jupiter, dimana partikel-partikel ini tertangkap oleh medan magnet Jupiter. Radiasi pada magnetosfer ini hampir sama dengan Bumi, akan tetapi jauh lebih kuat daripada yang teramati pada sabuk Van Allen Bumi, dan akan menjadi daerah yang berbahaya (dapat menyebabkan kematian secara langsung) untuk manusia tanpa perlindungan.

Dari pengamatan wahana penjajak (*probe*) pada misi Galileo, ditemukan bahwa terdapat radiasi yang sangat kuat antara cincin Jupiter dan lapisan teratas atmosfernya. Sabuk radiasi baru ini memiliki intensitas kurang lebih 10 kali lebih kuat dari radiasi sabuk Van Allen di Bumi. Secara mengejutkan pula, pada sabuk ini terdapat ion helium berenergi tinggi, tanpa diketahui asalnya.

Jupiter memiliki cincin seperti layaknya Saturnus, tetapi cincin tersebut lebih redup dan lebih kecil dibandingkan Saturnus. Berbeda dengan cincin Saturnus, cincin Jupiter berwarna gelap, dan diprediksi terdiri dari butiran kecil materi bebatuan, serta tidak mengandung es. Partikel yang ada di cincin Jupiter kemungkinan tidak berada dalam waktu yang lama (karena pengaruh dari atmosfer dan daya tarik medan magnet). Berdasarkan data yang diberikan wahana penjajak Galileo, cincin Jupiter secara terus menerus disuplai debu yang terbentuk oleh benturan antara mikrometeorit dengan interior Jupiter, dimana berenergi sangat tinggi, akibat medan gravitasi Jupiter.

SATURNUS

Saturnus adalah planet keenam dari Matahari, merupakan planet gas raksasa, dan planet terbesar kedua berdasarkan massa dan volumenya setelah planet Jupiter. (3,3 kali lebih kecil dari Jupiter, tapi 5,5 kali lebih besar dari Neptunus dan 6,5 kali lebih besar dari Uranus). Planet ini bermassa 95 kali massa Bumi, dengan diameter 9 kali lebih besar dari Bumi. Saturnus merupakan satu-satunya planet di Tata Surya yang memiliki densitas lebih kecil dari densitas air: $0,69 \text{ g / cm}^3$. Hal ini mengidentifikasi bahwa atmosfer Saturnus memiliki komponen utama Hidrogen (lebih ringan dari air), tapi pada inti jauh lebih rapat. Meskipun inti Saturnus memiliki kerapatan lebih besar daripada air, akan tetapi kerapatan relatif lebih kecil dari air disebabkan oleh atmosfer gas hidrogen yang besar.

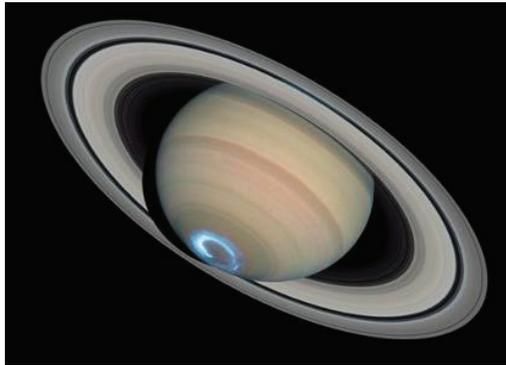
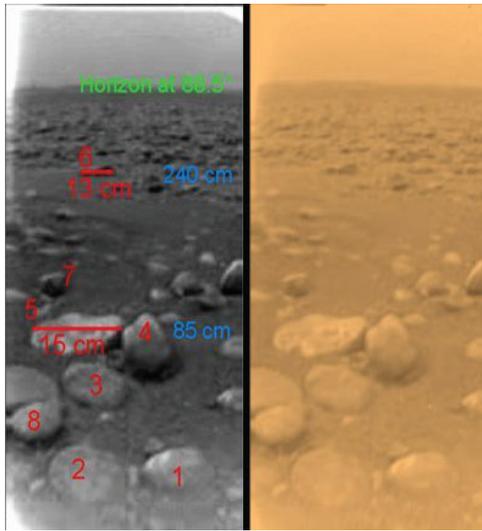
Massa dan dimensi planet Saturnus memiliki bentuk bulat spheroid, dimana bentuk yang diratakan di kutub dan dibengkakkan keluar di sekitar khatulistiwa, atau dalam bahasa sederhana, bulat di kutub tapi gepat di khatulistiwa. Perbedaan antara diameter ekuatorial dengan diameter kutub berkisar 10%, akibat oleh rotasi yang sangat cepat pada sumbunya dan komposisi cairannya yang cukup tinggi. Planet gas raksasa lainnya (Jupiter, Uranus, dan Neptunus) juga berbentuk bulat gepat, tapi tidak terlalu gepat seperti halnya Saturnus.

Atmosfer Saturnus serupa dengan atmosfer Jupiter. Atmosfer Saturnus tersusun dari beberapa pita parallel berdasarkan lintangnya, tapi pita tersebut lebih redup dari Jupiter, dan lebih lebar di ekuator. Pita-pita parallel ini lebih terpisah satu dengan lainnya jika dibandingkan dengan pita pada Jupiter.

Atmosfer Saturnus berotasi dengan kecepatan yang berbeda-beda bergantung dari posisi lintangnya. Sistem awan Saturnus (berserta badai abadi) pertama kali teramati oleh wahana Voyager. Awan yang teramati pada tahun 1990, merupakan salah satu dari Bintik Putih Raksasa (*Great White Spot*), sebuah fenomena unik Saturnus yang hanya muncul setiap 30 tahun sekali. Jika siklus ini berlanjut, maka badai selanjutnya kemungkinan akan muncul kembali pada tahun 2020. Pada tahun 2006, NASA mengobservasi badai sebesar badai siklon terkunci di kutub selatan dengan mata badai terlihat jelas. Hal ini merupakan penemuan mata badai pertama pada planet selain Bumi.

Cincin Saturnus merupakan salah satu fenomena yang menakutkan di Tata Surya, dan menjadi ciri khas dari planet Saturnus. Tidak seperti cincin planet raksasa lainnya, cincin Saturnus sangat terang (albedo berkisar 0,2 – 0,6), dan dapat diamati melalui bantuan binocular. Cincin tersebut didominasi oleh aktivitas permanen seperti tabrakan, pengakumulasian materi, dll.

Saturnus mempunyai cukup banyak satelit alami. Sulit untuk mengungkapkan berapa satelit yang dimiliki oleh Saturnus, karena es yang berada pada cincin Saturnus dapat pula dianggap sebagai satelit. Pada tahun 2009, sebanyak 62 satelit telah tercatat, 53 diantaranya telah dikonfirmasi, dan diberi nama. Sebagian besar merupakan satelit kecil, dimana 31 satelit memiliki diameter kurang dari 10 km, dan 13 satelit memiliki diameter kurang dari 50 km. Hanya 7 satelit yang mempunyai massa yang cukup besar untuk berbentuk bulat akibat gaya gravitasi dirinya sendiri. Titan merupakan satelit terbesar Saturnus, lebih besar dari Merkurius dan Pluto, dan merupakan satu-satunya satelit alami di Tata Surya yang memiliki atmosfer tebal. Misi Cassini mengirimkan wahana penjajak (*probe*), the Huygens, pada tahun 2004 ke permukaan Titan. Misi ini mempelajari komposisi dari Titan terutama siklus serupa pembentukan air di Bumi, untuk metana, elemen ini ditemukan dalam 3 bentuk (cair, gas, padat) di permukaan satelit Titan.



Gambar 14 Aurora Saturnus (kiri); Foto terakhir pada permukaan Titan, Misi Cassini – Huygens (kanan)

URANUS

Uranus adalah planet gas raksasa dan memiliki cincin sedikitnya 13 cincin utama. Planet ini merupakan planet ketujuh dari Matahari di Tata Surya, berukuran terbesar ketiga, dan massa terbesar keempat. Planet ini merupakan planet pertama yang ditemukan pada era teleskop. Meskipun dapat diamati dengan mata telanjang seperti 5 planet klasik sebelumnya (Merkurius, Venus, Mars, Jupiter, dan Saturnus), tetapi karena luminositasnya cukup rendah, objek ini tidak pernah dikenali sebagai planet. Sir William Herschel mengumumkan penemuannya pada tanggal 13 Maret 1781, sehingga menambah batas Tata Surya yang telah diketahui untuk pertama kalinya dalam zaman modern (*modern epoch*). Planet ini juga merupakan planet pertama yang ditemukan dengan bantuan teleskop.

Uranus dan Neptunus mempunyai struktur internal dan komposisi atmosfer yang berbeda dari planet raksasa lainnya, Jupiter dan Saturnus. Oleh karena itu, astronom sering kali menempatkan kedua planet ini dalam kategori yang berbeda, yaitu planet raksasa es atau subraksasa.

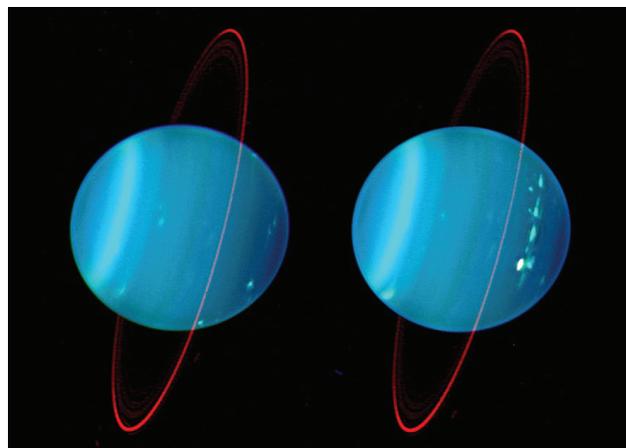
Atmosfer Uranus, meskipun sebagian besar terdiri dari hidrogen dan helium, juga terdapat air dalam wujud es, ammonia, dan methane dalam jumlah besar, dan sedikit jejak hidrokarbon. Atmosfer Uranus merupakan atmosfer terdingin dalam Tata Surya, dengan suhu terendah sebesar $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uranus mempunyai struktur awan yang kompleks, dengan awan pada

lapisan bawah diprediksikan terdiri dari air, sedangkan pada lapisan atas terdiri dari metana.

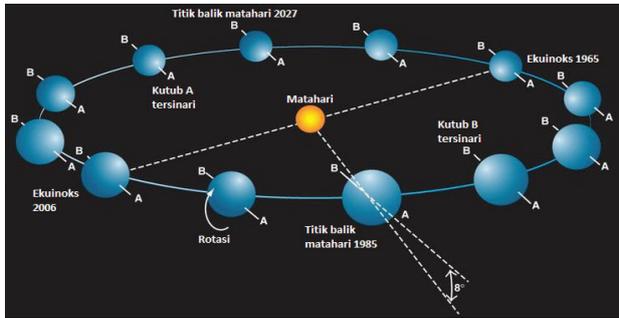
Seperti halnya planet gas raksasa lainnya, Uranus juga memiliki cincin, magnetosfer, dan banyak satelit alami. Uranus memiliki sistem konfigurasi yang unik, dimana sumbu rotasinya mirip ke samping, dan hampir sama dengan bidang revolusinya, sehingga Uranus terlihat seperti menggeling di langit dan kedua kutubnya terletak pada tempat dimana bagi planet lain merupakan ekuatornya. Pada tahun 1986, berdasarkan gambar yang diperoleh wahana Voyager 2, tidak memiliki fitur khusus pada daerah cahaya visual, tanpa pita awan atau badai yang tampak pada planet Jovian lainnya. Meskipun demikian, observasi terbaru menunjukkan bahwa adanya perubahan musim dan peningkatan aktivitas meteorology pada periode dimana Uranus mendekati ekuinoksnya Desember 2007. Kecepatan angin di permukaan Uranus dapat mencapai 250 m/s.

Tidak seperti planet lain di Tata Surya, inklinasi Uranus hampir $97,77^{\circ}$, atau condong ke porosnya, sehingga hampir sejajar dengan bidang orbitnya. Dengan konfigurasi demikian, dapat dikatakan bahwa Uranus bergulir pada orbitnya, dan kedua kutub menghadap Matahari dalam waktu yang lama berturut-turut. Salah satu dampak dari orientasi Uranus adalah daerah kutub menerima lebih banyak energi dari Matahari dibandingkan dengan daerah khatulistiwa. Namun demikian, daerah ekuator tetaplah lebih hangat daripada daerah kutub, mekanisme yang menyebabkan hal ini masih belum diketahui dengan pasti.

Satu kali revolusi Uranus mengelilingi Matahari sebesar 84 tahun Bumi, dengan jarak rata-rata dari Matahari berkisar 3 miliar km dengan intensitas sinar Matahari yang diperoleh sebesar $1/400$ dari total yang diterima Bumi. Periode rotasi Uranus adalah 17 jam 14 menit. Atmosfer lapisan atas mengalami badai yang sangat kuat pada arah rotasinya, seperti yang terjadi pada planet gas raksasa lainnya. Karenanya, sekitar lintang 60 , fitur atmosfer tampak bergerak jauh lebih cepat, dan menyelesaikan satu kali rotasi dalam waktu kurang dari 14 jam. Tekanan permukaan atmosfer Uranus kurang dari 1.3 bar, dan komposisi kimia atmosfer adalah 83% Hidrogen (H_2), 15% Helium, 2,3% Metana, 0,009% Hidrogen deuteride (HD), serta es terdiri dari: Amonia, air, dan ammonium hidrosulfida (NH_4SH), metana (CH_4).



Gambar 15a: Uranus



Gambar 15b: Orbit Uranus

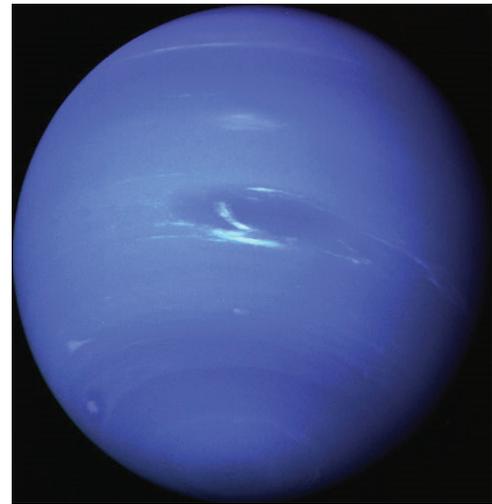
Meskipun hanya sedikit informasi yang diketahui mengenai komposisi internal planet Uranus, tapi dapat dipastikan bahwa komposisi tersebut berbeda dengan komposisi Jupiter maupun Saturnus. Model standar struktur Uranus menunjukkan bahwa inti Uranus seharusnya berupa padatan dari silikat besi, dengan diameter kira-kira 7500 km, dilindungi oleh mantel terbuat dari campuran es (air yang membeku) dengan helium, metana, dan ammonia. Mantel tersebut mempunyai tebal hingga 10,000 km, dan selanjutnya terdapat atmosfer yang terdiri dari hidrogen dan cairan helium, kurang lebih setebal 7600 km. Uranus tidak cukup masif, seperti Jupiter dan Saturnus, untuk mempertahankan hidrogen dalam fase logam di sekeliling nukleusnya. Warna biru kehijauannya planet Uranus dikarenakan oleh adanya unsur metana pada atmosfer, yang mengabsorpsi panjang gelombang merah dan inframerah.

Uranus memiliki paling sedikit 27 satelit alami. Dua satelit pertama ditemukan oleh William Herschel pada tanggal 13 Maret 1787 dan dinamakan Titania dan Oberon.

NEPTUNUS

Neptunus merupakan planet kedelapan dan planet terjauh dari Matahari pada Tata Surya. Planet Neptunus ditemukan oleh astronom Jerman, Johann Gottfried Galleon pada tanggal 23 September 1847, mengikuti prediksi yang dikemukakan oleh Urban Le Verrier berdasarkan perhitungan matematika pada daerah di langit yang kemungkinan akan ditemukan objek lain di dalamnya, hal ini juga dikemukakan oleh astronom Inggris John Couch Adam.

Neptunus tidak akan dapat teramati dengan mata telanjang dari Bumi dan tidak terlihat seperti piringan hijau kebiruan melalui teleskop. Planet ini hanya sekali dikunjungi oleh wahana antariksa, Voyager 2, pada tanggal 25 Agustus 1989. Satelit alami terbesar adalah Triton. Komposisi internal Neptunus hampir sama dengan komposisi Uranus. Inti Neptunus diyakini merupakan berupa padatan terbuat dari besi dan silikat, dengan massa sebesar massa Bumi, dan dilindungi oleh mantel es, metan, 15% hidrogen dan sedikit helium. Pada Neptunus tidak terdapat struktur lapisan seperti pada Jupiter dan Saturnus.



Gambar 16: Neptunus

Warna kebiruan Neptunus sebagian besar berasal dari metana, dimana mengabsorpsi cahaya tampak di panjang gelombang merah. Atmosfer Neptunus mengandung 80% Hidrogen (H_2), 19% Helium, 1.5% Metana, $\sim 0,019\%$ Hidrogen deuteride (HD), $\sim 0,00015\%$ Etana, serta es yang terdiri dari amonia, air, amonium hidrosulfida, dan metana.

Seperti planet gas raksasa lainnya, Neptunus juga memiliki sistem aerolian berasal dari angin dengan kecepatan yang sangat tinggi pada pita sejajar dengan ekuator, yaitu pusaran badai besar. Angin tercepat yang ada di Neptunus dapat mencapai kecepatan lebih dari 2000 km / jam. Selama survei wahana Voyager 2, hal yang paling menarik adalah proses pembentukan dari Bintik Hitam Raksasa (*Great Dark Spot*), dengan ukuran kemungkinan sama dengan Bintik Merah Raksasa Jupiter (*Great Red Spot*). Bintik Hitam Raksasa merupakan badai besar antisiklon dengan kecepatan sebesar 1000 km/jam. Cincin Neptunus cenderung berwarna gelap dengan awal pembentukan masih belum diketahui. Neptunus memiliki paling sedikit 13 satelit alami, paling besar diantaranya adalah Triton, ditemukan oleh William Lassell, segera setelah 17 hari setelah planet Neptunus ditemukan.

PLANET Kerdil

PLUTO-CHARON AND ERIS

Meskipun banyak objek yang telah dikonfirmasi sebagai planet kerdil, Pluto (jarak rata-rata 39 AU), Charon (satelit Pluto), dan Eris (berukuran lebih besar dari Pluto), merupakan objek yang menarik.

Pluto ditemukan pada tahun 1930 oleh Clive Thombaugh, awalnya dikategorikan sebagai planet, dan dilakukan kategori ulang menjadi planet kerdil pada Agustus 2006. Inklinalasi Pluto sebesar 17° terhadap bidang ekliptikanya. Jarak orbit Pluto pada titik perihelion berkisar 29,7 AU dan pada titik aphelion berkisar 49,5 AU. Satelit Pluto terbesar, Charon, cukup masif sehingga keduanya berputar di sekitar pusat gravitasinya dan selalu menunjukkan sisi yang sama; titik pusat massa berada diantara Pluto dan Charon. Empat satelit Pluto lainnya (Nix, Styx, Kerberos, dan Hydra) mengorbit Pluto. Pluto termasuk

dalam objek resonansi Neptunus dengan resonansi orbital 3:2 (Pluto menyelesaikan dua kali revolusinya saat Neptunus telah menyelesaikan 3 kali revolusi).

Eris ditemukan pada Januari 2005 oleh tim Observatorium Palomar yang diketuai oleh Michael E. Brown. Dengan ukuran yang sedikit lebih besar dari Pluto, Eris sempat dikategorikan sebagai planet ke-10 hingga dikategorikan kembali oleh IAU pada 2006 sebagai planet kerdil. Eris memiliki satelit alami, yaitu Disnomia. Sama halnya seperti Pluto, Eris merupakan bagian dari Sabuk Kuiper dan objek Transneptunian.

OBJEK LAIN DI TATA SURYA

Ruang antarplanet

Selain cahaya, Matahari juga menghasilkan radiasi arus kontinu dari partikel-partikel bermuatan (plasma) yang disebut angin matahari. Angin matahari ini bergerak dengan kecepatan 1.5 juta km/jam, sehingga menciptakan lapisan heliosfer (*heliosphere*), atmosfer tipis yang mengelilingi Tata Surya se-luas kurang lebih 100 AU (ujung heliosfer disebut *heliopause*). Materi yang membuat lapisan heliosfer ini dinamakan materi antarplanet. Siklus 11 tahun matahari, juga frekuensi lidah api (*solar flares*) dan lontaran massa korona (*coronal mass ejection*), mengganggu heliosfer dan menciptakan iklim antarplanet. Rotasi dari medan magnetik matahari dalam ruang antarplanet, menyebabkan adanya Lembar Aliran Heliosfer (*Heliospheric Current Sheet*), dan merupakan struktur terbesar dalam Tata Surya.

Medan magnetik Bumi melindungi atmosfernya dari angin matahari. Interaksi dari tumbukan antara angin matahari dan medan magnetik Bumi akan menghasilkan fenomena aurora pada kutub Bumi. Heliosfer merupakan perlindungan pertama Tata Surya dari sinar kosmik, dimana perlindungan ini akan lebih kuat untuk planet yang mempunyai medan magnet.

Ruang antarplanet juga merupakan tempat beradanya setidaknya dua daerah piringan yang berisi debu kosmik. Daerah pertama, awan debu zodiak⁴, terletak bagian dalam dan merupakan penyebab cahaya zodiak. Awan ini kemungkinan terbentuk akibat tumbukan dalam sabuk asteroid yang disebabkan oleh interaksi dengan planet-planet. Daerah kedua membentang antara 10 – 40 AU, dan kemungkinan disebabkan oleh tumbukan yang mirip pada sabuk Kuiper. Materi ini merupakan “sisa” dari akresi planet, dan meliputi kelompok yang bervariasi, seperti asteroid, komet, dan objek transneptunian.

Komet

Komet merupakan benda kecil Tata Surya, dengan diameter berorder kilometer, dan pada umumnya terbentuk oleh es yang mudah menguap. Komet memiliki eksentrisitas yang sangat besar, dengan titik perihelionnya terkadang berada di Tata Surya bagian dalam, sedangkan titik aphelionnya berada lebih jauh dari Pluto. Ketika komet memasuki bagian dalam Tata Surya, akibat jaraknya yang dekat dengan Matahari, me-

macu adanya proses sublimasi dan ionisasi pada permukaannya, dan menciptakan ekor komet, jejak panjang yang terbuat dari gas dan debu.

Komet periode pendek (contoh: Komet Halley) menyelesaikan orbitnya pada waktu kurang dari 200 tahun dan diyakini berasal dari sabuk Kuiper. Komet periode panjang (contoh: Komet Hale-Bopp) mempunyai periode ribuan tahun dan diyakini berasal dari awan Oort. Beberapa komet juga mempunyai trajektori hiperbola, dimana hal ini menunjukkan bahwa komet dapat melarikan diri dari Tata Surya. Komet tua telah kehilangan komponen yang mudah menguap dan sering dipercaya menjadi asteroid pada masa sekarang.

Centaur, berjarak diantara 9 – 30 AU, adalah objek-objek es yang mirip dengan komet, dimana orbitnya diantara Jupiter dan Neptunus. Objek Centaur terbesar yang diketahui, Chariklo, mempunyai diameter berkisar antara 200 dan 250 km. Objek Centaur pertama, Chiron, pada awalnya dikategorikan sebagai komet karena memiliki ekor layaknya ekor komet. Beberapa astronom mengelompokkan Centaur sebagai bagian dari sabuk Kuiper.



Gambar 17: Komet

Reservoir Benda Kecil Tata Surya

Reservoir dalam hal ini mengacu pada daerah relatif stabil di Tata Surya, dimana objek Tata Surya yang dapat berada di daerah tersebut dalam waktu yang lama, hingga orbitnya berubah akibat adanya gaya gangguan.

Ada 3 reservoir besar pada Tata Surya:

1. **Sabuk Asteroid Utama.** Populasi objek yang terdapat pada daerah ini seperti asteroid yang menuju Bumi (disingkat dengan NEAS, *Near Earth Asteroid*). Asteroid merupakan objek kecil yang dominan pada Tata Surya yang terbuat dari batu dan mineral logam yang tidak mudah menguap. Sabuk asteroid berada orbit diantara Mars dan Jupiter, dengan jarak berkisar 2,3 – 3,3 AU dari Matahari. Sabuk asteroid ini terbentuk dari primordial solar nebula planetesimal, atau sisa-sisa kehancuran dari cikal bakal planet. Planetesimal dalam pembentukan planet telah terganggu cukup kuat oleh gravitasi Jupiter, sehingga gagal menjadi planet.

4 Debu yang ditemukan dalam Tata Surya, utamanya pada ruang diantara Matahari dan Jupiter.

Ukuran Asteroid cukup bervariasi dari ukuran dalam ratusan kilometer sampai debu mikroskopik. Semua Asteroid, kecuali untuk Ceres, dikategorikan sebagai benda kecil Tata Surya. Beberapa Asteroid besar seperti Vesta dan Hygeia dapat dikategorikan sebagai planet kerdil, jika dalam kedepannya Asteroid tersebut dapat mencapai kesetimbangan hidrostatik. Sabuk asteroid mengandung ribuan, bahkan jutaan objek dengan diameter lebih dari satu kilometer. Namun demikian, total massa sabuk ini hanya berkisar 1/1000 dari massa Bumi.

Ceres (berjarak 2.77 AU dari Matahari) merupakan objek terbesar pada sabuk Asteroid dan satu-satunya yang dikategorikan sebagai planet kerdil. Dengan diameter hampir sebesar 1000 km, dan memiliki massa yang cukup besar untuk mencapai kesetimbangan hidrostatik, ditandai dengan bentuknya yang bulat.

2. **Sabuk Transneptunian.** Tempat dimana komet periode pendek berasal. Sabuk Kuiper adalah sebuah cincin raksasa yang mirip dengan sabuk asteroid, dengan komposisi utamanya adalah es. Bagian pertama dari sabuk Kuiper memanjang antara 30 hingga 50 AU dari Matahari dan berhenti pada "tebing Kuiper", dimana merupakan titik awal dari bagian kedua hingga 100 AU. Daerah ini diyakini sebagai sumber dari komet periode pendek. Sabuk ini terdiri dari beberapa objek kecil, dan beberapa objek besar, seperti Quaoar, Varuna, atau Orcus, yang mungkin dapat diklasifikasikan sebagai planet kerdil. Sabuk Kuiper dapat dibagi menjadi objek "sabuk klasik" dan objek beresonansi dengan Neptunus. Sebagai contoh dari objek resonansi ini adalah dua orbit objek plutonian untuk setiap tiga orbit Neptunus.
3. **Awan Oort.** Memiliki distribusi bola dan dibentuk oleh planetesimal yang beku yang disapu keluar oleh planet raksasa selama masa pembentukan Tata Surya. Akibat adanya gangguan dari papasan dekat bintang atau awan molekul raksasa, atau gaya pasang surut galaksi, orbit dari beberapa objek ini dapat berubah membelok menuju bagian dalam Tata Surya, menjadi komet periode panjang.

SISTEM KEPLANETAN LAIN

Pada tahun 1995, astronomer Swiss, Michael Mayor dan Didier Queloz mengumumkan bahwa mereka berhasil mendeteksi eksoplanet yang mengorbit 51 Pegasi. Bintang dan planet kemudian dinamai Helvetios dan Dimidio pada tahun 2015 setelah dilakukan voting umum yang dilakukan IAU.

Pada 10 Mei 2016, para saintis yang berkolaborasi pada misi teleskop Kepler, misi pertama NASA untuk mencari planet yang habitable seukuran Bumi, mengumumkan koleksi terbesar eksoplanet baru. Dari 5.000 kandidat, lebih dari 3200 sudah terkonfirmasi, dan 2325 diantaranya terkonfirmasi menggunakan teleskop Kepler.

Satelit NASA "*Transiting Exoplanet Survey*", yang mengorbit sejak tahun 2018, juga menggunakan metode yang sama dengan teleskop Kepler untuk mengamati 200.000 bintang terang yang dekat untuk mencari planet terutama dengan seukuran Bumi atau lebih besar dari Bumi (Super Earth).

Berapa banyak bintang yang memiliki planet? Berapa banyak sistem planet tersebut yang memiliki planet pada zona layakhidup (*habitable zone*), dimana air dapat berupa zat cair, dan planet tersebut berada pada posisi yang ideal dari bintang induknya. Berapa banyak planet yang terdapat kehidupan didalamnya? Pertanyaan - pertanyaan inilah yang hingga sekarang masih belum terjawab oleh astronomi modern, dan masih dicari jawabannya.

REFERENSI

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.

HORIZON LOKAL DAN JAM MATAHARI

Rosa M. Ros

International Astronomical Union, Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España)

Penerjemah: Andi Fitriawati

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

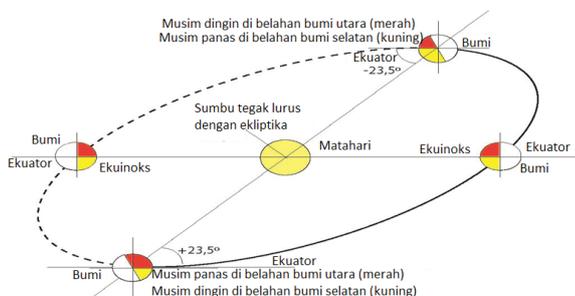
Studi tentang horizon sangat penting untuk memfasilitasi pengamatan pertama siswa. Suatu model sederhana yang dihasilkan, memungkinkan kita untuk belajar dan memahami dasar-dasar astronomi dengan cara yang lebih mudah. Model tersebut juga disajikan dalam bentuk sederhana seperti jam ekuatorial, berawal dari model ini kita dapat membuat model lainnya (horizontal dan vertikal).

TUJUAN

- Memahami pergerakan harian dan tahunan matahari.
- Memahami pergerakan kubah langit.
- Memahami bentuk dan desain jam matahari.

BUMI BEROTASI DAN BEREVOLUSI

Seperti yang diketahui, bumi berputar pada porosnya, sehingga terjadi siang dan malam. Sumbu perputaran ini disebut sebagai sumbu bumi oleh para astronom kuno, karena seolah-olah langit bergerak mengelilingi sumbu tersebut. Tetapi bumi berevolusi dalam orbit elips, dengan matahari sebagai pusat. Sebagai pendekatan awal, kita dapat menganggapnya sebagai gerak melingkar (karena nilai eksentrisitas mendekati nol atau memiliki orbit hampir lingkaran).



Gambar 1: Skema revolusi Bumi. Sudut antara bidang ekuator Bumi dan bidang ekuiptika adalah $23,5^\circ$. Sudut antara sumbu rotasi Bumi dan sumbu yang tegak lurus terhadap bidang ekuiptika juga $23,5^\circ$.

Bumi membutuhkan waktu satu tahun untuk melakukan satu kali orbit mengelilingi matahari, bidang orbit Bumi ini disebut sebagai bidang ekuiptika. Bidang tersebut tidak tegak lurus terhadap sumbu rotasi Bumi, melainkan miring. Lebih spesifik, sudut antara sumbu rotasi bumi dan sumbu yang tegak lurus terhadap ekuiptika adalah $23,5^\circ$. Sama halnya dengan sudut antara bidang ekuator bumi dan bidang ekuiptika adalah $23,5^\circ$ (Gambar 1). Inklinasi ini menyebabkan terjadinya musim. Untuk memvisualisasikan fenomena ini, kita akan membuat suatu model sederhana (Gambar 2).

Kita mengilustrasikan fenomena tersebut dengan empat bola bumi (globe) dan sebuah bola lampu, mempresentasikan matahari, yang diletakkan di tengah. Sebaiknya gambarkan permukaan bumi pada bola untuk membedakan ekuator dan kutubnya. Kemudian, diberikan beberapa jarak relatif terhadap ukuran bola bumi yang mempresentasikan model bumi. Dalam kasus ini, digunakan bola bumi yang berdiameter 8 cm. Kita akan menggunakan taplak meja kecil atau kertas yang memiliki diagonal 25 cm. Kita meletakkan empat bola bumi tersebut saling berseberangan (masing-masing di depan yang lainnya, Gambar 2) yang ditinggikan menggunakan 4 tongkat yang masing-masing berukuran 3, 15, 25 dan 15 cm. Ukuran tongkat tersebut dihitung sehingga inklinasi bidang ekuator terhadap bidang ekuiptika sekitar 23° .



2a



2b



2c

Gambar 2a, 2b, dan 2c: Distribusi empat bola bumi yang mempresentasikan Bumi dan bola lampu yang mempresentasikan Matahari, berada di tengah. Perlu untuk mendistribusikan posisi relatif sehingga sudut garis dari pusat Matahari ke pusat Bumi adalah 23° terhadap tanah yang mempresentasikan bidang ekuator

Kita akan menempatkan model tersebut dalam ruangan gelap dan menyalakan bola lampu (bisa diganti lilin, tetapi selalu perhatikan bahwa ketinggian relatifnya itu penting). Cukup jelas bahwa belahan bumi bagian utara lebih banyak menerima cahaya saat bola bumi berada di posisi A daripada di posisi C (Gambar 3), sedangkan belahan bumi bagian selatan lebih banyak menerima cahaya saat bola bumi berada di posisi C daripada di posisi A. Pada posisi B dan D, kedua belahan bumi mendapatkan penyinaran yang sama; sesuai dengan ekuinoks musim gugur dan musim semi. Area yang lebih banyak menerima cahaya akan mengalami musim panas dan area yang kurang cahaya, mengalami musim dingin. Kita menyimpulkan bahwa ketika bumi berada pada posisi A, maka terjadi musim panas di belahan bumi bagian utara dan musim dingin di belahan bumi bagian selatan. Ketika bumi berada pada posisi C, maka terjadi musim dingin di belahan bumi bagian utara dan musim panas di belahan bumi bagian selatan.



Gambar 3: Model gerakan revolusi yang menjelaskan musim. Ketika Bumi berada pada posisi A, maka terjadi musim panas di belahan bumi utara dan musim dingin di belahan bumi selatan. Ketika Bumi pada posisi C maka terjadi musim dingin di belahan bumi utara dan musim panas di belahan bumi selatan. Dan ketika Bumi berada pada posisi B dan D maka belahan bumi

memperoleh pencahayaan yang sama dan terjadi ekuinoks. Kemudian, waktu siang dan malam hari adalah sama.

Model ini menawarkan banyak kesempatan untuk belajar karena jika kita berimajinasi bahwa seseorang hidup di salah satu belahan bumi, kita akan mengetahui bahwa dia melihat matahari dengan ketinggian berbeda tergantung pada musimnya. Kita berimajinasi, untuk contoh, bahwa kita mempunyai seseorang di belahan bumi bagian utara yang berada pada posisi A, orang tersebut melihat matahari $23,5^\circ$ di atas bidang ekuator (Gambar 4a). Namun, jika dia di belahan bumi bagian utara tetapi berada di posisi C, maka dia melihat matahari $-23,5^\circ$ di bawah ekuator (Gambar 4b). Ketika dia berada di posisi B dan D, maka dia melihat matahari tepat di ekuator, yaitu 0° di atas ekuator.



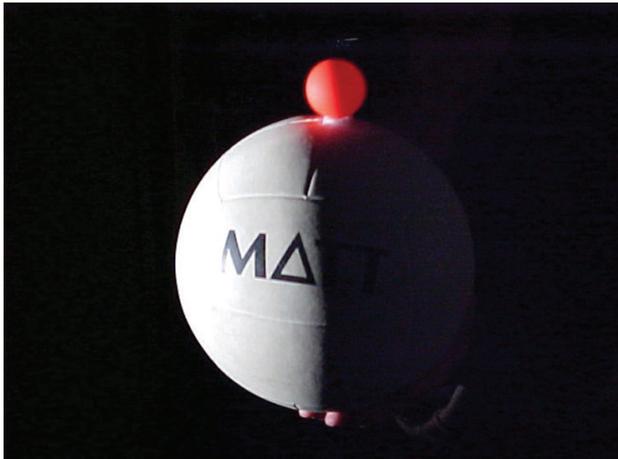
Gambar 4a: Pada posisi A terjadi musim panas di belahan bumi bagian utara dan Matahari $23,5^\circ$ di atas ekuator. Namun, di belahan bumi bagian selatan terjadi musim dingin.



Gambar 4b: Pada posisi C terjadi musim dingin di belahan bumi bagian utara dan Matahari $23,5^\circ$ di bawah ekuator. Namun, di belahan bumi bagian selatan terjadi musim panas.

BUMI PARALEL

Posisi yang kita lihat pada model sebelumnya “Bumi dari luar” tidak mudah untuk diamati dari posisi kita berada. Faktanya hal tersebut sangat tidak mungkin karena kita menempel di permukaan Bumi dan hanya seorang astronot dari pesawat antariksanya yang dapat melihat Bumi dari luar. Tetapi ada strategi sederhana yang memungkinkan kalian untuk melihat Bumi dari luar dan daerah terang setiap jam dan setiap hari. Mari kita menggunakan Bumi paralel untuk hal ini. Artinya, bola bumi (globe) mendapatkan penyinaran dengan cara yang sama seperti Bumi oleh sumber yang sama yaitu Matahari.



Gambar 5: Lampu sorot menyinari dua permukaan dengan cara yang sama dan menghasilkan area cahaya dan bayangan yang sama

Jika sebuah lampu sorot menyinari dua permukaan maka akan menghasilkan area cahaya dan bayangan yang sama (gambar 5), jadi jika kita mengarahkan dengan benar bola bumi tersebut maka area yang disinari pada bola bumi dengan planet bumi kita akan sama dan kita dapat melihatnya seolah-olah kita adalah seorang astronot yang terletak lebih jauh dari ISS.

Kita akan menggunakan bola bumi (globe) pada umumnya, melepaskan kakinya/penyangganya dan meletakkannya di atas gelas, dengan sumbu rotasinya searah dengan bumi (kita menggunakan kompas untuk menunjukkan pada kita arah utara-selatan). Kita juga tahu bahwa posisi kota kita harus berada di titik tertinggi, karena, dimana pun di dunia ini (dimana) kita tinggal, jika kita bergerak lurus ke segala arah selama beberapa km, jelas bahwa (kapan pun) kita akhirnya akan turun pada permukaan bola bumi. Jadi posisi kita selalu di paling atas.

Kemudian, kita akan menggunakan kompas yang menunjukkan arah utara-selatan untuk meluruskan sumbu bola bumi dan kota kita akan ditempatkan pada posisi tertinggi (gambar 6a). Untuk memverifikasi bahwa bola bumi diposisikan dengan benar maka kalian dapat menempatkan pensil di kota dalam keseimbangan horizontal dan jika pensilnya berada di atas maka tidak akan jatuh, tetapi jika pensilnya jatuh maka kalian harus sedikit mengkoreksi posisi bola bumi sampai posisi pensil stabil. Kita dapat mengilustrasikan posisi ini dengan

menempatkan sebuah boneka untuk mempresentasikan kita (gambar 6b).

Menggunakan sedikit “tanah liat” kita dapat membuat garis matahari/bayangan dan melihat bagaimana garis itu akan bergerak perlahan melintasi permukaan bola bumi seiring berlalunya waktu hingga tiba waktu malam. Kita dapat meletakkan beberapa batang kecil sebagai gnomon dan melihat bagaimana bayangannya dan bagaimana bayangan-bayangan tersebut bergerak sepanjang hari sehingga kita dapat memvisualisasikan efek gerakan rotasi di Bumi (gambar 6b).



Gambar 6a: Bola bumi, dengan kedudukan biasa, tidak berfungsi sebagai model. Untuk dapat menjadi model yang sempurna, bola dunia harus diletakkan di luar, di atas gelas dan diorientasikan dengan tempat dari mana kita mengamatinya di atas. Gambar 6b: Kita dapat meletakkan sebuah boneka yang menunjukkan posisi kita dan beberapa plastisin untuk menunjukkan garis demarkasi dari area cahaya/bayangan. Seiring berlalunya waktu, maka garis cahaya/bayangan ini akan hilang. Anda juga bisa meletakkan beberapa tusuk gigi di atas plastisin untuk mempelajari bayangannya.



7a



7b



7c

Gambar 7a: Di belahan bumi utara, kutub utara berada di daerah yang cerah oleh karena itu menandakan musim panas di belahan bumi ini dan kita sedang mengamati fenomena matahari tengah malam. Di belahan bumi selatan, kutub selatan berada dalam daerah bayangan menandakan musim dingin. Gambar 7b: Kutub utara berada dalam daerah bayangan, menandakan musim dingin di belahan bumi utara. Di belahan bumi selatan, kutub selatan berada di daerah yang cerah menandakan musim panas. Gambar 7c: Daerah yang berada tepat di garis yang memisahkan bumi ke siang dan malam melewati kedua kutub, maka daerah tersebut sedang terjadi hari pertama musim gugur atau hari pertama musim semi

Hal yang paling menarik adalah memvisualisasikan gerakan translasi, ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana garis ma-

tahari/bayangan bergerak sepanjang tahun. Dengan demikian dapat diamati bahwa pada musim panas (gambar 7a), musim dingin (gambar 7b) dan pada saat ekuinoks (gambar 7c) posisinya sama seperti yang dapat kalian periksa pada model awal dengan empat bola bumi (gambar 3)

Namun setelah mempertimbangkan kedua model tersebut, kita yakin bahwa perlu untuk memperkenalkan model “nyata” bagi pengamat yang terkait dengan Bumi dan yang mengamati bintang-bintang setiap hari bergerak relatif terhadap cakrawala. Kita akan membuat suatu dengan horizon lokal dari pengamat, SUATU MODEL OBSERVASI REAL.

OBSERVASI

Guru-guru dari berbagai bidang sains (mekanik, kelistrikan, kimia, biologi, dan lainnya) cenderung menyatakan bahwa tidak mungkin untuk bekerja dengan baik di pusat sains sekunder tanpa laboratorium. Dalam hal ini, guru astronomi cenderung senang karena mereka selalu memiliki laboratorium astronomi. Semua institusi dan sekolah memiliki tempat bermain siswa: taman bermain terbuka atau halaman. Namun ini bukan hanya tempat bermain, tetapi juga merupakan laboratorium astronomi: suatu tempat yang menawarkan kemungkinan untuk melakukan kegiatan astronomi secara praktis. Jika kita memiliki sebuah laboratorium di setiap sekolah atau institusi, sepertinya cocok untuk digunakan!



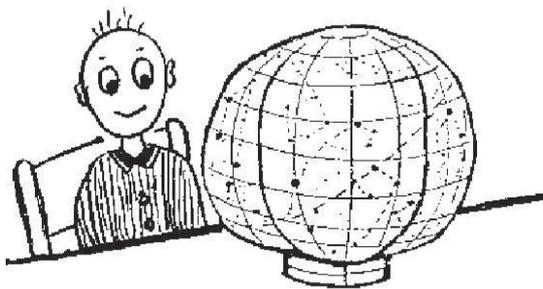
Gambar 8: Representasi klasik dari bola langit.

Masalah yang muncul ketika seorang siswa menggunakan halaman sekolah untuk melakukan kegiatan astronomi secara praktis adalah kurangnya keterkaitan penjelasan guru tentang bola langit di luar dan di dalam kelas. Ketika guru menjelaskan tentang meridian dan kesejajaran atau posisi koordinat di papan tulis, dalam teks, atau dengan model, maka dia mempresentasikannya dalam gambar seperti Gambar 8. Hal ini tidak terlalu sulit dan siswa cenderung memahaminya tanpa masalah. Gambar yang dimiliki siswa sebelumnya mirip dengan yang telah mereka gunakan ketika mempelajari geografi (Gambar 9).

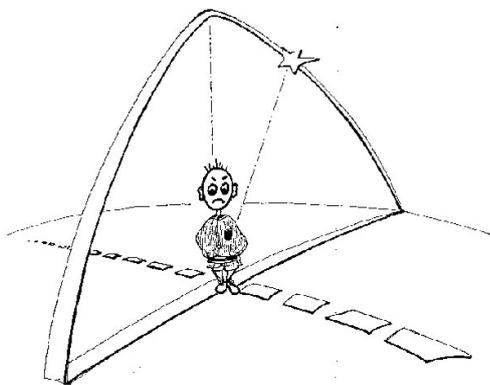
Masalah dimulai ketika kita melihat langit dan tidak ada garis disana. Tidak mungkin untuk melihat sumbu rotasi, dan tidak mudah untuk menemukan referensi di langit. Masalah utama sekarang yaitu seorang siswa berada di dalam bola langit saat

berada di dalam kelas, tetapi kita telah mempresentasikan semua informasi penampakan langit dari luar bola langit. Maka, menjadi tidak sederhana untuk memahami situasi baru pada saat kita berada di dalam bola (Gambar 10).

Tentunya, setelah pengalaman ini kita dapat memikirkan bagaimana mengubah cara presentasi di dalam kelas. Dimungkinkan untuk melakukan presentasi dari sudut pandang internal dari bola. Cara ini jauh lebih mirip dengan situasi nyata dari pengamat, tetapi tidak menarik hanya menawarkan presentasi ini saja. Siswa harus mampu membaca berbagai buku astronomi dan memahami abstraksi koresponden dari pengamatan bola langit dari luar, suatu situasi normal dalam literatur ilmiah. Dalam keadaan seperti ini, mungkin perlu dipikirkan tentang membuat suatu model bagi siswa yang memungkinkan membandingkan kedua sudut pandang dan juga "membuat garis langit terlihat" serta memberikan pemahaman horizon/cakrawala yang lebih baik.



Gambar 9: Bola langit dari luar.

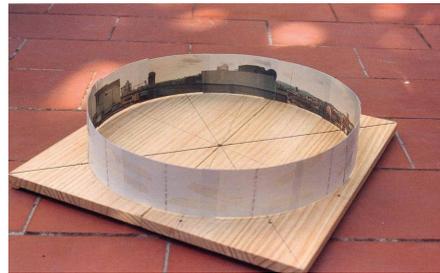


Gambar 10: Bola langit dari dalam.

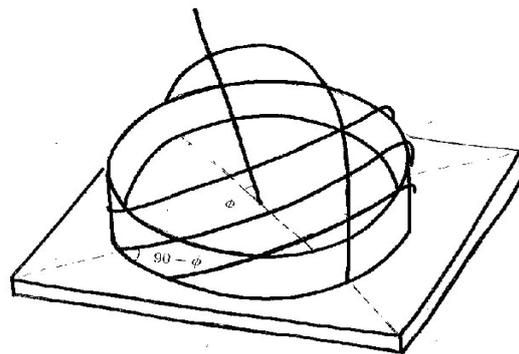
MODEL HORIZON LOKAL

Kita mulai dengan mengambil foto horizon. Sangat mudah untuk mengambil beberapa foto horizon dengan kamera dan tripod dari mana saja di halaman sekolah - jika bangunan di sekitar area tersebut memungkinkan kita untuk melakukannya - atau dari balkon manapun dengan pemandangan horizon yang lebih jelas. (Kita akan menandai posisi tripod dengan kapur atau cat di tanah). Sangat penting untuk memilih tempat yang baik, karena idenya adalah menempatkan model

foto disana pada setiap pengamatan. Ketika mengambil foto, diperlukan untuk memiliki area yang sama dengan foto yang berikutnya, dan kemudian menggabungkan semua foto sesuai urutannya untuk memperoleh horizon sebagai rangkaian foto secara terus-menerus.



Gambar 11: Horizon lokal.

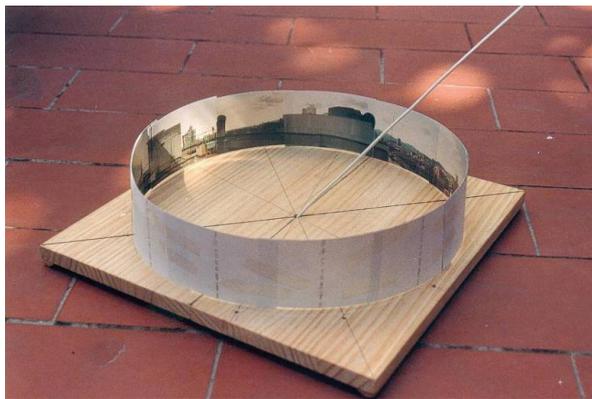
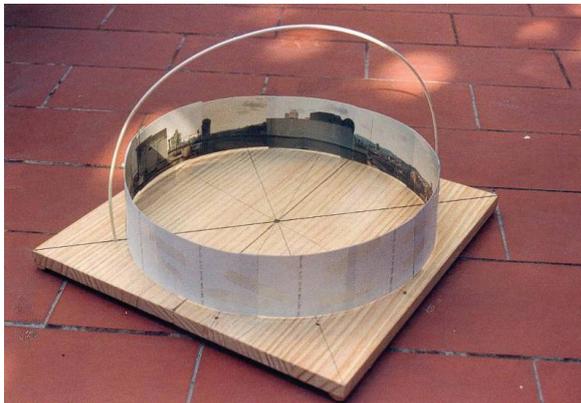


Gambar 12: Model yang menunjukkan horizon dan sumbu kutub.

Ketika kita memiliki semua foto, kita dapat menyambungkannya. Tempatkan satu salinan di samping yang lainnya secara terus-menerus, dan kemudian buat sebuah silinder yang akan dipasang pada suatu alas kayu berbentuk persegi di tempat yang sama dengan tempat kita mengambil foto (Gambar 11). Sangat penting untuk menempatkan semua foto sesuai dengan horizon yang sebenarnya.

Selanjutnya, kita memperkenalkan sumbu rotasi bumi. Dengan menentukan nilai garis lintang tempat tersebut, maka dapat digunakan kawat yang menggambarkan inklinasi yang sesuai (garis lintang) pada model (Gambar 12).

Dengan nilai tersebut, dimungkinkan untuk menetapkan sumbu rotasi model. Karena model berorientasi berdasarkan horizon lokal, sudut elongasi kawat digunakan untuk melihat sumbu bumi sebenarnya, untuk mencari lokasi kutub selatan, dan juga untuk mengimajinasikan posisi titik mata angin selatan (Gambar 13). Secara jelas, untuk menentukan titik mata angin utara dan kutub utara dapat diketahui dengan mudah. Selanjutnya, kita dapat menggambarkan garis lurus Utara-Selatan pada model dan juga di lapangan atau balkon tempat kita mengambil gambar (menggunakan proses normal untuk menentukan garis lurus utara-selatan). Hal ini sangat penting karena setiap kali kita menggunakan model ini, kita harus mengorientasikannya, dan sangat berguna untuk mengetahui garis lurus utara-selatan yang nyata agar memudahkan pekerjaan. (Kita dapat memverifikasi arah ini dengan menggunakan kompas).



Gambar 13: Model dengan cincin horizon dan sumbu kutub. Gambar 14: Model dengan meridian lokal.

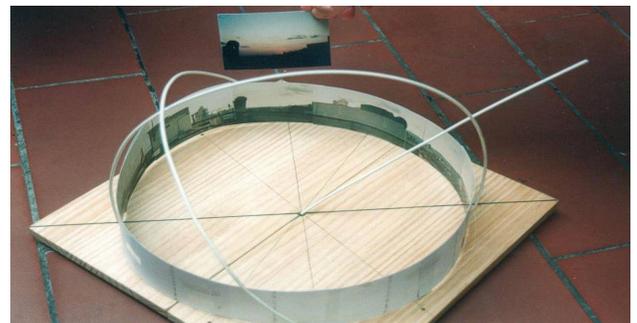
Langkah selanjutnya adalah menentukan meridian dari tempat tersebut. Meridian lokal sangat mudah untuk ditentukan, tetapi ini bukan konsep sederhana untuk serap oleh siswa (mungkin karena setiap orang memiliki meridiannya sendiri). Kita dapat memasang kawat yang melewati titik mata angin utara dan selatan serta sumbu rotasi bumi (Gambar 14). Kawat tersebut adalah visualisasi meridian dari lokasi model, tetapi memungkinkan kita juga untuk membayangkan garis meridian lokal di langit. Sekarang sangat mudah untuk membayangkannya karena dimulai di tempat yang sama dengan yang dilihat siswa dalam model. Meridian lokal ini dimulai di gedung yang sama seperti pada foto tetapi di horizon yang sebenarnya. Ketika meridian melewati atas kepala, itu akan berakhir di gedung yang sama yang kita lihat, berkat kawat di horizon foto.

Proses memperkenalkan ekuator lebih rumit. Salah satu kemungkinan untuk menjelaskan ini membutuhkan garis timur-barat. Solusi ini sangat sederhana, tetapi tidak menjangkau apapun dari sudut pandang pedagogik. Untuk tujuan pendidikan, akan lebih nyaman menggunakan fotografi lagi. Kita dapat menempatkan kembali kamera pada tripod di posisi yang sama seperti kita mengambil foto horizon pertama kali. (Inilah mengapa kita melukis tanda yang sesuai di tanah, sehingga kita dapat menempatkan kembali tripod di tempat yang sama). Dengan kamera pada tripod, kita mengambil foto matahari terbit dan terbenam di hari pertama musim semi dan musim gugur. Dalam hal ini, kita akan memiliki dua foto masing-masing dari posisi yang tepat dari titik mata angin barat dan timur, dengan acuan horizon dalam foto dan jelas di atas horizon yang sebenarnya.

Kita mensimulasikan ekuator dengan kawat yang tegak lurus terhadap sumbu rotasi bumi; kawat tersebut ditancapkan pada titik mata angin barat dan timur (pada bidang horizontal yang tegak lurus ke garis utara-selatan). Akan tetapi, tidak mudah untuk memasang kawat ini ke kawat yang melambangkan sumbu rotasi karena kemiringannya, dan tentunya juga miring ke ekuator. Hal ini akan menimbulkan pertanyaan seperti apa kemiringan yang akan digunakan.

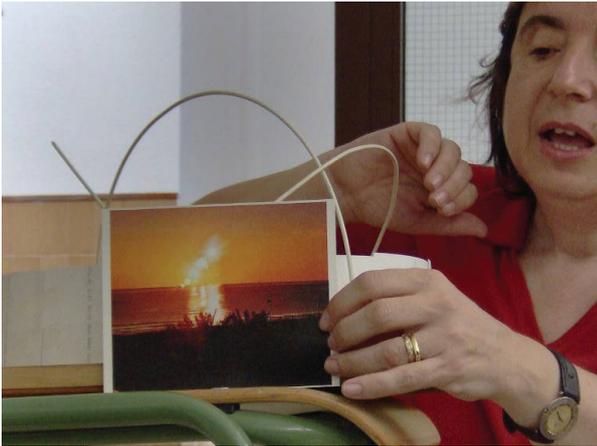
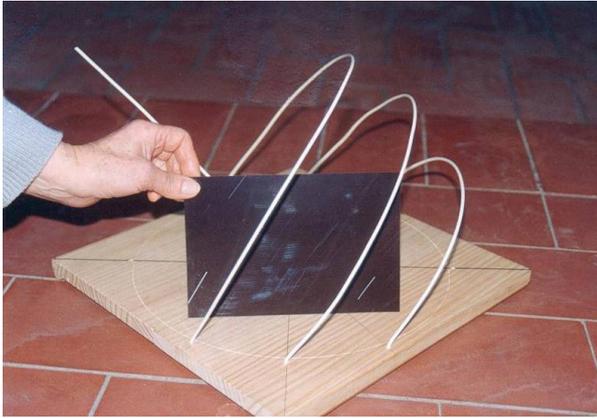
Kita akan mengambil empat atau lima gambar dari matahari terbit pada hari pertama musim panas atau musim dingin. Memotret matahari berbahaya ketika cukup tinggi di langit, tetapi aman saat matahari terbit atau terbenam ketika atmosfer bumi bertindak seperti filter. Kita akan menggunakan semua foto dan menggunakan perangkat lunak yang sesuai untuk menggabungkannya (menggunakan beberapa referensi ke horizon), dan kita dapat membedakan inklinasi matahari itu sendiri di horizon. Gambar ini akan berfungsi untuk memperkenalkan kemiringan yang tepat pada kawat yang mempresentasikan ekuator pada model (Gambar 16). Menggunakan dua foto dari titik mata angin barat dan timur, memungkinkan untuk mengetahui inklinasi dari jejak bintang-bintang di ekuator, dan oleh karena itu memungkinkan untuk meletakkan kawat yang melambangkan ekuator dengan mulus. Kita sekarang mengetahui titik pastinya dan juga inklinasinya, sehingga kawat dapat ditancapkan pada bingkai dan juga menahan meridian lokal (Gambar 16).

Jika kita menganggap matahari sebagai bintang normal (matahari adalah bintang yang paling penting bagi kita karena terdekat, tetapi perilakunya tidak jauh berbeda dengan bintang lainnya), kita dapat memperoleh kemiringan gerakan bintang saat terbit atau terbenam sehubungan dengan horizon. Untuk melakukan ini kita hanya perlu mengambil dua gambar saat ini di dekat titik mata angin barat dan timur (Gambar 17).



Gambar 15: Matahari terbenam menunjukkan titik ekuinoks musim semi atau musim gugur.

Mungkin akan sulit untuk mengambil gambar yang disebutkan di paragraf sebelumnya dari daerah perkotaan di mana sekolah berada. Kita harus pergi ke pedesaan, di suatu tempat yang tidak terkena oleh polusi cahaya, dan mengambil gambar dengan kamera digital pada tripod dengan kabel untuk memotretnya. Sekitar 10 menit waktu pencahayaan sudah cukup. Sangat penting untuk menempatkan kamera sejajar dengan horizon (kita dapat menggunakan *waterpass* untuk melakukan tindakan ini).



Gambar 16: Jejak matahari terbit. Gambar 17: Jejak bintang-bintang di timur.

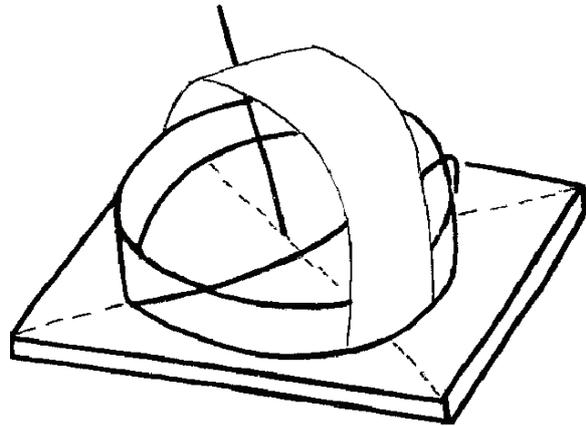
Manfaatkan kesempatan ini untuk mendapatkan portofolio kecil kumpulan foto. Misalnya, kalian dapat mengambil salah satu daerah Kutub dengan menggunakan pencahayaan 15 menit, satunya lagi daerah di atas sepanjang meridian lokal, yang lainnya mengikuti meridian yang sama dan seterusnya, sampai mendapatkan gambar yang ada di horizon. Idennya adalah memotret semua meridian lokal dari utara ke selatan, melewati kepala kita. Jelas, meridian lokal dari tempat kita mengambil gambar ini tidak sama seperti yang dilakukan di sekolah, tetapi siswa dapat dengan mudah memahami perbedaan yang kecil ini.

Ketika kita memiliki semua gambar, kita dapat membangun suatu strip meridian dari semua gambar tersebut. Dengan strip ini, siswa dapat lebih baik memahami tentang pergerakan bola langit di sekitar sumbu rotasi bumi. Menariknya, dengan waktu pencahayaan yang sama, lintasan yang digambar oleh bintang berubah panjangnya. Panjangnya minimum saat berada di sekitar kutub dan maksimum di ekuator. Hal ini juga mengubah bentuk. Di ekuator, lintasan tergambar seperti garis lurus. Di daerah dekat kutub, garisnya berbentuk kurva cekung di atas ekuator dan di bawahnya berbentuk cembung. Jika kita membuat salinan kertas dari gambar yang cukup besar, kita dapat meletakkan strip di atas kepala siswa, sehingga memungkinkan mereka untuk memvisualisasikan dan memahami gerakan tersebut dengan lebih baik.

Menggunakan dua foto dari titik mata angin barat dan timur, memungkinkan untuk mengetahui inklinasi dari jejak bintang

di ekuator, dan oleh karena itu akan lebih untuk meletakkan kawat yang melambungkan ekuator. Kita sudah mengetahui titik untuk menancapkannya dan juga inklinasinya, sehingga kawat dapat ditancapkan ke kayu dan ke meridian lokal (Gambar 11).

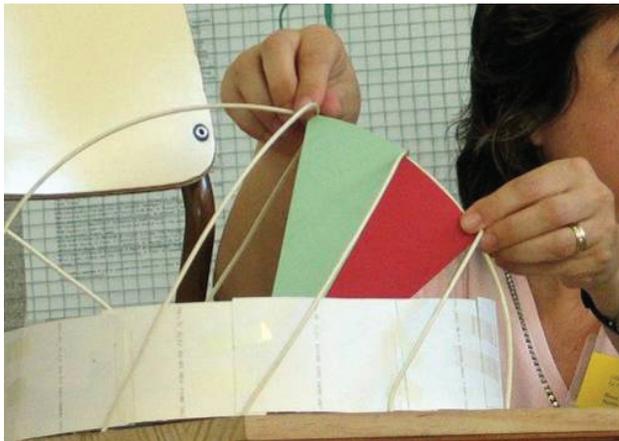
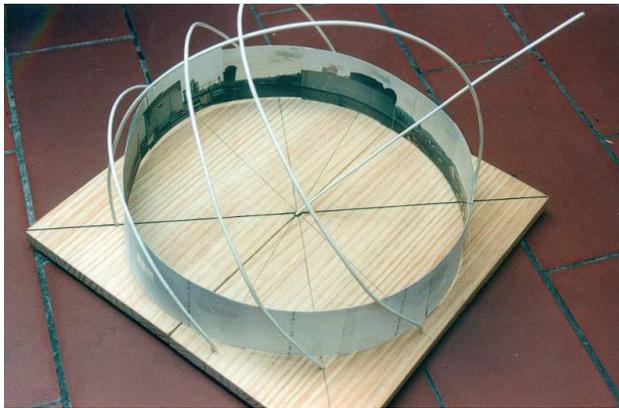
Sangat mungkin untuk memperkenalkan strip gambar meridian lokal pada model. Hal ini cukup dengan membuat beberapa salinan dan membuat sebuah lubang di dalamnya pada titik yang mengindikasikan kutubnya, untuk memperkenalkan sumbu rotasi. Perhatikan bahwa kawat ekuator sesuai dengan jejak garis lurus yang ada pada pita (Gambar 18).



Gambar 18: Gambar meridian lokal.

Menggunakan model ini, kita dapat menawarkan kepada siswa dua kemungkinan untuk melihat bola langit dari dalam dan dari luar.

Jika kita mengambil kembali dua gambar pada hari pertama musim dingin dan musim panas ketika matahari terbit dan terbenam, siswa akan dapat melihat bahwa lokasinya sangat pada masing-masing kota. Perbedaannya sangat besar. Kalian juga dapat menggunakan garis sejajar dari Cancer dan Capricorn di dalam gambar untuk menentukan kemiringan ekuator, karena keseajarannya mengikuti inklinasi yang sama. Dengan sebuah alat pengukur sudut sederhana, memungkinkan untuk memverifikasi bahwa sudut internal antara Tropic of Cancer dan ekuator sekitar 23° , dan ini juga merupakan sudut yang terbentuk antara ekuator dan Tropic of Capricorn (Gambar 19 dan 20).



Gambar 19: Lintasan matahari pada hari pertama di setiap musim. Titik matahari terbit dan terbenam tidak bertepatan kecuali dua hari: Hari ekuinoks. Gambar 20: Sudut antara dua lintasan hari pertama dari dua musim berturut-turut adalah $23,5^\circ$

Sebagai latihan bagi siswa, menarik bagi mereka untuk melihat bahwa matahari terbit tidak selalu tepat di timur dan matahari terbenam tidak selalu tepat di Barat. Ada banyak buku yang menyebutkan bahwa matahari terbit di timur dan terbenam di barat. Siswa dapat melihat bahwa hal ini benar hanya dua kali dalam setahun, dan pada hari-hari lainnya tidaklah benar (Gambar 19 dan 20).



Gambar 21: Model adalah sebuah jam matahari yang sangat besar. Terdapat tiga jenis jam matahari pada model ini.

Dengan demikian, siswa melihat secara praktis dan simultan bola dari dalam (bola nyata) dan dari luar (model). Dengan model seperti itu, siswa dapat memahaminya dengan lebih baik, dan pertanyaan terkait hal ini bisa diselesaikan dengan mudah. Mereka juga dapat menampilkan daerah yang sesuai dengan gerakan matahari (antara kesejajaran dari model) dan membayangkannya di atas langit dan horizon yang sebenarnya di kotanya. Orientasinya menjadi mudah untuk dibayangkan.

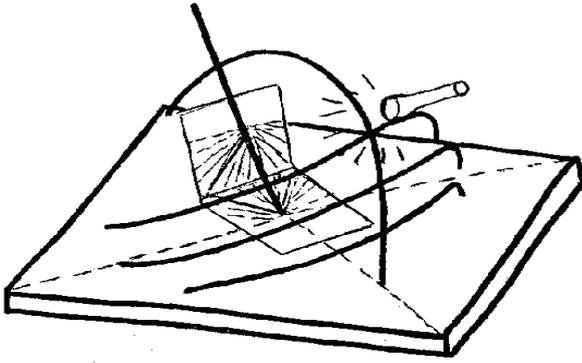
JAM MATAHARI

Terdapat aplikasi lain dari model ini. Model ini tidak lebih daripada sebuah jam matahari yang besar. Sangat baik untuk menjelaskan desain jam dengan cara yang sederhana dan mendidik, hanya dengan memperhatikan horizon dan gerakan matahari. Pertama: sangat mudah untuk menganggap bahwa sumbu rotasi bumi pada model merupakan pengganti jarum jam.

Jika kita menghadirkan sebuah bidang sejajar bidang ekuator dan menggerakkan cahaya senter di *Tropics of Cancer*, kita dapat melihat bayangan stylus (kawat yang melambangkan sumbu rotasi bumi) melintasi bidang kuadran ekuator. Disisi lain, ketika kita menggerakkan cahaya senter di *Tropics of Capricorn*, bayangannya muncul pada bagian bawah bidang, dan jelas bahwa ketika cahaya senter ditempatkan di ekuator, tidak ada bayangan yang terjadi. Jadi, mudah saja untuk memverifikasi bahwa jam ekuator berfungsi di musim panas dan musim semi, menunjukkan jam pada bidang jam, di musim dingin dan musim gugur menunjukkan jam di bawah bidang, dan dua hari setiap tahun, di dua hari ekuinoks, hal ini tidak berfungsi.

Perhatikan bidang ekuator, horizontal dan vertikal (berorientasi timur-barat), kita dapat melihat bahwa cahaya senter menunjukkan jam yang sama di tiga kuadran (Gambar 21). Selain itu, kita bisa melihat kapan jam di pagi dan sore hari untuk stylus yang sama (sumbu rotasi bumi). Tentu saja akan menunjukkan waktu yang sama untuk ketiga jam tersebut. Hal ini dengan mudah diverifikasi pada daerah mana kita harus menandai jam di pagi dan sore hari untuk masing-masing jamnya. (Beberapa guru terkadang menerima jam matahari yang garis waktunya tidak digambar dengan bagus, namun dengan model ini hal itu tidak akan terjadi lagi).

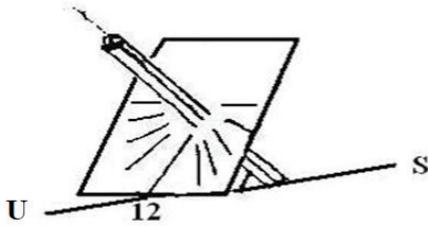
Menggerakkan cahaya senter di sepanjang *Tropics of Capricorn* dan *Tropics of Cancer* membuatnya mudah untuk melihat bahwa jalur cahaya yang dipancarkan dari senter menghasilkan penampang berbentuk kerucut (konik) yang berbeda pada bidang. Dalam kasus pertama (hari pertama musim panas), bentuk kerucutnya (konik) hampir berbentuk lingkaran, dan area tertutupnya jelas lebih kecil daripada kasus kedua. Ketika diikuti oleh kesejajaran lainnya (hari pertama musim dingin), bagiannya berbentuk elips, dan area tertutupnya jauh lebih besar. Kemudian siswa dapat memahami bahwa radiasi lebih terkonsentrasi pada situasi pertama, yaitu suhu permukaan lebih tinggi di musim panas, dan ini juga terbukti dalam model bahwa jumlah jam dari insolasi matahari lebih besar. Konsekuensi alaminya adalah cuaca lebih hangat di musim panas daripada di musim dingin (Gambar 22).



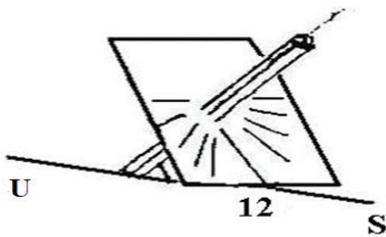
Gambar 22: Jam dan musim.

Kita akan memanfaatkan kesempatan ini untuk menyebutkan beberapa unsur-unsur yang harus diketahui untuk membuat desain jam matahari.

Jam ekuator ini sangat mudah untuk dibuat. Hanya menempatkan stylus ke arah sumbu rotasi bumi, yaitu ke arah utara-selatan (kompas dapat membantu kita melakukannya), dan dengan ketinggian di atas bidang horizon yang sama dengan garis lintang dari tempat kita berada (Gambar 23 dan 24). Stylus dari jam apapun akan selalu ditempatkan dengan cara yang sama.

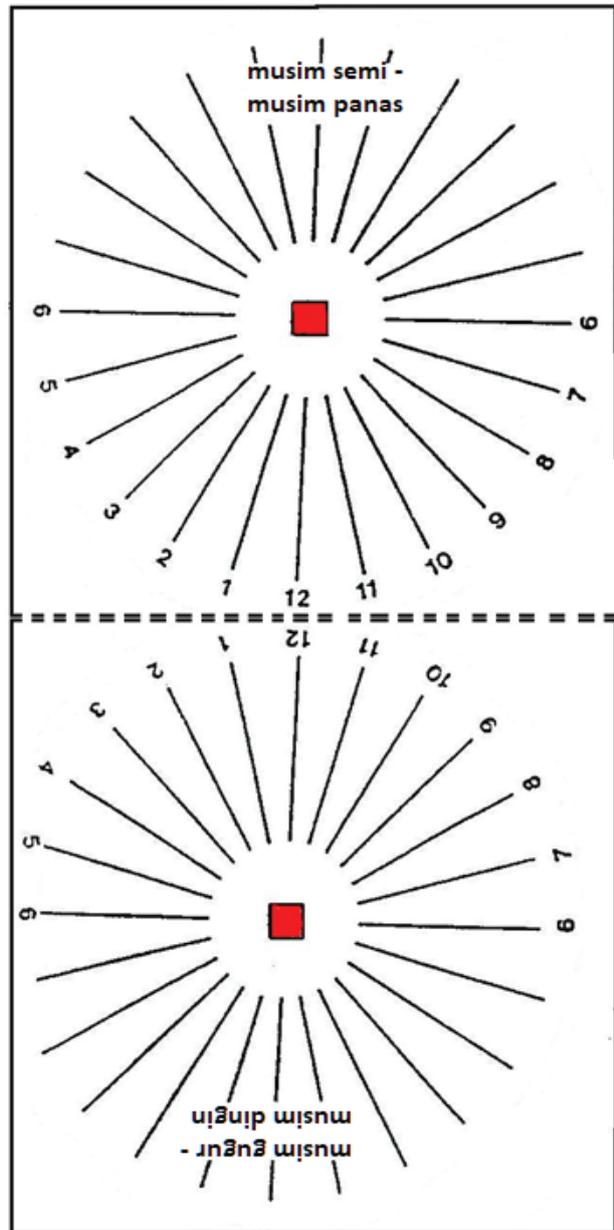


Gambar 23: Jam ekuator yang digunakan di belahan bumi utara

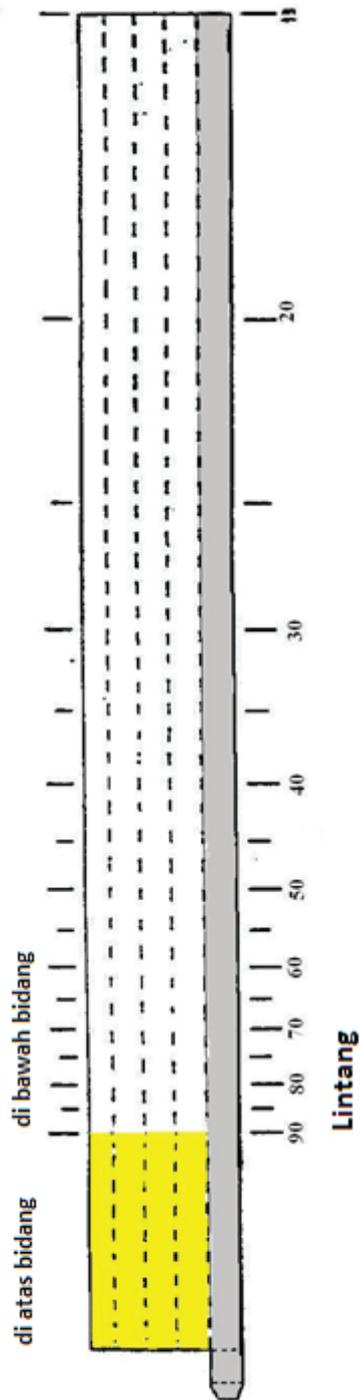


Gambar 24: Jam ekuator digunakan di belahan bumi selatan

Garis jam dari jam ekuator ini digambarkan pada sudut 15 derajat (Gambar 25a dan 25b), karena matahari memberikan putaran 360 derajat dalam 24 jam. Jika kita bagi 360 dengan 24, maka akan diperoleh 15 derajat untuk setiap jam.



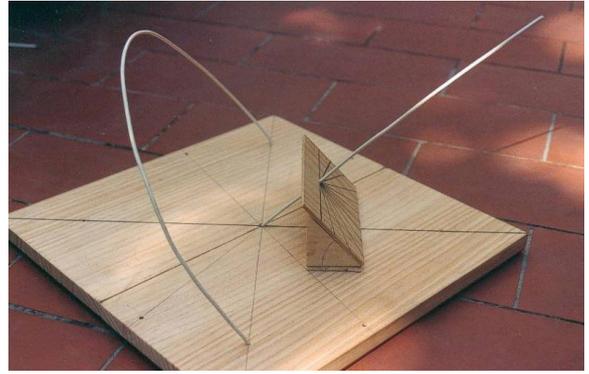
25a



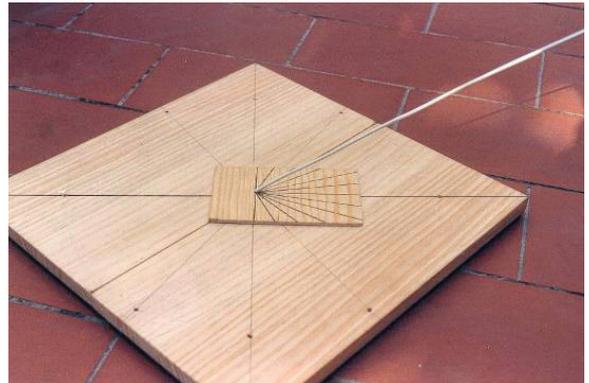
25b

Gambar 25a dan 25b: Potong jam ekuator.

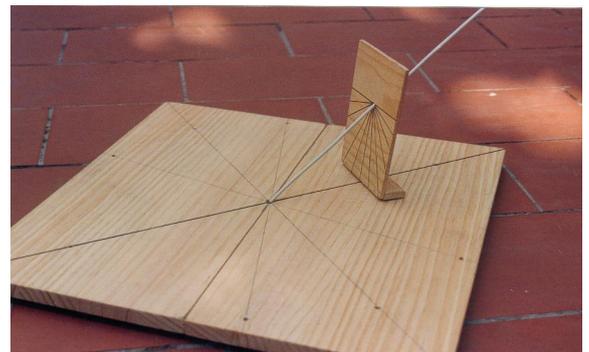
Garis jam dari jam yang berorientasi secara horizontal atau vertikal diperoleh dengan memproyeksikan garis ekuator dan hanya mempertimbangkan lintang setempat (Gambar 26a, 26b, 26c dan 26d).



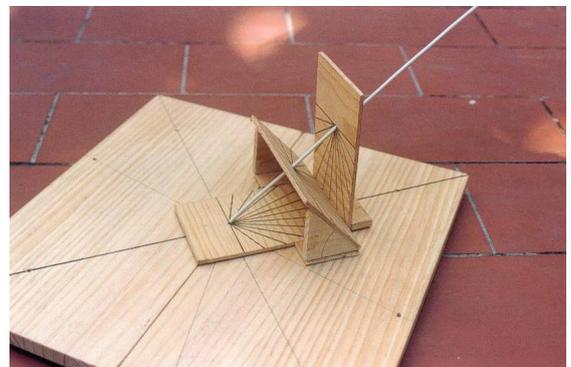
26a



26b



26c



26d

Gambar 26a, 26b, 26c dan 26d: Beberapa gambar dari jam.

Waktu Matahari dan Waktu Jam Tangan

Jam matahari memberikan waktu matahari, yang tidak sama dengan jam tangan yang kita gunakan di pergelangan tangan. Kita harus memperhatikan beberapa penyesuaian:

— Penyesuaian Bujur

Bumi terbagi menjadi 24 zona waktu dari meridian utama atau meridian Greenwich. Untuk membuat penyesuaian bujur perlu untuk mengetahui mengetahui bujur lokal dan bujur meridian “standar” di daerah kalian. Tanda “+” ditambahkan ke Timur dan tanda “-” ke Barat. Kita harus menyatakan panjangnya dalam jam, menit dan detik (1 derajat = 4 menit).

— Penyesuaian Musim Panas/Musim Dingin

Hampir semua negara memiliki waktu musim panas (“siang hari lebih panjang”) dan musim dingin. Biasanya satu jam ditambahkan di musim panas. Perubahan waktu di musim panas/musim dingin merupakan keputusan pemerintah Negara setempat.

— Penyesuaian Persamaan Waktu

Bumi berputar mengelilingi matahari berdasarkan hukum Kepler dengan lintasan elips, yang artinya, gerakan bumi tidak konstan, sehingga menimbulkan masalah serius bagi jam tangan mekanis. Jam mekanis mendefinisikan waktu rata-rata sebagai rata-rata selama satu tahun penuh dari waktu. Persamaan Waktu (*Equation of Time*) adalah perbedaan antara “Waktu Nyata Matahari” dan “Waktu Rata-rata”. Persamaan ini adalah disajikan pada tabel 1.

Hari	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1	+3m 33d	+13m 35d	+12m 22d	+3m 54d	-2m 54d	-2m 12d	+3m 50d	+6m 21d	+0m 2d	-10m 18d	-16m 24d	-11m 1d
6	+5m 50d	+14 m 5d	+11m 17d	+2m 27d	-3m 23d	-1m 22d	+4m 45d	+5m 54d	-1m 23d	-11m 51d	-16m 22d	-9m 1d
11	+7m 55d	+14m 14d	+10m 3d	+1m 4d	-3m 38d	-0m 23d	+5m 29d	+5m 13d	-3m 21d	-13m 14d	-15m 31d	-6m 49d
16	+9m 45d	+14m 4d	+8m 40d	-0m 11d	-3m 40d	+0m 39d	+6m 3d	+4m 17d	-5m 7d	-14m 56d	-15m 15d	-4m 27d
21	+11m 18d	+13m 37d	+7m 12d	-1m 17d	-3m 27d	+1m 44d	+6m 24d	+3m 10d	-6m 54d	-15m 21d	-14m 10d	-1m 58d
26	+12m 32d	+12m 54d	+5m 42d	-2m 12d	-3m	+2m 49d	+6m 32d	+1m 50d	-8m 38d	-16m 1d	-12m 44d	+0m 31d
31	+13m 26d		+4m 12d		-2m 21d		+6m 24d	+0m 21d		-16m 22d		+2m 57d

Tabel 1: Persamaan waktu

Waktu Matahari + Penyesuaian Total = Waktu Pada Jam Tangan

Contoh 1: Barcelona (Spanyol) pada tanggal 24 Mei

Penyesuaian	Keterangan	Hasil
1. Bujur	Barcelona berada dalam daerah acuan yang sama dengan Greenwich. Bujurnya $2^{\circ}10'BT = 2,17^{\circ} = -8,7$ m (1° sama dengan 4 m)	-8,7 m
2. Musim	Mei memiliki penyesuaian musim +1 jam	+ 60 m
3. Persamaan waktu	Baca tabel untuk tanggal 24 Mei	-3,6 m
Total		+47,7 m

Sebagai contoh, pada jam 12:00 waktu matahari, jam tangan kita menunjukkan:

(waktu matahari) 12 jam + 47,7 menit = 12 jam 47,7 menit (waktu pada jam tangan).

Contoh 2: Tulsa, Oklahoma (United States) pada tanggal 16 November

Penyesuaian	Keterangan	Hasil
1. Bujur	Meridian acuan dari Tulsa adalah 90° BB. Bujurnya 95°58'BB =96°BB, artinya 6° ke Barat dari meridian acuan (1° sama dengan 4 m)	+24 m
2. Musim	November tidak ada penyesuaian musim	
3. Persamaan waktu	Baca tabel untuk tanggal 16 November	-15,3 m
Total		+ 8,7 m

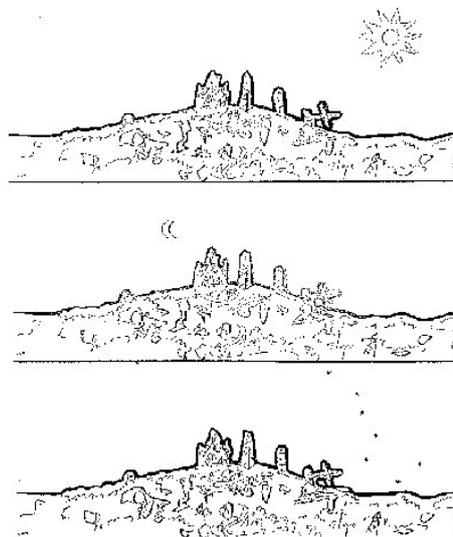
Sebagai contoh, pada jam 12:00 waktu matahari, jam tangan kita menunjukkan:

(waktu matahari) 12 jam + 8,7 menit = 12 jam 8,7 menit
(waktu pada jam tangan)

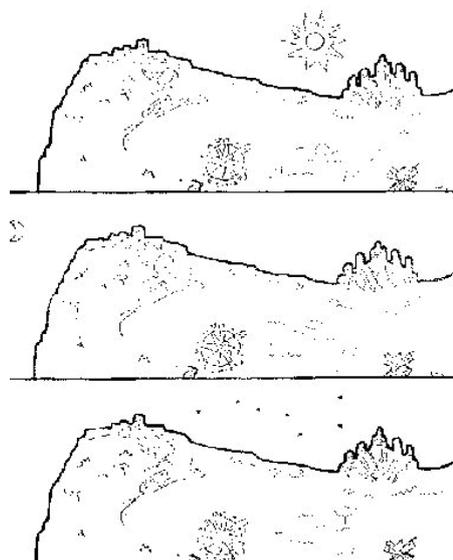
Orientasi

Kesulitan lain yang dialami siswa adalah orientasi. Dalam pelajaran astronomi umum, kita harus memperkenalkan kepekaan terhadap arah. Ada kemungkinan bahwa siswa kita tidak akan belajar astronomi lagi. Hasil minimum yang diharapkan dari pembelajaran astronomi adalah siswa mampu mengenali dimana Utara, mengetahui bahwa lintasan matahari berada di atas horizon bagian selatan, mengetahui bahwa planet-planet bergerak melintasi horizon, dan terutama belajar untuk menentukan berbagai fitur geografis dari kota mereka. Misalnya, di atas horizon dari Barcelona (Gambar 27a dan 27b) siswa dapat memperhatikan berbagai pilihan mengenai posisi matahari, bulan, dan rasi bintang tertentu di horizon. Dua gunung yang kita lihat kira-kira berada dalam posisi berlawanan, tapi itu tidak berarti penting bagi siswa, dan mereka biasanya kesulitan membedakan bahwa ada gambaran tertentu yang mungkin terjadi dan ada gambaran lainnya yang tidak mungkin. Mereka mengetahui teori, tetapi prakteknya tidak cukup jika mereka tidak memahami kemungkinan yang berbeda.

Dengan menggunakan model yang dirancang untuk mengatasi kekurangan yang disebutkan di bagian sebelumnya sangat efektif dalam menjelaskan berbagai isu yang berkaitan dengan orientasi di horizon lokal dengan cara yang awalnya tidak direncanakan.



Gambar 27a: Cakrawala Timur Laut dari Barcelona.



Gambar 27b: Cakrawala Barat Daya Barcelona.

Perlu disebutkan bahwa model ini berguna untuk menjelaskan posisi lokal dari bola langit pada siang dan malam hari. Hal ini sangat membantu untuk pemahaman yang lebih baik mengenai gerakan matahari (dan anggota tata surya lainnya yang bergerak di sekitar daerahnya). Menggunakan model yang diusulkan tersebut, siswa memahami bahwa bintang yang terang di daerah Polaris tidak pernah mungkin merupakan sebuah planet.

Ini merupakan investasi yang baik untuk membuat suatu model dalam skala besar. Dalam hal ini, siswa dan bahkan orang dewasa pun dapat menggunakannya dan memeriksa posisi matahari yang dibandingkan dengan ekuator dan sejajar sesuai dengan hari pertama titik balik matahari di musim panas dan musim dingin (Gambar 28a). Beberapa museum sains telah membangun model jenis ini (Gambar 28b).



Gambar 28a: Model dengan siswa sekolah dasar.



Gambar 28b: Model skala besar di Science Park of Granada.

Setelah menggunakan model ini, siswa dapat melihat hal-hal yang sebelumnya yang mereka tidak ketahui. Sebagai contoh, sekarang sudah sangat jelas bahwa matahari tidak terbit dan terbenam tegak lurus ke horizon kecuali di ekuator.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemany, C., Ros, R.M., *Parallel Earth*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, EU-UNAWA, Barcelona, 2012
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.
- Ros, R.M., *Laboratorio de Astronomía*, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Lanciano, N., *El horizonte en la Astronomía*, *Astronomía Astrofotografía y Astronáutica*, 76, p.12-20, 1995.

PERAGA BINTANG, MATAHARI DAN BULAN

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia (Barcelona, Spain), CLEA (Nice, France)

Penerjemah: Andi Fitriawati

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Lembar kerja ini menyajikan metode sederhana untuk menjelaskan gerakan bintang, Matahari dan Bulan yang diamati dari berbagai tempat berbeda di Bumi. Prosedurnya terdiri dari membangun model sederhana yang memungkinkan kita untuk memperagakan pergerakan bintang, Matahari dan Bulan yang diamati dari lintang berbeda.

TUJUAN

- Memahami gerakan bintang dilihat dari lintang yang berbeda
- Memahami gerakan Matahari dilihat dari lintang yang berbeda
- Memahami gerakan dan bentuk Bulan dilihat dari lintang yang berbeda

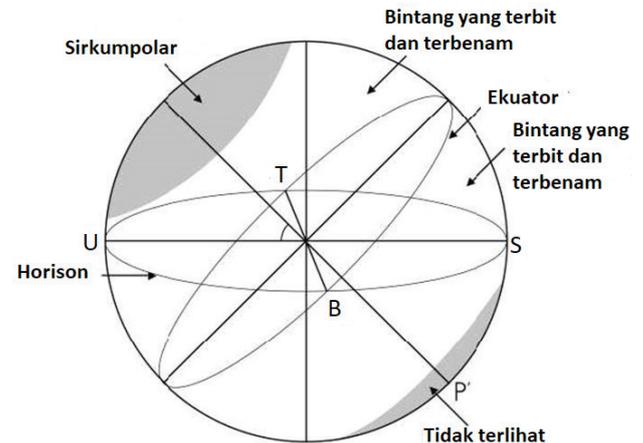
IDE YANG DIBALIK PERAGA

Tidaklah mudah untuk menjelaskan gerakan Matahari, Bulan, atau bintang yang diamati dari Bumi. Siswa mengetahui bahwa Matahari terbit dan terbenam setiap hari, tetapi mereka akan terkejut ketika mengetahui bahwa Matahari terbit dan terbenam pada titik yang berbeda setiap hari atau lintasan Matahari tersebut dapat bervariasi sesuai dengan garis lintang pengamat. Alat peraga ini dapat menyederhanakan dan menjelaskan fenomena Matahari tengah malam (*midnight Sun*) dan Matahari di zenith. Secara khusus, alat peraga tersebut berguna untuk memahami gerakan lintasan Matahari pada lintang yang berbeda.

Tampilan dan bentuk rasi bintang dapat diingat dengan mudah ketika mempelajari cerita mitologis dan menghafal aturan geometris untuk menemukan rasi bintang di langit. Namun, ini hanya berlaku pada lokasi tertentu di Bumi. Hal ini dikarenakan gerakan bola langit, seorang pengamat yang tinggal di kutub utara dapat melihat semua bintang yang berada di belahan Bumi bagian utara dan orang yang tinggal di kutub selatan dapat melihat semua bintang yang berada di belahan Bumi bagian selatan. Tetapi apa yang dilihat oleh pengamat yang tinggal di lintang yang berbeda?

PERAGA BINTANG: MENGAPA ADA BINTANG-YANG TIDAK TERLIHAT?

Bintang digolongkan kedalam tiga kategori berbeda tergantung pada gerakan yang diamati (untuk setiap lintang): bintang sirkumpolar, bintang yang terbit dan terbenam, serta bintang yang tidak terlihat (Gambar 1). Seseorang yang tinggal di belahan Bumi bagian utara dapat melihat beberapa bintang dari belahan Bumi bagian selatan.



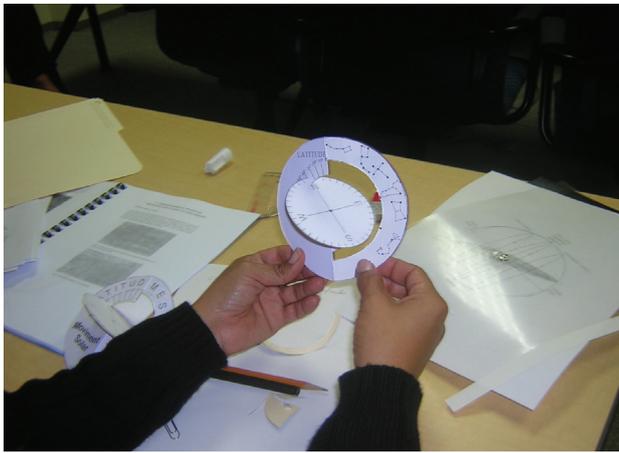
Gambar 1: Tiga jenis bintang yang berbeda (dilihat dari garis lintang tertentu): sirkumpolar, bintang yang terbit dan terbenam, serta bintang yang tidak terlihat.

Bergantung pada usia, sebagian besar siswa dapat memahami dengan mudah beberapa bintang sirkumpolar muncul ditempatnya. Namun, jauh lebih sulit bagi mereka untuk membayangkan sirkumpolar yang terlihat dari tempat lain. Jika kita bertanya apakah satu bintang tertentu (misalnya, Sirius) muncul sebagai bintang yang terbit dan terbenam seperti yang terlihat dari Buenos Aires, sulit bagi siswa untuk bisa membayangkannya. Oleh karena itu, kita akan menggunakan peraga bintang untuk mempelajari gerakan yang diamati dari bintang-bintang yang berbeda tergantung pada lintang pengamatan.

TUJUAN UTAMA DARI PERAGA

Tujuan utamanya adalah untuk menemukan rasi bintang yang merupakan bintang sirkumpolar, bintang terbit dan terbenam, serta bintang tidak terlihat pada garis lintang tertentu. Jika kita mengamati bintang dari lintang di sekitar 45° N, terlihat jelas bahwa kita dapat melihat cukup banyak bintang yang terlihat dari belahan Bumi selatan terbit dan terbenam setiap malam (Gambar 1).

Dalam kasus ini, peraga harus menyertakan rasi bintang dengan berbagai deklinasi. Ide yang sangat baik untuk menggunakan rasi bintang yang sudah umum diketahui oleh siswa. Rasi bintang tersebut dapat memiliki berbagai deklinasi tertentu sehingga dapat terlihat selama beberapa bulan dalam setahun (Gambar 2).



Gambar 2: Menggunakan peraga: contoh dari sebuah peraga untuk belahan Bumi utara menggunakan rasi bintang dari Tabel 1.

Saat memilih rasi bintang yang akan digambar, hanya bintang terang yang sebaiknya digunakan agar bentuknya mudah diidentifikasi. Lebih baik untuk tidak menggunakan rasi bintang di meridian yang sama, melainkan fokus dalam memilih rasi bintang yang telah diketahui dengan baik oleh siswa (Tabel 1). Jika tertarik membuat model untuk setiap musim, kita dapat membuat empat peraga yang berbeda, satu peraga untuk satu musim. Kita harus menggunakan rasi bintang yang memiliki deklinasi berbeda, tetapi memiliki asensio rekta yang tepat antara 21j dan 3j untuk musim gugur (musim semi), antara 3j dan 9j untuk musim dingin (musim panas), antara 9j dan 14j untuk musim semi (musim gugur), dan antara 14j dan 21j untuk musim panas (musim dingin) di belahan Bumi bagian utara (bagian selatan) di langit pada malam hari.

Rasi	Deklinasi Maksimum	Deklinasi Minimum
Ursa Minor	+90°	+70°
Ursa Major	+60°	+50°
Cygnus	+50°	+30°
Leo	+30°	+10°
Orion dan Sirius	+10°	-10°
Scorpius	-20°	-50°
Salib selatan	-50°	-70°

Tabel 1: Rasi bintang muncul pada peraga yang ditunjukkan gambar 1.

Jika kita memutuskan untuk memilih rasi bintang hanya untuk satu musim, mungkin sulit untuk memilih satu rasi bintang diantaranya, misalnya, antara 90°U dan 60°U, antara 60°U dan 40°U, antara 40°U dan 20°U, antara 20°U dan 20°S, dan sebagainya, tanpa tumpang tindih dan mencapai 90°S. Jika kita juga ingin memilih rasi bintang yang dikenal dengan baik oleh siswa, dengan jumlah bintang terang yang sedikit tetapi ukuran rasi bintangnya cukup besar untuk selalu ada di meridian, mungkin sulit untuk mencapai tujuan kita. Hal ini diarencanakan rasi bintang yang besar, terkenal, dan terang tidak muncul di langit sepanjang tahun, mungkin lebih mudah membuat hanya satu peraga untuk sepanjang tahun.

MEMBUAT PERAGA

Untuk mendapatkan peraga yang kokoh (Gambar 3a dan 3b), sebaiknya merekatkan dua lembar karton bersama-sama sebelum memotongnya (Gambar 4 dan 5). Hal yang sama juga dilakukan untuk mengkonstruksi peraga yang satu lagi, dua kali lebih besar dari yang lainnya, untuk digunakan oleh guru.



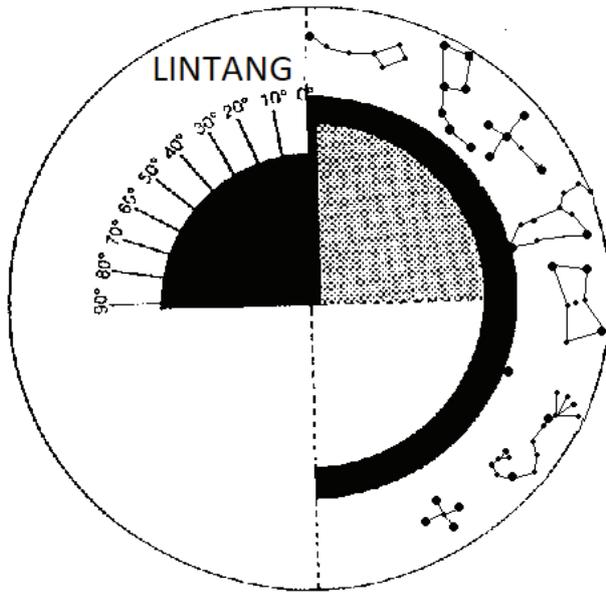
Gambar 3a dan 3b: Membuat peraga bintang.

Petunjuk untuk membuat peraga bintang sebagai berikut:

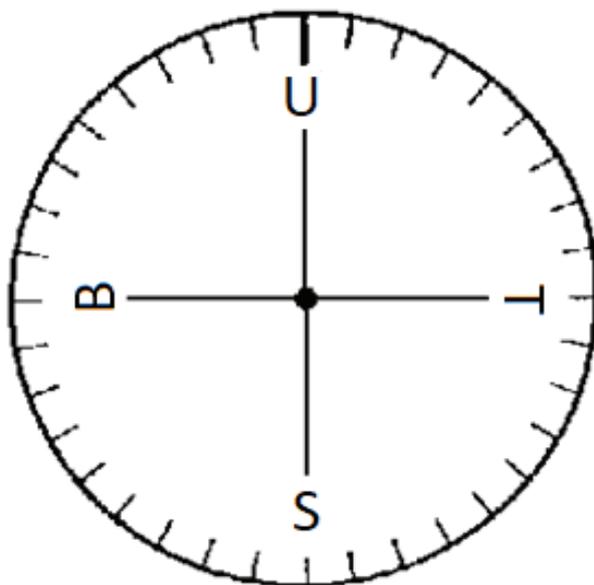
Alat Peraga untuk Belahan Bumi Bagian Utara

1. Buat fotokopi dari gambar 4 dan 5 pada karton tebal
2. Potong kedua bagian tersebut di sepanjang garis kontinuu (gambar 4 dan 5).
3. Buang area hitam dari bagian utama (gambar 4)
4. Lipat bagian utama (gambar 4) di sepanjang garis putus-putus yang lurus. Lakukan hal ini beberapa kali akan membuat peraga lebih mudah digunakan.
5. Potong tekukan kecil di atas "U" pada disk horizon (gambar 5). Tekukan harus cukup besar agar karton dapat melewatinya.
6. Lem kuadran Utara-Timur pada disk horizon (gambar 5) ke kuadran abu-abu pada bagian utama (gambar 4). Sangat penting agar garis lurus Utara-Selatan mengikuti garis ganda dari bagian utama. Selain itu, "B" pada disk horizon harus cocok dengan lintang 90°.

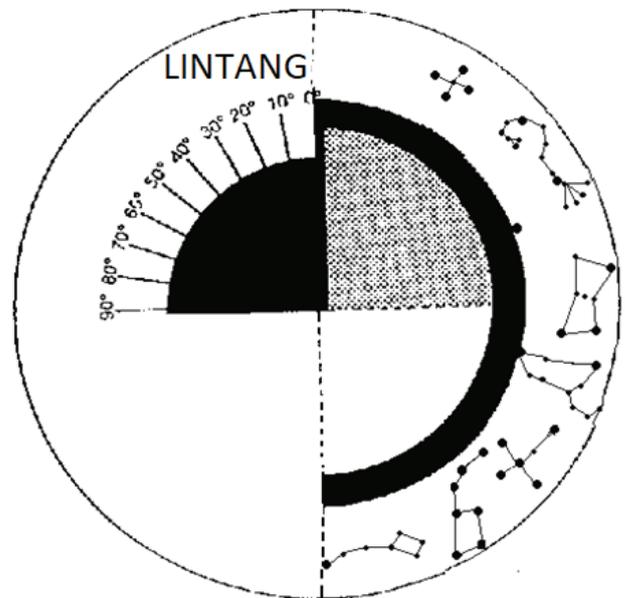
7. Ketika menempatkan disk horizon ke bagian utama, pastikan keduanya tetap tegak lurus.
8. Berhati-hati dalam menempelkan bagian yang berbeda agar memperoleh ketepatan maksimum.



Gambar 4: Bagian utama dari peraga bintang untuk Belahan Bumi bagian Utara.



Gambar 5: Disk Horizon.



Gambar 6: Bagian utama dari peraga bintang untuk Belahan Bumi bagian Selatan.

Peraga untuk Belahan Bumi Bagian Selatan

1. Buat fotokopi dari gambar 5 dan 6 pada karton tebal
2. Potong kedua bagian tersebut di sepanjang garis kontinu (gambar 5 dan 6).
3. Buang area hitam dari bagian utama (gambar 6)
4. Lipat bagian utama (gambar 6) di sepanjang garis putus-putus yang lurus. Lakukan hal ini beberapa kali akan membuat peraga lebih mudah digunakan
5. Potong tekukan kecil di atas "S" pada disk horizon (gambar 5). Tekukan harus cukup besar agar karton dapat melewatinya.
6. Lem kuadran Selatan-Barat pada disk horizon (gambar 5) ke kuadran abu-abu pada bagian utama (gambar 6). Sangat penting agar garis lurus Utara-Selatan mengikuti garis ganda dari bagian utama. Selain itu, "T" pada disk horizon harus cocok dengan lintang 90°.
7. Ketika menempatkan disk horizon ke bagian utama, pastikan keduanya tetap tegak lurus
8. Berhati-hati dalam menempelkan bagian yang berbeda agar memperoleh ketepatan maksimum.

Memilih peraga bintang yang akan dibuat bergantung kepada tempat tinggal. Kita juga dapat membuat peraga dengan memilih rasi bintang sendiri berdasarkan kriteria yang berbeda.

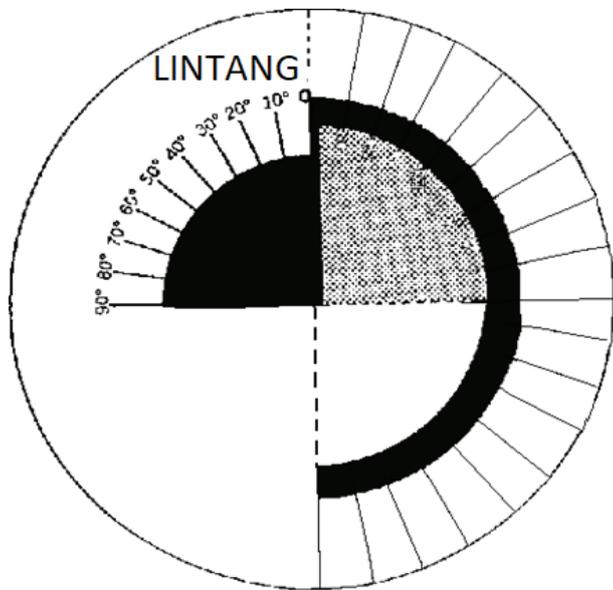
Misalnya, kita dapat menyertakan rasi bintang yang terlihat hanya untuk satu musim, rasi bintang yang terlihat hanya untuk satu bulan, dan sebagainya. Oleh sebab itu, kita harus mempertimbangkan hanya rasi bintang dengan asensio rekta yang tepat antara dua nilai tertentu. Kemudian gambar rasi bintang dengan nilai deklinasinya seperti gambar 7. Perhatikan bahwa setiap sektor bernilai 10°.

APLIKASI PERAGA

Untuk mulai menggunakan peraga, kita harus memilih lintang dari tempat pengamatan. Kita dapat melakukan perjalanan virtual di atas permukaan Bumi menggunakan peraga tersebut.

Gunakan tangan kiri untuk memegang bagian utama peraga (Gambar 4 atau 6) di dekat area kosong (di bawah kuadran lintang). Pilih lintang dan gerakkan disk horizon sampai disk tersebut menunjukkan lintang yang dipilih. Selanjutnya, dengan tangan kanan, gerakkan disk dengan rasi bintang dari kanan ke kiri beberapa kali.

Kita dapat mengamati rasi bintang yang selalu berada di horizon (sirkumpolar), rasi bintang yang terbit dan terbenam, dan rasi bintang yang selalu berada di bawah horizon (tidak terlihat).



Gambar 7: Bagian utama dari peraga bintang untuk Belahan Bumi bagian Utara atau Selatan.

➤ **Inklinasi lintasan bintang relatif terhadap horizon**

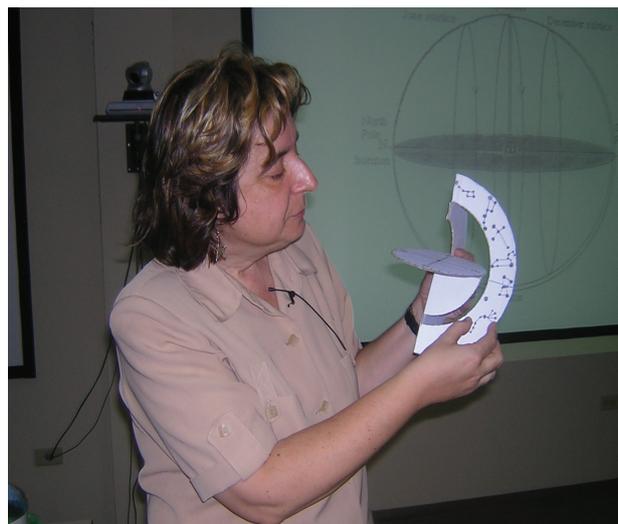
Dengan alat peraga, sangat mudah untuk mengamati sudut lintasan bintang relatif terhadap perubahan horizon tergantung pada lintang (Gambar 8, 9 dan 10).

Jika pengamat tinggal di ekuator (lintang 0°) maka sudutnya adalah 90°. Disisi lain, jika pengamat hidup di kutub utara atau kutub selatan, (lintang 90°U atau 90°S) maka lintasan bintangnya sejajar dengan horizon. Secara umum, jika pengamat tinggal di sebuah kota pada lintang L, maka inklinali lintasan bintang pada horizon adalah 90° minus L setiap hari.

Kita dapat membuktikan hal ini dengan melihat gambar 8, 9 dan 10. Foto pada gambar 8a diambil di Lapland (Finlandia), gambar 9a di Montseny (dekat Barcelona, Spanyol), dan gambar 10a di San Luis Potosi (Meksiko). Lapland berada di lintang yang lebih tinggi daripada Barcelona dan San Luis sehingga inklinali lintasan bintangnya lebih kecil.



8a



8b

Gambar 8a dan 8b: Pengaturan bintang di Enontekiö di Lapland 68°U (Finlandia). Sudut dari lintasan bintang relatif terhadap horizon adalah 90° minus garis lintang. Perhatikan bahwa lintasan bintang lebih pendek daripada di foto berikut karena aurora borealis memaksa waktu pencahayaan untuk lebih pendek (Foto: Irma Hannula, Finlandia).



9a

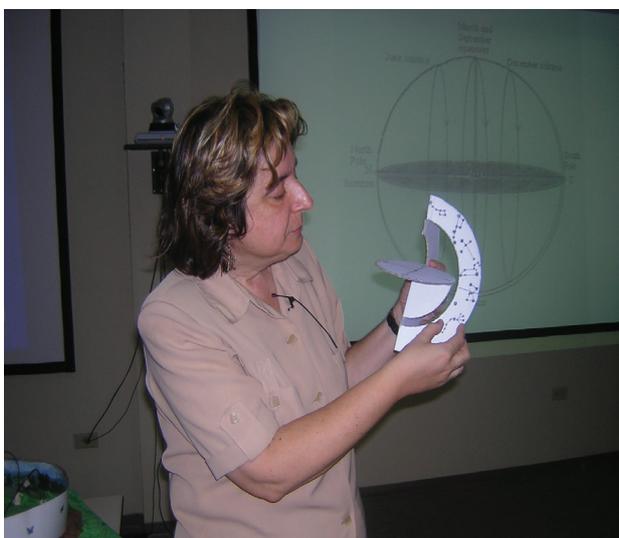


9b

Gambar 9a dan 9b: Bintang terbit di Montseny 41°U (dekat Barcelona, Spanyol). Sudut dari lintasan bintang relatif terhadap horizon adalah 90° minus garis lintang (Foto: Rosa M. Ros, Spanyol).



10a



10b

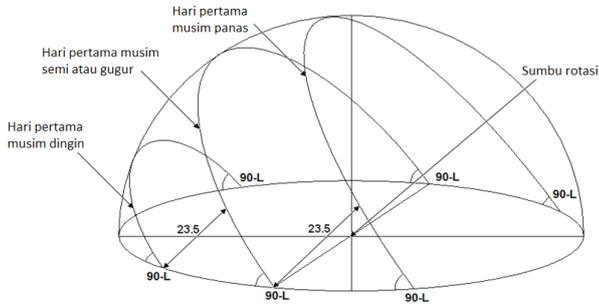
Gambar 10a dan 10b: Jejak bintang dekat titik barat di Matehuala (Meksiko) 23°N , sudut lintasan bintang di horizon adalah 90° -lintang (colatitude). (Foto: Luis J de la Cruz, Meksiko).

Menggunakan peraga tersebut, siswa dapat menyelesaikan beberapa aktifitas berikut.

1. Jika kita memilih lintang 90°U , berarti kita sebagai pengamat berada di Kutub Utara. Kita dapat melihat semua rasi bintang di belahan Bumi bagian utara adalah bintang sirkumpolar. Semua yang ada di belahan Bumi bagian selatan adalah bintang yang tidak terlihat dan tidak ada rasi bintang yang terbit dan terbenam.
2. Jika lintangnya 0° , berarti kita sebagai pengamat berada di ekuator, dan kita dapat melihat bahwa semua rasi bintang yang terbit dan terbenam (tegak lurus terhadap horizon). Tidak ada bintang sirkumpolar atau bintang yang tidak terlihat.
3. Jika lintangnya 20° (U atau S), terdapat lebih sedikit rasi bintang sirkumpolar dibandingkan jika lintangnya 40° (U atau S). Tetapi ada lebih banyak bintang yang terbit dan terbenam jika lintangnya 20° dibandingkan dengan 40° .
4. Jika lintangnya 60° (U atau S), ada banyak rasi bintang sirkumpolar dan bintang yang tidak terlihat, tetapi jumlah rasi bintang yang terbit dan terbenam lebih sedikit dibandingkan dengan lintang 40° (U atau S).

PERAGA MATAHARI: MENGAPA MATAHARI TIDAK TERBIT DI TITIK YANG SAMA SETIAP HARI

- Sederhana untuk menjelaskan pergerakan Matahari yang diamati dari Bumi. Siswa mengetahui bahwa Matahari terbit dan terbenam setiap hari, tetapi mereka akan merasa terkejut ketika mengetahui bahwa Matahari terbit dan terbenam di lokasi yang berbeda setiap hari. Hal ini juga menarik untuk memperhatikan berbagai lintasan Matahari menurut garis lintang setempat. Selain itu, mungkin sulit untuk menjelaskan fenomena Matahari tengah malam atau Matahari di zenith. Secara khusus, peraga bisa sangat bermanfaat untuk memberikan pemahaman tentang gerakan lintasan Matahari dan perbedaan lintasan pada lintang yang berbeda.

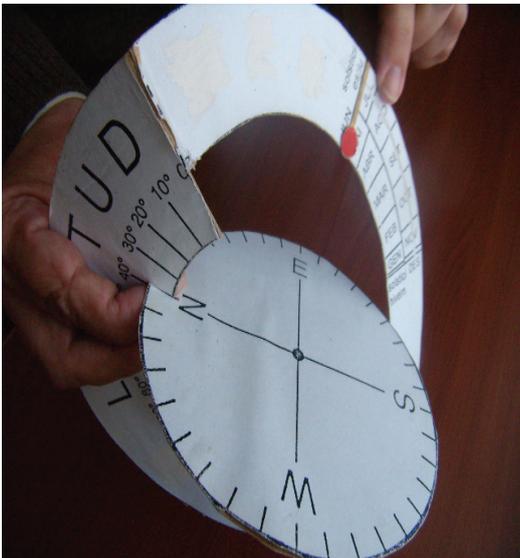


Gambar 11: Tiga lintasan Matahari yang berbeda (hari pertama musim semi atau musim gugur, hari pertama musim panas, dan hari pertama musim dingin).

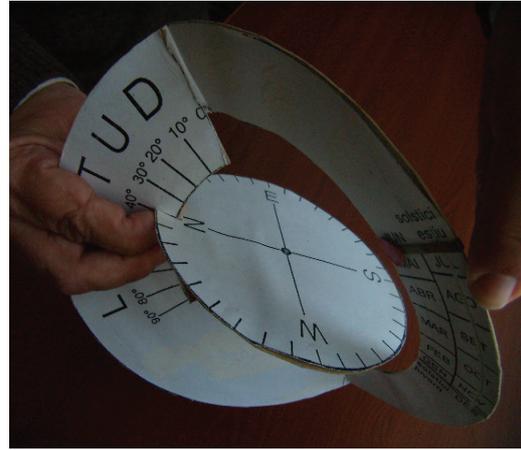
Membuat Peraga

Untuk membuat peraga Matahari, kita harus memperhatikan deklinasi Matahari yang berubah setiap hari. Kemudian kita harus memasukkan kemungkinan perubahan posisi Matahari sesuai dengan musim. Untuk hari pertama musim semi dan gugur, deklinasi Matahari adalah 0° dan Matahari bergerak di sepanjang ekuator. Pada hari pertama musim panas (musim dingin di belahan Bumi bagian selatan), deklinasinya adalah $+23,5^\circ$ dan pada hari pertama musim dingin (musim panas di belahan Bumi bagian selatan), deklinasinya adalah $-23,5^\circ$ (Gambar 11). Kita harus bisa mengubah nilai-nilai tersebut kedalam model jika kita ingin mempelajari lintasan Matahari.

Untuk mendapatkan peraga yang kokoh (Gambar 12a dan 12b), maka sebaiknya merekatkan dua lembar karton bersama-sama sebelum memotongnya. Kita juga dapat membuat satu peraga yang ukurannya dua kali lebih besar dari peraga lainnya, untuk digunakan oleh guru.



12a



12b

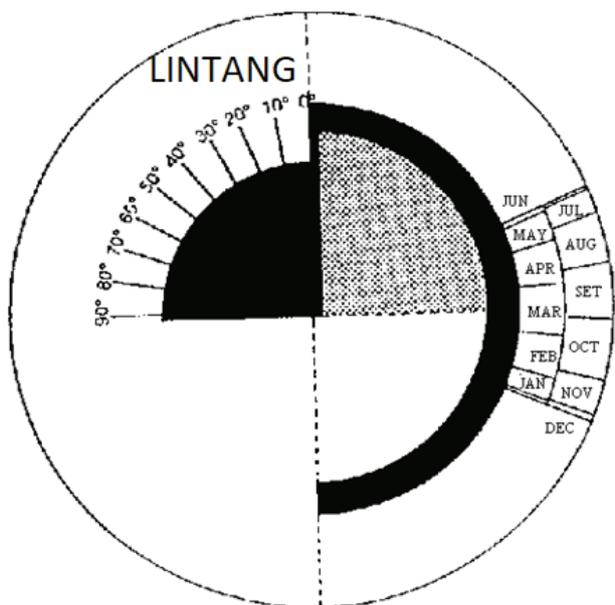
Gambar 12a dan 12b: Mempersiapkan peraga Matahari untuk Belahan Bumi Utara pada lintang $+40^\circ$.

Petunjuk untuk membuat peraga Matahari sebagai berikut.

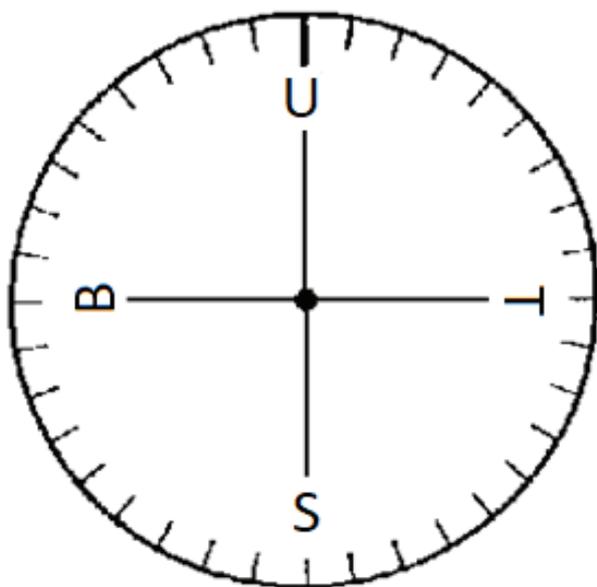
— Peraga untuk Belahan Bumi bagian Utara

- Buat fotokopi dari gambar 13 dan 14 pada karton tebal
- Potong kedua bagian tersebut di sepanjang garis kontinu (gambar 13 dan 14).
- Buang area hitam dari bagian utama (gambar 14)
- Lipat bagian utama (gambar 14) di sepanjang garis putus-putus yang lurus. Lakukan hal ini beberapa kali agar peraga lebih mudah digunakan.
- Potong tekukan kecil di atas "U" pada disk horizon (gambar 14). Tekukan harus cukup besar agar karton dapat melewatinya.
- Lem kuadran Utara-Timur pada disk horizon (gambar 14) ke kuadran abu-abu pada bagian utama (gambar 13). Sangat penting agar garis lurus Utara-Selatan mengikuti garis ganda bagian utama. Selain itu, "B" pada disk horizon harus sesuai dengan lintang 90° .
- Ketika menempatkan disk horizon (Gambar 14) ke bagian utama, pastikan keduanya tetap tegak lurus.
- Tempelkan bagian-bagian yang berbeda dengan sangat hati-hati agar memperoleh ketepatan maksimum.
- Untuk menempatkan Matahari pada peraga, gambarkan sebuah lingkaran dan beri warna merah di selembar kertas. Potong dan letakkan di antara klip. Tempatkan klip dengan lingkaran merah di atas daerah deklinasi seperti gambar 13. Idenya adalah klip tersebut harus mudah dipindahkan

naik dan turun untuk menempatkan gambar lingkaran merah pada bulan yang dipilih.

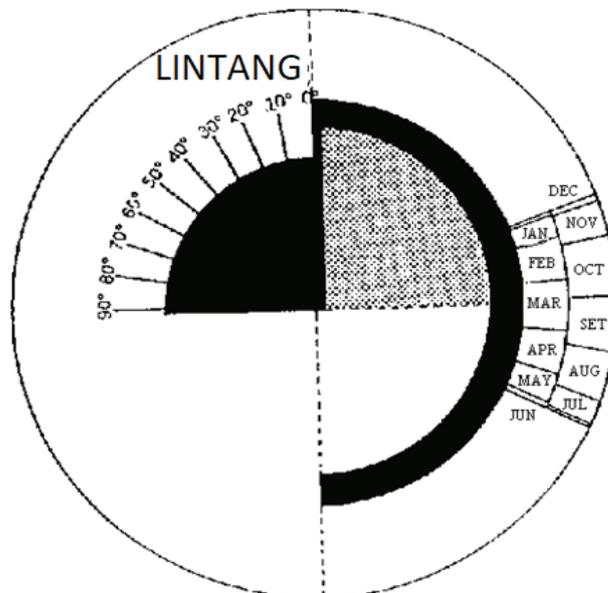


Gambar 13: Bagian utama dari peraga Matahari untuk Belahan Bumi bagian Utara.



Gambar 14: Disk Horizon

Untuk membuat peraga Matahari di belahan Bumi bagian selatan maka kita dapat mengikuti langkah yang sama, tetapi mengganti Gambar 13 dengan Gambar 15.



Gambar 15: Bagian utama peraga Matahari untuk Belahan Bumi bagian Selatan.

— Peraga Untuk Belahan Bumi Bagian Selatan

- Buat fotokopi dari gambar 14 dan 15 pada karton tebal
- Potong kedua bagian tersebut di sepanjang garis kontinu (gambar 14 dan 15)
- Buang area hitam dari bagian utama (gambar 15)
- Lipat bagian utama (gambar 15) di sepanjang garis putus-putus yang lurus. Melakukan hal ini beberapa kali akan membuat peraga lebih mudah digunakan.
- Potong tekukan kecil di atas "S" pada disk horizon (gambar 14). Tekukan harus cukup besar agar karton dapat melewatinya.
- Lem kuadran Selatan-Barat pada disk horizon (gambar 14) ke kuadran abu-abu pada bagian utama (gambar 15). Sangat penting agar garis lurus Utara-Selatan mengikuti garis ganda bagian utama. Selain itu, "T" pada disk horizon harus cocok dengan lintang 90° .
- Ketika menempatkan disk horizon (gambar 14) ke bagian utama, pastikan bahwa keduanya tetap tegak lurus
- Tempelkan bagian-bagian yang berbeda dengan sangat hati-hati agar memperoleh ketepatan maksimum.
- Untuk menempatkan Matahari pada peraga, gambarkan sebuah lingkaran dan beri warna merah di selembar kertas. Potong dan letakkan di antara klip. Tempatkan klip dengan lingkaran merah di atas daerah deklinasi seperti Gambar 15. Idenya adalah klip tersebut harus mudah dipindahkan

naik dan turun untuk menempatkan gambar lingkaran merah pada bulan yang akan dipilih.

16b

Menggunakan Peraga Matahari

Untuk menggunakan peraga Matahari kita harus memilih lintangnya terlebih dahulu. Sekali lagi, kita dapat melakukan perjalanan imajiner di atas permukaan Bumi menggunakan peraga tersebut.

Kita akan memperhatikan tiga daerah berikut:

1. Tempat di daerah per-tengahan belahan Bumi bagian Utara atau bagian Selatan
2. Tempat di daerah kutub
3. Tempat di daerah ekuator

1. Tempat di daerah pertengahan belahan Bumi bagian Utara dan bagian Selatan: MUSIM

☛ Sudut lintasan Matahari relatif terhadap horizon

Menggunakan alat peraga, dapat dipahami bahwa sudut dari lintasan Matahari relatif terhadap horizon tergantung pada lintangnya. Jika pengamat tinggal di ekuator (lintang 0°) maka sudutnya adalah 90° . Jika pengamat tinggal di kutub utara atau selatan (lintang 90°U atau 90°S), lintasan Matahari sejajar dengan horizon. Secara umum, jika pengamat tinggal di sebuah kota pada lintang L , maka inklinasi dari lintasan Matahari relatif terhadap horizon adalah 90 minus L setiap hari. Kita dapat membuktikan hal ini dengan melihat gambar 16a dan 16b. Gambar 16a diambil di Lapland (Finlandia), dan gambar 17a diambil di Gandia (Spanyol). Lapland memiliki lintang yang lebih tinggi daripada Gandia, sehingga inklinasi dari lintasan Matahari lebih kecil.



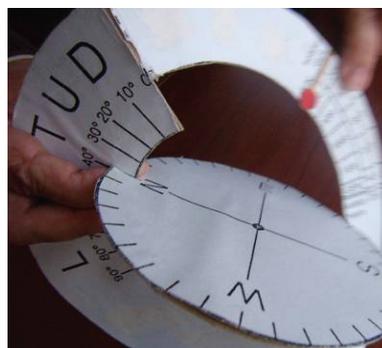
16a



Gambar 16a dan 16b: Matahari terbit di Enontekiö di Lapland (Finlandia). Sudut dari lintasan Matahari relatif terhadap horizon adalah 90° minus garis lintang (Foto: Sakari Ekko, Finlandia).



17a

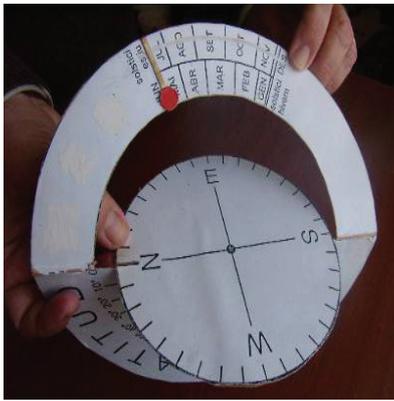


17b

Gambar 17a dan 17b: Matahari terbit di Gandia (Spanyol) 41°U . Sudut dari lintasan Matahari relatif terhadap horizon adalah 90 minus garis lintangnya (Foto: Rosa M. Ros, Spanyol).



18a



18b

Gambar 18a dan 18b. Matahari terbit di Ladrilleros (Kolombia), sudut dari lintasan Matahari di atas horizon adalah co-garis lintang ($90^\circ - 4^\circ = 86^\circ$). (Foto: Mario Solarte, Kolombia).

➤ **Ketinggian lintasan Matahari bergantung pada musim**

a. Belahan Bumi Bagian Utara

Menggunakan peraga untuk kota kita (pilih lintang kota kita), mudah untuk membuktikan bahwa ketinggian (tinggi) Matahari di atas horizon berubah berdasarkan musim. Sebagai contoh, pada hari pertama musim semi deklinasi Matahari adalah 0° . Kita dapat meletakkan Matahari di tanggal 21 Maret. Kemudian kita dapat menggerakkan Matahari secara tepat di sepanjang ekuator dari Timur ke arah Barat. Kita dapat melihat bahwa lintasan Matahari berada pada ketinggian tertentu di atas horizon.

Pada lintang yang sama kita mengulangi percobaan tersebut untuk hari yang berbeda. Ketika kita menggerakkan Matahari di sepanjang ekuator pada hari pertama musim panas, yaitu 21 Juni, (deklinasi Matahari $+23.5^\circ$), kita dapat mengamati bahwa lintasan Matahari lebih tinggi daripada hari pertama musim semi. Sehingga, kita dapat mengulangi percobaan pada hari pertama musim dingin, yaitu 21 Desember (deklinasi Matahari -23.5°). Kita dapat melihat bahwa lintasan Mataharinya lebih rendah. Pada hari pertama musim gugur deklinasinya adalah 0° dan lintasan Matahari mengikuti ekuator dengan cara yang sama seperti yang terjadi pada hari pertama musim semi.

Jadi, jika kita mengubah garis lintangnya, maka ketinggian dari lintasan Matahari juga berubah, tetapi ketinggiannya selalu sesuai dengan hari pertama musim panas, dan paling rendah pada hari pertama musim dingin (Gambar 19a dan 19b)



Gambar 19a dan 19b: Lintasan Matahari pada musim panas dan musim dingin di Norwegia. Terlihat bahwa Matahari jauh lebih tinggi di musim panas daripada di musim dingin. Inilah sebabnya Matahari bersinar lebih lama selama musim panas.

b. Belahan Bumi Bagian Selatan

Menggunakan peraga untuk kota kita (pilih lintang kota kita), mudah untuk membuktikan bahwa ketinggian Matahari di atas horizon berubah berdasarkan musim. Sebagai contoh, pada hari pertama musim semi deklinasi Matahari adalah 0° . Kita dapat meletakkan Matahari di tanggal 23 September. Kemudian kita dapat menggerakkan Matahari di sepanjang ekuator dari Timur ke arah Barat. Kita dapat melihat bahwa lintasan Matahari berada pada ketinggian tertentu di atas horizon.

Pada garis lintang yang sama kita dapat mengulangi percobaan ini untuk hari yang berbeda. Pada hari pertama musim panas, yaitu 21 Desember (deklinasi Matahari adalah -23.5°), ketika kita menggerakkan Matahari di sepanjang ekuator, kita dapat mengamati bahwa lintasan Matahari lebih tinggi daripada hari pertama musim semi. Sehingga, kita dapat mengulangi percobaan tersebut pada garis lintang yang sama pada hari pertama musim dingin, yaitu 21 Juni (deklinasi Matahari $+23.5^\circ$). Kita dapat melihat bahwa lintasan Mataharinya lebih rendah. Pada hari pertama musim gugur deklinasinya adalah 0° dan lintasan Matahari mengikuti ekuator dengan cara yang sama seperti pada hari pertama musim semi.

Jadi, jika kita mengubah garis lintangnya, maka ketinggian lintasan Matahari juga berubah, meskipun demikian lintasan tertinggi selalu terjadi pada hari pertama musim panas dan lintasan terendah terjadi pada hari pertama musim dingin..

Catatan:

Di musim panas, ketika Matahari lebih tinggi, Matahari menyinari Bumi pada sudut yang lebih tegak lurus terhadap horizon. Oleh karena itu, radiasinya terkonsentrasi di daerah yang lebih kecil dan cuacanya lebih panas. Selain itu pada musim panas, Matahari bersinar lebih lama dibandingkan pada musim dingin. Hal ini juga meningkatkan suhu selama musim panas.

➤ **Matahari terbit dan terbenam di tempat yang berbeda setiap hari**

Pada percobaan sebelumnya, jika fokus perhatian kita adalah posisi Matahari terbit dan terbenam, kita seharusnya telah mengamati bahwa Matahari terbit dan terbenam di tempat

yang berbeda setiap hari. Khususnya, jarak pada horizon antara Matahari terbit (atau Matahari terbenam) pada hari pertama dari dua musim berturut-turut meningkat dengan meningkatnya garis lintang (Gambar 20a, 20b dan 20c).



20a



20b



20c

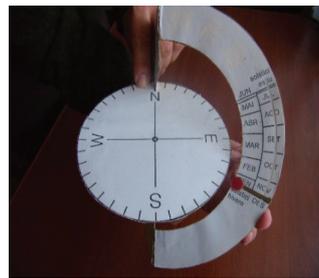
Gambar 20a, 20b, dan 20c: Matahari terbenam di Riga 57° (Latvia), Barcelona 41° (Spanyol) dan Popayán 2° (Kolombia) pada hari pertama dari setiap musim (kiri/musim dingin, tengah/musim semi atau musim gugur, kanan/musim panas). Pusat Matahari terbenam di kedua foto berada di lintasan yang sama. Terlihat bahwa jarak antara Matahari terbenam pada musim panas dan musim dingin di Riga (lintang yang lebih tinggi) lebih terpisah daripada di Barcelona dan lebih daripada Popayán (Foto: Ilgonis Vilks, Latvia, Rosa M. Ros, Spanyol dan Juan Carlos Martínez, Kolombia)



21a



21b

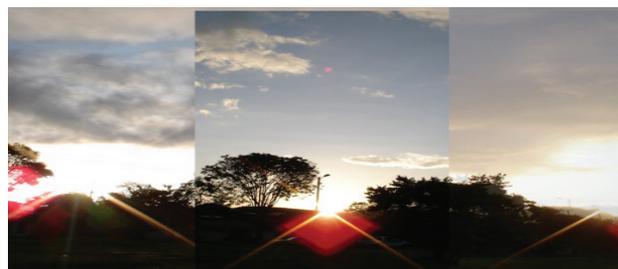


21c

Gambar 21a: Matahari terbit pada hari pertama musim semi atau musim gugur, Gambar 21b: Matahari terbit pada hari pertama musim panas, Gambar 21c: Matahari terbit pada hari pertama musim dingin

Sederhana untuk melakukan simulasi menggunakan peraga. Hanya menandai posisi Matahari dari setiap musim untuk dua lintang yang berbeda, misalnya 60° dan 40° (Gambar 21a, 21b dan 21c).

Ilustrasi pada gambar 20a, 20b dan 20c untuk belahan Bumi bagian utara, tetapi konsep yang sama juga berlaku untuk belahan Bumi bagian selatan (Gambar 22a, 22b dan 22c). Perbedaannya hanya pada waktu dari musimnya.



22a



22b



22c

Gambar 22a, 22b, dan 22c: Matahari terbenam di Popayán 2° (Kolombia), La Paz -19° (Bolivia) dan Esquel -43° (Argentina) pada hari pertama dari setiap musim (kiri/musim panas, tengah/musim semi dan musim gugur, kanan/musim dingin). Pusat Matahari terbenam di kedua foto berada di garis yang sama. Terlihat bahwa jarak antara Matahari terbenam pada musim panas dan musim dingin di Esquel (lintang yang lebih tinggi)

jauh lebih terpisah daripada di La Paz (Foto: Juan Carlos Martínez, Kolombia, Gonzalo Pereira, Bolivia dan Nestor Camino, Argentina).

Catatan:

Matahari tidak selalu terbit tepat di Timur dan terbenam tepat di Barat. Matahari terbit tepat di timur dan tenggelam tepat di barat hanya terjadi dua hari setiap tahun: pada hari pertama musim semi dan hari pertama musim gugur di semua lintang.

Fakta lain yang menarik adalah bahwa Matahari melintasi meridian (garis imajiner dari Kutub Utara ke Zenith ke Kutub Selatan) pada tengah hari di semua lintang (pada waktu Matahari). Ini dapat digunakan untuk orientasi.

2. Daerah Kutub: MATAHARI TENGAH MALAM

➤ *Musim panas dan musim dingin di kutub*

Jika kita memilih lintang kutub pada peraga (90°U atau 90°S tergantung pada kutub yang diperhatikan) terdapat tiga kemungkinan. Jika deklinasi Matahari 0° , maka Matahari bergerak sepanjang horizon, yang juga merupakan ekuatornya.

Jika deklinasi bertepatan dengan hari pertama musim panas, maka Matahari bergerak sejajar dengan horizon. Kenyataannya, Matahari selalu bergerak sejajar dengan horizon mulai hari kedua musim semi hingga hari terakhir musim panas. Hal ini berarti terjadi siang hari selama setengah tahun.

Pada hari pertama musim gugur Matahari kembali bergerak di sepanjang horizonnya. Tetapi dimulai pada hari kedua musim gugur hingga hari terakhir musim dingin, Matahari bergerak sejajar dengan horizon tetapi berada di bawahnya. Hal ini berarti terjadi malam hari selama setengah tahun.

Tentu saja contoh di atas merupakan situasi yang paling ekstrim. Terdapat beberapa lintang bagian utara yang lintasan Matahari tidak sejajar dengan horizon. Pada lintang ini tidak ada Matahari terbit atau terbenam karena lintang setempat terlalu tinggi. Dalam hal ini kita dapat mengamati "Matahari tengah malam".

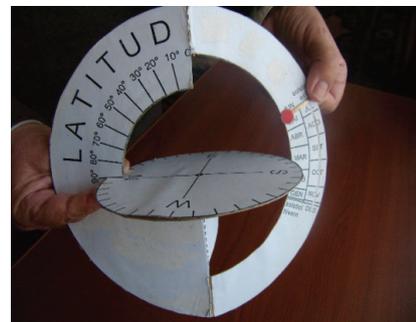
➤ *Matahari tengah malam (Midnight Sun)*

Jika kita memilih pada peraga lintang 70°U (atau 70°S tergantung pada belahan Bumi yang diperhatikan), kita dapat melakukan simulasi konsep dari Matahari tengah malam. Jika kita menempatkan Matahari pada hari pertama musim panas, yaitu 21 Juni, di belahan Bumi bagian utara (atau 21 Desember di belahan Bumi bagian selatan), kita dapat melihat bahwa Matahari tidak terbit dan terbenam pada hari tersebut. Lintasan Matahari tangensial ke horizon, tetapi tidak pernah berada di bawah horizon. Fenomena ini dikenal sebagai Matahari tengah malam, karena Matahari muncul pada waktu tengah malam (Gambar 22a dan 22b).

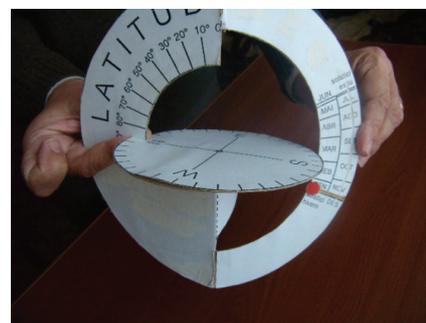


Gambar 23a dan 23b: Lintasan Matahari tengah malam di Lapland (Finlandia). Matahari mendekati horizon tetapi tidak terbenam. Melainkan, mulai naik lagi ke horizon (Foto: Sakari Ekko).

Di kutub (90°U atau 90°S) Matahari muncul di horizon selama setengah tahun dan di bawah horizon selama setengah tahun sisanya. Sangat mudah untuk mengilustrasikan situasi ini menggunakan peraga (Gambar 24a dan 24b).



24a



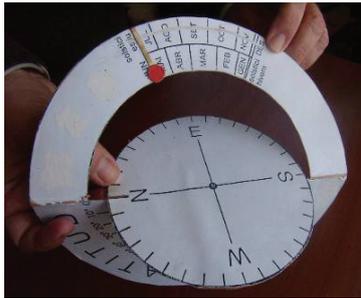
24b

Gambar 24a dan 24b: Peraga menunjukkan Matahari di atas horizon selama setengah tahun dan di bawah horizon selama setengah tahun.

3. Daerah Ekuator: MATAHARI DI ZENITH

☛ Matahari di Zenith

Di daerah ekuator, terdapat empat musim yang tidak jauh berbeda. Lintasan Matahari secara praktis tegak lurus ke horizon dan ketinggian Matahari secara praktis sama selama satu tahun penuh. Panjang waktu setiap harinya juga sangat mirip (Gambar 25a, 25b dan 25c).



25a



25b

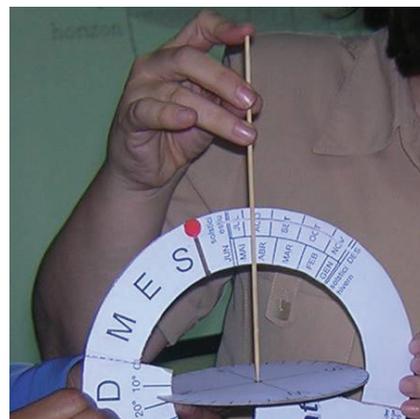


25c

Gambar 25a, 25b, dan 25c: Matahari terbit pada hari pertama dari setiap musim: kiri - hari pertama musim panas, tengah - hari pertama musim semi atau musim gugur, dan kanan - hari pertama musim dingin (di belahan Bumi utara). Di ekuator lintasan Matahari tegak lurus ke horizon. Matahari terbit pada titik yang hampir sama pada setiap musim. Jarak sudut antara Matahari terbit hanya $23,5^\circ$ (kemiringan ekliptika). Di

garis lintang yang lebih ekstrem, lintasan Matahari lebih miring dan jarak antara ketiga titik Matahari terbit meningkat (gambar 20a, 20b, 20c, 22a, 22b dan 22c).

Lebih lanjut, di negara-negara tropis terdapat beberapa hari spesial: hari ketika Matahari di zenith. Pada hari tersebut, Matahari menyinari permukaan Bumi di ekuator secara tegak lurus. Sehingga, suhu menjadi lebih panas dan bayangan seseorang menghilang di bawah sepatunya (Gambar 26a). Dalam beberapa budaya kuno hari tersebut dianggap menjadi sangat istimewa karena fenomenanya sangat mudah untuk diamati. Hal ini masih terjadi hingga sekarang. Kenyataannya, terdapat dua hari setiap tahun ketika Matahari berada di zenith bagi mereka yang hidup diantara *Tropic of Cancer* dan *Tropic of Capricorn*. Kita dapat mengilustrasikan fenomena tersebut dengan menggunakan peraga. Hal ini juga dimungkinkan untuk pendekatan perhitungan tanggal, yang bergantung pada lintangnya (Gambar 26b).



Gambar 26a: Bayangan kecil (Matahari hampir berada di Zenith) di tempat di dekat ekuator. Gambar 26b: Mensimulasikan Matahari di Zenith di Honduras (garis lintang 15° N).

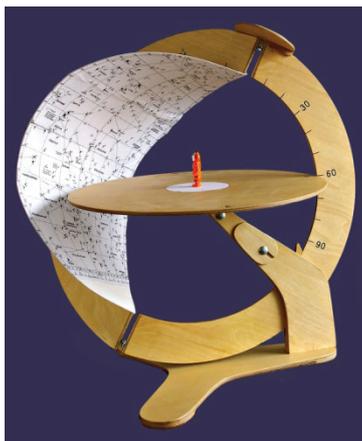
Sebagai contoh (Gambar 26b), jika kita memilih lintang 15° U, maka dengan menggunakan peraga, kita dapat melakukan pendekatan perhitungan hari Matahari berada di zenith pada tengah hari. Hal ini dilakukan hanya dengan memegang tongkat tegak lurus ke disk horizon dan kita dapat melihat bahwa hari tersebut adalah pada akhir April dan pertengahan Agustus.

Peraga XXL

Secara alami, peraga dapat dibuat dengan bahan lain, misalnya kayu (Gambar 27a). Dalam hal ini sumber cahaya artifisial dapat digunakan untuk menunjukkan posisi Matahari. Menggunakan kamera, dengan waktu pencahayaan yang panjang, memungkinkan untuk memvisualisasikan lintasan Matahari (Gambar 27b).



27a



27b



27c

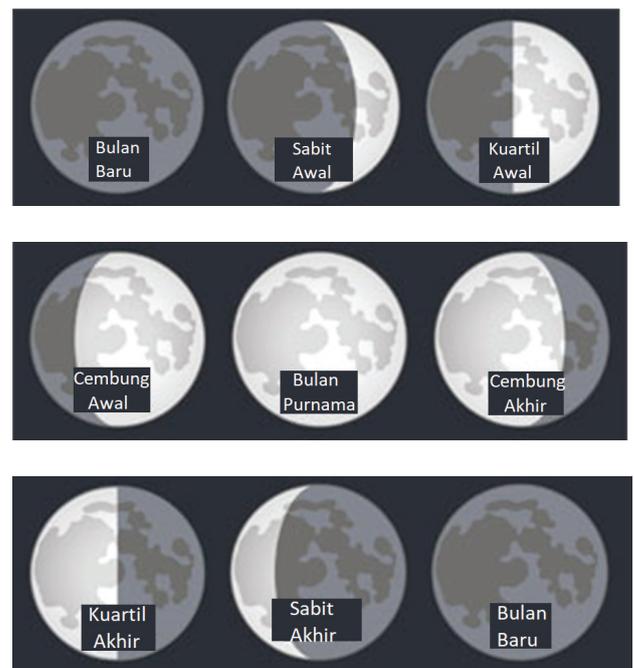
Gambar 27a: Peraga kayu XXL. Gambar 27b: Peraga kayu bintang. Gambar 27c: Menggunakan kamera memungkinkan untuk memotret lintasan surya dengan waktu pencahayaan yang panjang. (Foto: Sakari Ekko).

PERAGA BULAN: MENGAPA BULAN TERSENYUM DI BEBERAPA DAERAH?

Ketika mengajarkan kepada siswa tentang Bulan, kita ingin agar mereka dapat memahami mengapa bulan memiliki fase. Selain itu juga, kita ingin agar mereka dapat memahami mengapa dan bagaimana terjadi gerhana. Fase Bulan sangat spektakuler dan sangat mudah untuk dijelaskan kepada siswa dengan sebuah bola dan suatu sumber cahaya.

Model seperti pada gambar 28 merupakan gambar Bulan sabit dan perubahan fase Bulan yang berurutan. Terdapat suatu aturan praktis yang menyatakan bahwa bulan sabit seperti "C" dan memudar sebagai "D". Hal ini berlaku untuk penduduk belahan Bumi bagian selatan, tetapi tidak berlaku bagi penduduk di belahan Bumi bagian utara yang menyatakan bahwa Bulan adalah "semu".

Model kita akan mensimulasikan fase bulan (gambar 29), dan akan menunjukkan mengapa Bulan terlihat seperti "C" atau "D" tergantung pada fasenya. Seringkali, Bulan yang diamati di horizon sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 29. Namun, tergantung pada negaranya, sehingga memungkinkan untuk mengamati Bulan sebagai "C" yang dimiringkan, "D" yang dimiringkan (Gambar 30a) atau dalam kasus lain terlihat seperti "U" (disebut "Bulan tersenyum"; Gambar 28b). Bagaimana kita dapat menjelaskannya? Kita akan menggunakan peraga Bulan untuk memahami berbagai bentuk dari Bulan seperempat pada lintang yang berbeda.



Gambar 28: Fase Bulan.



Gambar 29: Fase Bulan diamati di horizon.

Jika kita mempelajari pergerakan Bulan, maka kita juga harus memperhatikan posisinya yang relatif terhadap Matahari (yang merupakan penyebab fasenya terjadi) dan deklinasinya (karena ini juga berubah setiap hari, dan lebih cepat daripada Matahari). Oleh karena itu kita harus membuat peraga yang memberikan siswa kemampuan untuk mengubah posisi Bulan relatif terhadap Matahari dengan mudah dan pada deklinasi yang sangat bervariasi selama sebulan. Seharusnya, seperti yang terlihat dari Bumi dengan latar belakang bintang-bintang, Bulan menggambarkan lintasan dalam sebulan, sesuai dengan garis "ekliptika" (tapi miring sekitar 5° disebabkan oleh inklinasi dari orbitnya).

Bulan berada dalam arah Matahari ketika ada "Bulan baru". Ketika ada "Bulan purnama", berada pada titik yang berlawanan dengan ekliptika, dan deklinasinya berlawanan dengan Matahari (dalam 5 derajat Utara atau Selatan). Misalnya, pada titik balik Matahari di Juni, "Bulan purnama" berada pada posisi yang Matahari berada selama titik balik Matahari di Desember; deklinasinya negatif (antara -18° dan -29°). Gerakan harian dari Bulan purnama pada bulan Juni ini mirip dengan gerakan Matahari pada bulan Desember.

Jika kita memperhatikan bentuk Bulan sabit "D" di belahan Bumi bagian utara (dan "C" di bagian Selatan), kita mengetahui bahwa Bulan 90° relatif terhadap Matahari. Namun, "jauh" dari Matahari di lintasan ekliptika (perbedaannya sekitar tiga bulan). Pada bulan Juni, Bulan sabit akan memiliki deklinasi yang mendekati deklinasi Matahari di September (0°). Pada bulan September, Bulan sabit ini akan memiliki deklinasi yang mendekati Matahari di Desember (-23.5°), dan seterusnya.



Gambar 30a: Bulan sabit miring, Gambar 30b: Bulan Tersenyum.

Membuat Peraga

Peraga Bulan dibuat dengan cara yang sama seperti membuat peraga Matahari. Seperti sebelumnya, kita membutuhkan sebuah model untuk mensimulasikan pengamatan dari belahan Bumi bagian utara dan belahan Bumi bagian selatan (Gambar 13 dan 14 untuk belahan Bumi bagian utara serta Gambar 13 dan 15 untuk belahan Bumi bagian selatan). Hal ini juga merupakan ide yang baik untuk membuat satu lagi, ukurannya dua kali lebih besar, untuk digunakan oleh guru.

Caranya mirip dengan peraga Matahari. Pada Bulan yang mudah (dalam bentuk "C" untuk belahan Bumi bagian utara, atau dalam bentuk "D" untuk belahan Bumi bagian selatan) di tempat Matahari sehingga memperoleh sebuah peraga Bulan. Berdasarkan petunjuk di berikut.

Untuk menempatkan Bulan di peraga, potonglah gambar 31b (Bulan seperempat) dan tempelkan dua potong selotip pada dan di bawah potongan Bulan tadi (setengah titik berwarna biru). Tempatkan klip transparan pada area peraga Bulan telah ditentukan (Gambar 12 atau 14 tergantung pada belahan Bumi). Idenya adalah mudah untuk menggerakkan klip tersebut naik dan turun pada area peraga untuk menempatkannya di bulan yang dipilih.



Gambar 31a: Menggunakan peraga, Gambar 31b: Bulan pada strip transparan bulan seperempat.

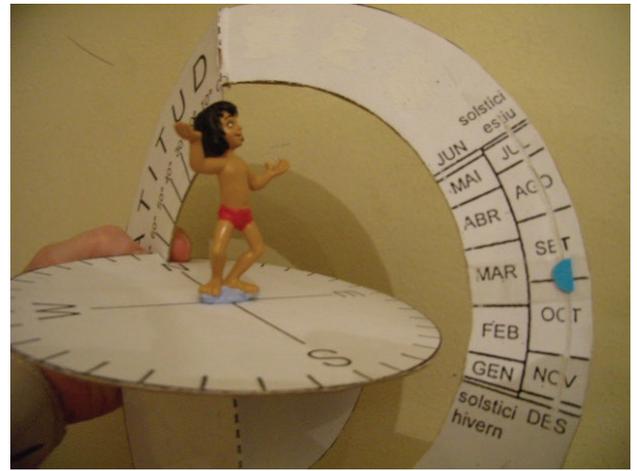
Menggunakan Peraga Bulan

Untuk menggunakan peraga Bulan kita harus memilih lintang. Kita akan melakukan perjalanan imajinasi di atas permukaan Bumi menggunakan peraga ini.

Menggunakan tangan kiri, pegang bagian utama dari peraga (Gambar 32a dan 32b) dengan area kosong (di bawah kuadran lintang). Pilih lintang dan gerakkan disk horizon sampai menunjukkan lintang pilihan. Pilih hari yang diinginkan untuk mensimulasikan gerakan Bulan yang memudar. Tambahkan tiga bulan ke nilai tersebut dan tempatkan Bulan dalam fase keempat (Gambar 31b). Bulan yang menghadap ke Bulan adalah tempat Matahari akan ada dalam tiga bulan. Gunakan tangan kanan untuk memindahkan disk yang menahan Bulan dari timur ke barat.

Menggunakan peraga untuk belahan Bumi bagian utara, kita dapat melihat bahwa bentuk bulan seperempat berubah dengan garis lintang dan di sepanjang tahun. Berdasarkan perspektif boneka yang diletakkan di peraga, Bulan seperempat yang memudar dapat muncul sebagai "C" atau "U" di horizon.

- Jika memilih lintang sekitar 70°U atau 70°S maka kita dapat melihat Bulan seperempat sebagai "C" bergerak dari Timur ke Barat. Sepanjang tahun tidak ada masalah. Untuk semua musim Bulan tampak seperti "C" (Gambar 32a).
- Jika lintangnya 20°U atau 20°S , berarti pengamat berada dekat dengan daerah tropis, dan kita dapat melihat Bulan seperempat tersenyum seperti "U". Bulan bergerak mengikuti sebuah garis yang lebih tegak lurus ke horizon daripada dalam contoh sebelumnya (Gambar 32b). Bentuk "U" tidak berubah setiap bulannya. Bentuknya akan selalu sama seperti ini sepanjang tahun.
- Jika lintangnya 90°U atau 90°S , berarti pengamat berada di kutub, dan tergantung pada hari yang akan diamati:
 - Kita dapat melihat Bulan seperempat sebagai "C" bergerak di lintasan yang sejajar dengan horizon.
 - Kita tidak dapat melihatnya, karena lintasannya berada dibawah horizon.
- Jika lintangnya 0° , berarti pengamat berada di ekuator, dan kita dapat melihat Bulan seperempat tersenyum seperti "U". Bulan terbit dan terbenam tegak lurus ke horizon. Bulan ini akan bersembunyi (pada siang hari) dalam bentuk "U", dan akan kembali terlihat seperti ini: "n"



Gambar 32a: Peraga untuk lintang 70°U , Gambar 32b: Lintang 20°S .

Untuk pengamat lain yang hidup di pertengahan lintang, Bulan seperempat terbit dan terbenam lebih atau kurang pada sudut tertentu, dan memiliki bentuk peralihan antara "C" dan "U".

Pernyataan di atas berlaku juga untuk Bulan dalam bentuk "D". Sekali lagi, kita harus mengoreksi harinya (dalam hal ini kita harus mengambil tiga bulan) ketika menempatkannya pada posisi Matahari.

- Jika lintangnya -70° (atau 70° selatan) maka kita dapat melihat Bulan memudar seperti "D" yang bergerak dari timur ke barat. Hal ini tidak bergantung di sepanjang tahun. Bentuk Bulan di semua musim seperti "D".
- Jika lintangnya -20° (Gambar 32b) berarti pengamat berada di daerah tropis dan melihat Bulan tersenyum seperti "U", mungkin sedikit miring. Bulan bergerak dalam lintasan yang tegak lurus ke horizon tidak seperti contoh sebelumnya (Gambar 32b). Bentuk "U" tidak berubah bergantung pada bulannya.
- Jika lintangnya -90° , berarti pengamat berada di kutub selatan, dan berdasarkan tanggal, akan mampu untuk:
 - Melihat Bulan seperti "D" yang bergerak dalam lintasan yang sejajar terhadap horizon.

- Tidak melihat Bulan, karena lintasannya berada di bawah horizon.

➤ Jika lintangnya 0° , seperti pada peraga belahan Bumi bagian utara, berarti pengamat berada di ekuator, dan kita dapat melihat Bulan tersenyum seperti “U”. Bulan terbit tegak lurus terhadap horizon dan akan bersembunyi (siang hari) dalam bentuk “U” dan muncul kembali seperti ‘ :

Untuk pengamat lainnya yang tinggal di pertengahan lintang, fase dari Bulan terbit dan terbenam berada pada posisi pertengahan antara “D” dan “U”, dan lebih atau kurang miring sesuai dengan lintang dari pengamatan..

Pernyataan tersebut dapat diaplikasikan dengan cara yang sama ketika Bulan muncul seperti “C”, kurangi tiga bulan dari posisi Matahari.

“Ucapan terimakasih: Penulis ingin berterimakasih kepada Joseph Snider atas perangkat Mataharinya yang dihasilkan pada tahun 1992 yang menginspirasi penulis untuk menghasilkan peraga lainnya”.

DAFTAR PUSTAKA

- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5. Orsay, France, 2001.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., *Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere*, Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.
- Snider, J.L., *The Universe at Your Fingertips*, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Warland, W., *Solving Problems with Solar Motion Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.

SISTEM BUMI- BULAN-MATAHARI: FASE-FASE DAN GERHANA

Rosa M. Ros

Perkumpulan Astronomi Dunia, Technical University of Catalonia (Barcelona, Spanyol)

Penerjemah: Dear Michiko Mutiara Noor

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Kegiatan berikut ini berkaitan dengan fase-fase bulan, gerhana matahari, serta gerhana bulan. Fenomena gerhana-gerhana ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengukur jarak dan diameter pada sistem tata surya Bumi-Bulan-Matahari.

Selanjutnya, terdapat aktifitas sederhana yang memungkinkan seseorang mengukur *longitude* dan tinggi dari permukaan bulan. Asal mula gelombang pasang juga akan dipaparkan.

TUJUAN

- Memahami alasan bulan memiliki fase-fase.
- Memahami penyebab terjadinya gerhana bulan.
- Memahami proses terjadinya gerhana matahari.
- Menentukan jarak dan diameter antara Bumi-Bulan-Matahari.
- Memahami asal mula terjadinya gelombang pasang.

POSISI RELATIF

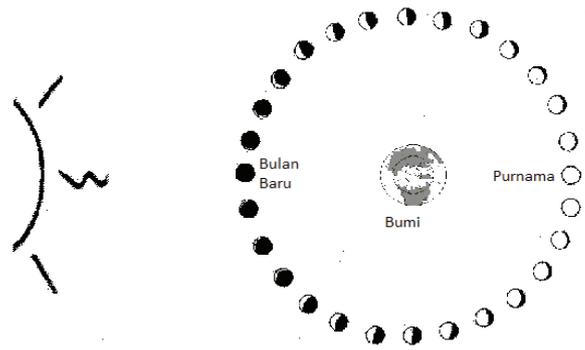
Istilah “gerhana” digunakan untuk berbagai macam fenomena. Namun secara umum, gerhana terjadi ketika suatu benda menghalangi benda lain: dalam hal ini, posisi relatif antara Bumi dan Bulan (obyek-obyek tak tembus cahaya) menjadi penyebab terhalangnya sinar matahari.

Gerhana matahari terjadi ketika Matahari terhalang oleh Bulan, yaitu saat Bulan terletak di antara Matahari dan planet kita. Gerhana semacam ini selalu terjadi selama fase Bulan baru (Gambar 1).

Gerhana bulan terjadi ketika Bulan melintasi bayangan dari Bumi, yaitu pada saat Bulan berada di sisi yang berlawanan dari posisi Matahari sehingga gerhana bulan selalu terjadi selama fase bulan baru (Gambar 1).

Bumi dan Matahari bergerak dalam lintasan orbit berbentuk elips, namun pada bidang yang berbeda. Orbit Bulan memiliki sudut inklinasi 5 derajat terhadap ekliptik (bidang orbit Bumi yang mengelilingi matahari). Kedua bidang ini bersilangan pada sebuah garis yang disebut Garis Simpul. Gerhana terjadi ketika Bulan berada dekat dengan Garis Simpul. Jika kedua

bidang ini berhimpit, gerhana akan terjadi lebih sering, mulai dari nol hingga tiga kali per tahun.



Gambar 1: Gerhana Matahari terjadi saat Bulan terletak di antara Matahari dan Bumi (Bulan baru). Gerhana Bulan terjadi saat Bulan melintasi bayangan kerucut dari Bumi (yaitu, Bumi terletak di antara Matahari dan Bulan purnama).

MODEL-MODEL TOPENG

Model Wajah yang Tersembunyi

Bulan memiliki dua pergerakan: rotasi dan translasi yang berdurasi hampir sama, yaitu sekitar empat minggu. Inilah sebabnya jika dilihat dari Bumi kita dapat selalu melihat bagian permukaan bulan yang sama.

Kita akan mempelajari fenomena ini dengan model yang sederhana. Kita mulai dengan menempatkan sukarelawan yang berperan sebagai Bumi dan seorang sukarelawan berperan “Bulan” yang mengenakan topeng putih. Kita tempatkan sukarelawan “Bulan” di depan Bumi, menghadap ke arah Bumi, sebagai posisi awal. Sehingga jika Bulan bergerak 90 derajat pada orbitnya mengelilingi Bumi, dia juga harus berputar 90 derajat terhadap orbitnya sendiri sehingga Bulan akan terus menghadap ke Bumi, begitu pun seterusnya. Kita akan bertanya kepada sukarelawan Bumi apakah dia dapat melihat wajah Bulan yang sama atau justru melihat bagian yang berbeda. Kita ulangi pergerakan yang sama sebanyak empat kali, dengan selalu bergerak dengan arah 90°. Jelas bahwa untuk setiap 90° yang merepresentasikan setiap minggu, Bumi selalu dapat melihat bagian yang sama dari Bulan, sedangkan bagian belakang kepala sukarelawan tersebut tidak pernah terlihat.

Model Fase Bulan

Untuk menjelaskan fase-fase Bulan, model terbaik adalah dengan menggunakan lampu senter atau memanfaatkan cahaya dari proyektor (yang akan berperan sebagai cahaya Matahari) serta sukarelawan yang berjumlah minimal lima orang. Satu dari mereka berdiri di tengah sebagai representasi dari Bumi dan yang lainnya berdiri mengelilingi “Bumi” dengan jarak yang sama antara satu dan lainnya untuk menyimulasikan fase Bulan yang berbeda-beda. Agar lebih menarik, ide yang bagus jika setiap “bulan” mengenakan topeng berwarna putih untuk menyerupai warna bulan. Setiap orang harus menghadapkan

wajah ke “Bumi” karena kita tahu Bulan selalu menampilkan wajah yang sama ke Bumi (Gambar 2). Kita akan tempatkan cahaya lampu senter di atas dan di belakang seluruh sukarelawan ini, kemudian mulai untuk memvisualisasikan fase-fase bulan (sebagaimana yang terlihat dari Bumi, yaitu yang terletak di pusatnya). Sangat mudah untuk menemukan bahwa terkadang topeng putih ini diterangi secara keseluruhan, terkadang hanya seperempat bagian saja yang terang, dan terkadang sama sekali tidak terkena cahaya (karena lampu “matahari” berada di belakang “bulan” dan cahayanya menyilaukan pandangan). Semakin banyak jumlah relawan “bulan”, semakin banyak fase-fase “bulan” yang dapat diamati.

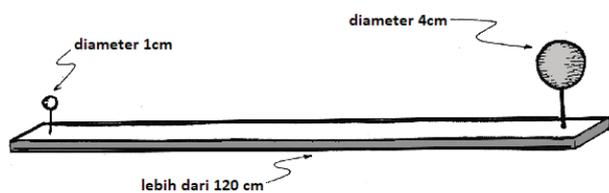


Gambar 2: Model Bumi-Bulan dengan sukarelawan (untuk menjelaskan fase dan wajah Bulan yang terlihat).

Model Bumi Bulan

Tidak mudah untuk memahami dengan jelas geometri yang mendasari fase-fase Bulan, serta gerhana Matahari dan Bulan. Oleh sebab itu, model sederhana diusulkan untuk memfasilitasi pemahaman tentang seluruh proses ini.

Tancapkan dua paku (sekitar 3 atau 4 cm) pada papan kayu sepanjang 125 cm. Paku-paku ini harus berjarak 120 cm. Dua bola yang masing-masing berdiameter 4 cm dan 1 cm diletakkan pada dua paku tersebut (Gambar 3).



Gambar 3: Model Bumi dan Bulan.

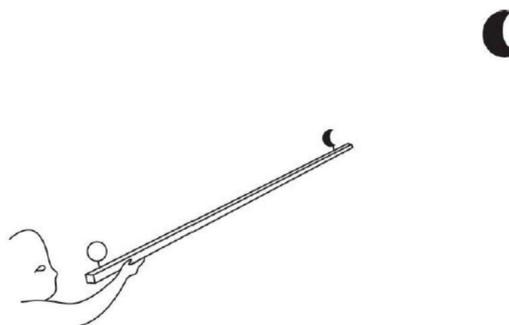
Penting untuk memperhatikan ukuran relatif berikut sebab ukuran tersebut mewakili model skala sistem Bumi-Bulan.

Diameter Bumi	12.800 km	4 cm
Diameter Bulan	3.500 km	1 cm
Jarak Bumi-Bulan	384.000 km	120 cm
Diameter Matahari	1.400.000 km	440 cm = 4,4 m
Jarak Bumi-Matahari	150.000.000 km	4.700 cm = 0,47 km

Tabel 1: Jarak-jarak dan diameter dari sistem Bumi-Bulan-Matahari.

REPRODUKSI FASE-FASE BULAN

Di suatu tempat dengan cuaca cerah, ketika Bulan terlihat di siang hari, arahkan model ini ke Bulan yang terlihat tersebut sehingga bola kecil mengarah pada Bulan (Gambar 4). Pengamat berada di belakang bola yang mewakili Bumi. Bola yang merepresentasikan Bulan akan terlihat sebesar Bulan yang sesungguhnya dan dengan fase yang juga sama. Dengan mengubah arah model, fase Bulan yang berbeda akan terbentuk sebab pencahayaan oleh sinar Matahari bervariasi. Bola Bulan perlu dipindah-pindahkan untuk mendapatkan keseluruhan fase-fasenya.

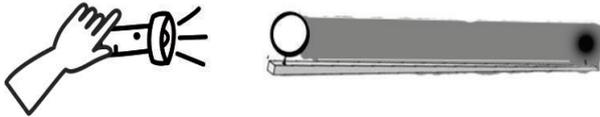


Gambar 4: Menggunakan model di teras sekolah.

Aktivitas ini lebih baik dilakukan di luar ruangan, tetapi jika langit berawan, dapat pula dilakukan di dalam ruangan dengan alat proyektor sebagai pengganti sumber cahaya.

Reproduksi Gerhana Bulan

Model ini dibuat sedemikian hingga bola kecil Bumi menghadap Matahari (Lebih baik menggunakan proyektor untuk menghindari menatap Matahari secara langsung) dan bayangan Bumi menutupi Bulan (Gambar 5a dan 5b) sebab bola ini lebih besar daripada bola Bulan. Ini adalah cara yang mudah untuk membentuk kembali gerhana Bulan.



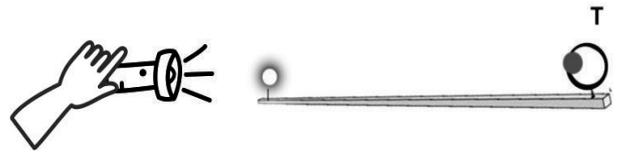
Gambar 5a dan 5b: Simulasi gerhana Bulan.



Gambar 6: Komposisi fotografi dari gerhana Bulan. Satelit kita melintasi bayangan kerucut dari Bumi.

Reproduksi Gerhana Matahari

Model diletakkan sedemikian hingga bola Bulan menghadap Matahari (lebih baik menggunakan proyektor) dan bayangan Bulan harus diproyeksikan pada bola Bumi. Dengan melakukan ini, sebuah gerhana matahari akan terbentuk kembali dan sebuah titik kecil akan terlihat pada suatu bagian dari Bumi (Gambar 7a dan 7b).



Gambar 7a dan 7b: Simulasi gerhana matahari

Tidak mudah untuk menghasilkan situasi ini karena sudut inklinasi dari model harus diatur dengan baik (itu sebabnya mengapa peristiwa gerhana Matahari lebih sedikit daripada gerhana Bulan).



Gambar 8: Detail dari gambar sebelumnya (7a)



Gambar 9: Foto gerhana Matahari yang diambil dari ISS pada tahun 1999 dari atas suatu bagian dari permukaan Bumi.

Observasi-observasi

- Gerhana Bulan hanya dapat terjadi pada saat Bulan purnama dan gerhana Matahari hanya dapat terjadi pada saat Bulan baru.
- Gerhana Matahari hanya dapat dilihat pada sebagian kecil daerah di permukaan Bumi. Suatu hal yang jarang terjadi untuk Bumi dan Bulan yang berada cukup selaras untuk
- Membentuk suatu gerhana, sehingga hal ini tidak terjadi setiap Bulan baru maupun Bulan purnama.

MODEL MATAHARI-BULAN

Untuk memvisualisasikan sistem Matahari-Bumi-Bulan yang menitikberatkan khusus pada jarak, kita perhatikan sebuah model baru yang mempertimbangkan sudut pandang Bumi dari Matahari dan Bulan. Pada kasus ini kita akan mengajak para siswa dan siswi untuk menggambar dan mengecat Matahari yang besar, berdiameter 220 cm (diameter lebih dari 2 meter) pada selembar kain dan kita akan tunjukkan pada mereka bahwa mereka dapat menghalangi pandangan terhadap matahari ini dengan sebuah Bulan kecil berdiameter 0.6 cm (diameter kurang dari 1 cm).

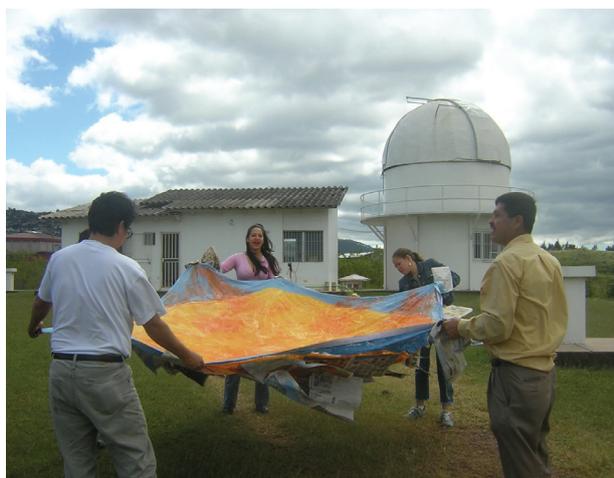
Akan sangat membantu jika bola Bulan ini digantikan oleh sebuah lubang berukuran sama pada suatu papan kayu untuk memastikan posisi Bulan dan pengamat.

Pada model ini, Matahari diletakkan persis 235 meter dari Bulan, dan pengamat berada 60 cm dari Bulan. Para siswa akan merasa terkejut saat mereka dapat menghalangi pandangan mereka terhadap Matahari yang besar tersebut hanya dengan sebuah Bulan yang amat kecil. Perbandingan 400 kali lipat terhadap ukuran dan jarak adalah hal yang tidak mudah untuk dibayangkan, sehingga baik untuk ditunjukkan pada mereka dengan contoh seperti ini agar mereka paham mengenai skala jarak ukuran sesungguhnya di alam semesta. Seluruh latihan dan kegiatan ini membantu mereka (dan mungkin kita) untuk memahami hubungan spasial antar benda angkasa pada saat

terjadinya gerhana Matahari. Metode ini jauh lebih baik dibandingkan dengan membaca sederetan angka pada buku.

Diameter Bumi	12.800 km	2,1 cm
Diameter Bulan	3.500 km	0,6 cm
Jarak Bumi-Bulan	384.000 km	60 cm
Diameter Matahari	1.400.000 km	220 cm
Jarak Bumi-Matahari	150.000.000 km	235 cm

Tabel 2: Jarak-jarak dan diameter dari sistem Bumi-Bulan-Matahari.



Gambar 10: Model Matahari. Gambar 11: Pengamatan Matahari dan Bulan dalam model.

MENGUKUR DIAMETER MATAHARI

Kita dapat mengukur diameter Matahari dengan cara yang berbeda-beda. Di sini kita peragakan sebuah metode sederhana menggunakan kamera lubang jarum. Kita dapat melakukannya dengan sebuah kotak sepatu atau tabung yang terbuat dari karton yang berfungsi sebagai sumbu untuk aluminium foil.

Tutup salah satu ujung tabung dengan kertas minyak yang sedikit transparan, dan ujung lainnya dengan aluminium foil

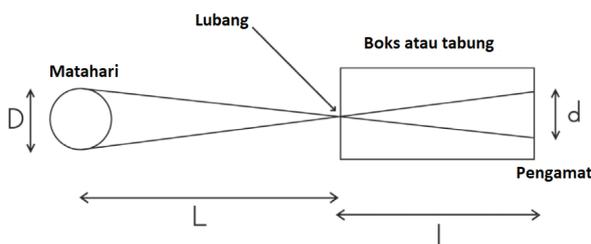
yang akan dibuat sebuah lubang kecil menggunakan jarum (Gambar 12 dan 13).

- Kita harus mengarahkan ujung yang berlubang ke Matahari dan melihatnya melalui ujung tabung yang tertutup kertas minyak. Kita ukur diameter, dari bayangan Matahari yang tercetak pada kertas minyak tersebut.



Gambar 12 dan 13: Model kamera lubang jarum.

Untuk menghitung diameter Matahari, perhatikan Gambar 14, lalu kita tunjukkan dua buah segitiga yang sebangun.



Gambar 14: Geometri yang mendasari perhitungan.

Disini kita dapat menerapkan hubungan:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{I}$$

Dan kita juga dapat menemukan formula diameter Matahari, D:

$$D = \frac{d \cdot L}{I}$$

Dengan mengetahui bahwa jarak dari Matahari ke Bumi adalah 150.000.000 km, panjang tabung meter, dan diameter bayangan matahari pada kertas minyak, kita dapat menghitung diameter Matahari. (Ingat bahwa diameter matahari adalah 1.392.000 km)

Dengan cara yang sama kita dapat mengukur diameter bulan saat purnama, dengan mengetahui bahwa jarak Bulan adalah 400.000 km dari Bumi.

Ukuran dan Jarak pada sistem Bumi-Bulan-Matahari

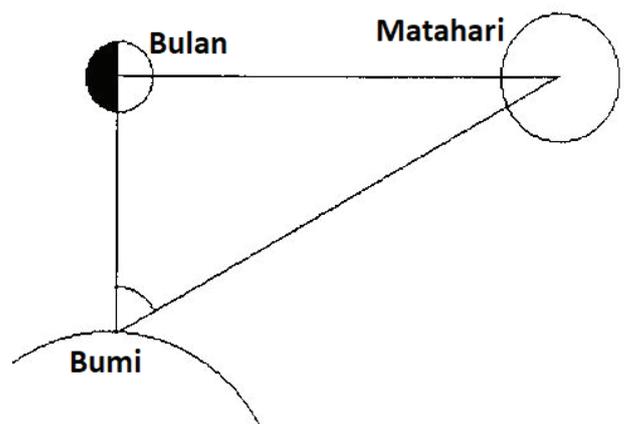
Aristarchus (310-230 SM) menganalisis perbandingan antara jarak dan jari-jari dari sistem Bumi-Bulan-Matahari. Dia menghitung jari-jari Matahari dan Bulan, jarak dari Bumi ke Matahari, serta jarak dari Bumi ke Bulan dalam kaitannya dengan jari-jari Bumi. Beberapa tahun kemudian, Eratosthenes (280-192 SM) berhasil menentukan nilai dari jari-jari planet kita, sehingga memungkinkan untuk menghitung seluruh jarak dan jari-jari pada sistem Bumi-Bulan-Matahari.

Tujuan dari kegiatan kali ini adalah untuk mengulang kembali dua percobaan sebagai kegiatan siswa. Idennya adalah mengulang proses matematisnya dan semirip mungkin mengulang observasi yang dilakukan oleh Aristarchus dan Eratosthenes.

Percobaan Aristarchus lagi

— Hubungan antara jarak Bumi-Bulan dan Bumi-Matahari

Aristarchus menentukan bahwa sudut antara garis Bulan-Bumi dan garis Bumi-Matahari ketika bulan berada pada fase seperempat adalah $\alpha = 87^\circ$ (Gambar 15).



Gambar 15: Posisi relatif Bulan pada fase bulan seperempat.

Di masa ini kita tahu bahwa nilai ini sedikit melenceng, mungkin karena sangat sulit untuk menentukan waktu yang tepat pada fase bulan seperempat. Sudut yang sebenarnya adalah

$\alpha = 89^\circ$, namun proses yang dilakukan Aristarchus sepenuhnya benar. Pada Gambar 15, jika kita menggunakan definisi trigonometri sekan, kita akan dapatkan

$$\cos \alpha = ES/EM$$

dengan ES adalah jarak dari Bumi ke Matahari, sedangkan EM adalah jarak dari Bumi ke Bulan. Maka secara hampiran,

$$ES = 400 EM$$

(meskipun Aristarchus menduga $ES=19 EM$).

— Hubungan antara jari-jari Bulan dan Matahari

Hubungan antara diameter Bulan dan Matahari seharusnya serupa dengan formula yang telah dijelaskan sebelumnya, sebab yang kita amati dari Bumi adalah diameter keduanya $0,5^\circ$. Sehingga rasio kedua benda langit ini adalah

$$R_S = 400 R_M$$

— Hubungan antara jarak dari Bumi ke Bulan dan jari-jari bulan, atau antara jarak dari Bulan ke Matahari dan jari-jari matahari.

Aristarchus memperkirakan orbit dari Bulan adalah lingkaran yang mengelilingi Bumi. Karena diameter Bulan yang diamati adalah $0,5^\circ$, garis edar melingkar (360°) oleh Bulan yang mengelilingi Bumi akan menjadi 720 kali diameternya. Panjang garis edar ini adalah 2π kali jarak Bumi-Bulan, yakni: $2 R_M 720 = 2 \pi EM$. Penyelesaiannya akan menjadi

$$EM = (720 R_M)/\pi$$

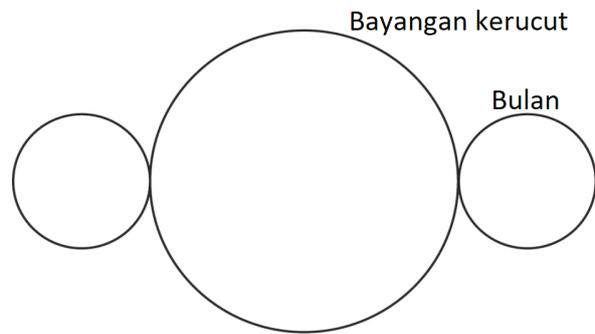
Dengan cara yang sama, kita akan dapatkan

$$ES = (720 R_S)/\pi$$

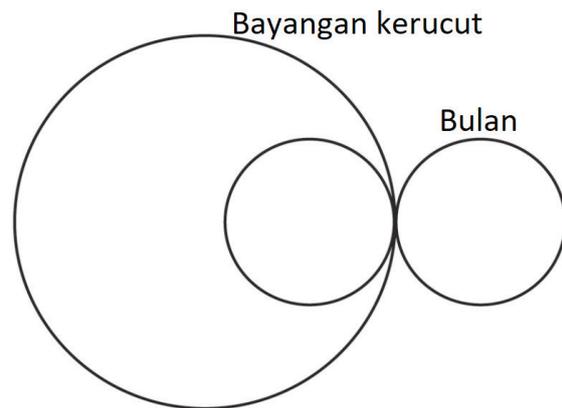
Ini adalah hubungan antara jarak Bumi, jari-jari bulan, jari-jari matahari, dan jari-jari bumi.

— Hubungan antara Jarak Bumi ke Matahari dan ke Bulan, jari-jari Bulan, jari-jari Matahari dan radius terrestrial

Selama gerhana bulan, Aristarchus mengamati bahwa waktu yang dibutuhkan untuk bulan melintasi bayangan kerucut Bumi adalah dua kali lebih lama dari waktu yang dibutuhkan untuk permukaan bulan tertutup sempurna (Gambar 16). Dengan demikian, dia menyimpulkan bahwa diameter bayangan kerucut Bumi dua kali lebih besar dari diameter Bulan, yaitu, rasio kedua diameter atau jari-jarinya adalah 2:1. Sekarang, telah diketahui bahwa rasio yang sesungguhnya adalah 2,6:1.



16a

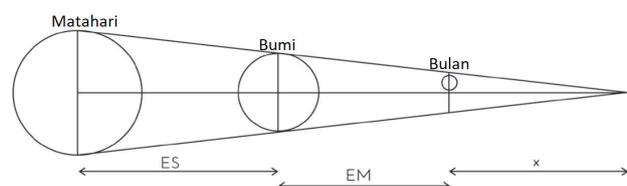


16b

Gambar 16a: Mengukur bayangan kerucut. Gambar 16b: Mengukur diameter bulan.

— Rangkuman Akhir

Dengan mempertimbangkan hasil akhir, (Gambar 17)



Gambar 17: Bayangan kerucut dan posisi relatif sistem Bumi-bulan-Matahari

kita dapatkan hubungan berikut:

$$x / (2.6 R_M) = (x+EM) / R_E = (x+EM+ES) / R_S$$

dengan x adalah variabel tambahan. Mengingat hubungan $ES = 400 EM$ dan $R_S = 400 R_M$, kita dapat mengeliminasi x dan setelah penyederhanaan, didapatkan:

$$R_M = (401/1440) R_E$$

Hal ini memungkinkan bagi kita untuk menyatakan seluruh ukuran yang disebutkan sebelumnya sebagai fungsi dari jari-jari Bumi, sehingga

$$R_s = (2005 / 18) R_E, ES = (80200 / \pi) R_E, EM = (401 / (2\pi)) R_E$$

Dimana kita hanya perlu menggantikan nilai R_E dengan jari-jari planet kita yang sudah diketahui angkanya untuk mendapatkan keseluruhan jarak dan jari-jari sistem Bumi-Bulan-Matahari.

Pengukuran dengan para siswa.

Suatu hal yang baik bila dapat mengulang pengukuran yang dirumuskan oleh Aristarchus dengan para siswa/i. Khususnya, pertama kita perlu menghitung sudut antara Matahari dan bulan seperempat. Untuk melakukan pengukuran ini hanya diperlukan *theodolite* dan perlu mengetahui saat bulan seperempat dengan tepat.

Jadi kita akan mencoba memverifikasi sudut yang terukur apakah $\alpha = 87^\circ$ atau $\alpha = 89^\circ 51'$ (meski nilai presisi ini sangat sulit untuk didapatkan).

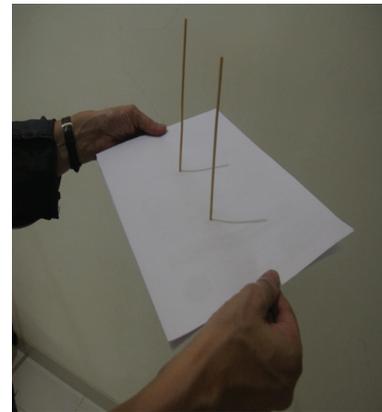
Kedua, selama gerhana bulan terjadi, dengan menggunakan *stopwatch*, memungkinkan bagi kita untuk menghitung hubungan antara waktu-waktu berikut: "kontak pertama dan kedua antara Bulan dan bayangan kerucut matahari", yaitu, mengukur diameter bayangan kerucut Bumi (Gambar 17a). Kemudian juga mengukur "waktu yang dibutuhkan untuk menutup diameter Bulan" (Gambar 20b). Akhirnya, memungkinkan pula bagi kita untuk memverifikasi apakah rasio keduanya adalah 2:1 atau 2,6:1.

Tujuan yang paling penting dari kegiatan ini adalah bukan menentukan hasil masing-masing jari-jari ataupun jarak. Yang terpenting adalah untuk menunjukkan pada para siswa bahwa jika mereka menggunakan pengetahuan dan kecerdasan mereka, mereka akan mendapatkan hasil yang menarik dengan peralatan seadanya. Dalam hal ini, kecerdikan Aristarchus sangat penting dalam mendapatkan ide tentang ukuran pada sistem Bumi-Bulan-Matahari.

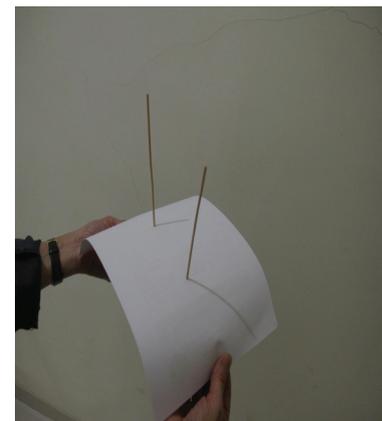
Juga merupakan ide yang bagus untuk melakukan pengukuran jari-jari Bulan bersama para siswa dengan mengikuti percobaan Eratosthenes. Walaupun percobaan Eratosthenes terkenal, disini kita mempersembahkan versi singkat dari percobaan tersebut untuk melengkapi pengalaman sebelumnya.

Percobaan Eratosthenes lagi

Eratosthenes adalah direktur dari Perpustakaan Alexandria. Dalam sebuah tulisan pada perpustakaan tersebut, dia menemukan bahwa di kota Syena (sekarang Aswan) titik balik musim panas, saat siang hari, Matahari direfleksikan di dasar sumur, dengan kata lain hal ini sama dengan fenomena saat batang tegak yang tidak menimbulkan bayangan. Dia menemukan bahwa di hari yang sama, di waktu yang sama, sebuah lidi batang juga tidak menghasilkan bayangan di Aleksandria. Dari hal tersebut, dia menduga bahwa permukaan Bumi tidak mungkin datar, namun haruslah bulat. (Gambar 18a dan 18b)



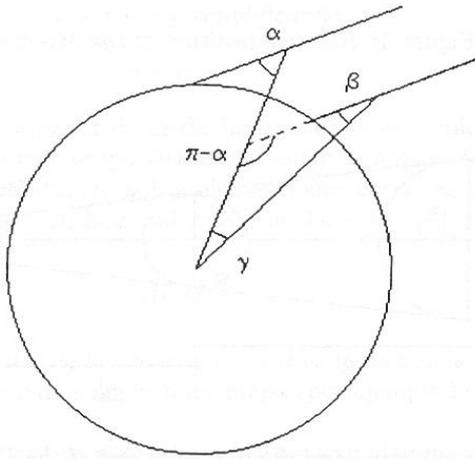
18a



18b

Gambar 18a dan 18b: Pada permukaan datar, dua batang menghasilkan bayangan yang sama, namun ketika permukaannya melengkung, bayangan yang dihasilkan berbeda.

Pandang dua tiang pancang yang diketakkan tegak lurus terhadap tanah di dua kota pada permukaan bumi dengan garis meridian yang sama. Tiang pancang ini harus tegak terhadap pusat Bumi. Biasanya lebih baik bila menggunakan pemberat sehingga kita dapat menandai titik pada kabelnya untuk mengukur panjang. Kita harus mengukur panjang pemberat dari tanah ke tanda yang telah dibuat, dan panjang bayangannya dari dasar pemberat ke bayangan dari tanda yang telah dibuat.



Gambar 19: Peletakan *plumb* dan sudut-sudut pada percobaan Eratosthenes.

Kita asumsikan bahwa berkas cahaya Matahari jatuh secara paralel. Berkas cahaya ini akan menghasilkan dua buah bayangan, satu untuk masing-masing pemberat. Kita ukur panjang dari pemberat dan bayangannya, dan dengan menggunakan definisi tangen, kita tentukan sudut α dan β (Gambar 19). Sudut tengah γ dapat dihitung dengan mengingat bahwa jumlah dari tiga sudut pada segitiga sama dengan π radian. Maka $\pi = \pi - \alpha + \beta + \gamma$. Lakukan penyederhanaan, akan diperoleh

$$\gamma = \alpha - \beta$$

dengan α dan β telah ditentukan nilainya menggunakan pemberat dan bayangannya.

Kemudian, dengan memperhatikan perbandingan antara sudut γ panjang busur d (ditentukan oleh jarak di atas meridian antara dua kota), dan meridian melingkar 2π radian lingkaran meridian dan panjang busurnya $2\pi R_E$, kita dapatkan:

$$\gamma/d = 2\pi/(2\pi R_E)$$

Lalu kita peroleh bahwa:

$$R_E = d/\gamma$$

dengan γ telah ditentukan melalui pengamatan dan d adalah jarak dalam km antara dua kota. Kita bisa mendapatkan nilai d dari peta yang baik.

Pada situasi Eratosthenes, sudut β adalah nol dan $\gamma = \alpha$, serta jarak antara Alejandria dan ruta Syena, didapatkan hasil yang baik dari radius terrestrial.

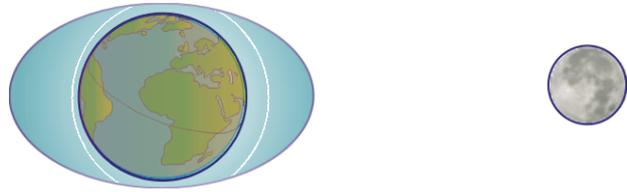
Disebutkan pula bahwa tujuan dari kegiatan ini bukanlah keakuratan hasil. Namun, kita ingin para siswa menemukan bahwa nalar dan pemanfaatan seluruh kemungkinan yang terbayangkan, dapat membuahkan hasil yang mengejutkan.

GELOMBANG PASANG

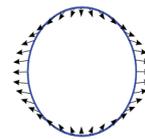
Gelombang pasang adalah naik dan turunnya permukaan air laut akibat efek kombinasi dari rotasi Bumi dan gaya gravitasi yang dihasilkan oleh Bulan dan Matahari. Bentuk dasar laut dan pantai pada zona pesisir juga mempengaruhi gelom-

bang pasang, namun pengaruhnya kecil. Gelombang pasang terbentuk dengan periode sekitar 12 ½ jam.

Gelombang pasang umumnya disebabkan oleh gaya tarik menarik antara Bulan dan Bumi. Tingginya gelombang pasang terjadi pada sisi Bumi yang menghadap Bulan dan membelakangi Bulan (Gambar 20). Gelombang pasang yang rendah terjadi pada titik-titik pertengahan.



Gambar 20: Efek gelombang pasang.



Gambar 21: Efek pada air yang berbeda percepatan relatifnya

terhadap Bumi pada area yang berbeda di lautan. Fenomena gelombang pasang telah diketahui sejak jaman purba, namun penjelannya baru ada setelah adanya penemuan hukum Newton tentang Gravitasi Universal (1687),

$$F_g = G \frac{m_T \cdot m_L}{d^2}$$

Bulan memancarkan gaya gravitasi pada Bumi. Ketika ada gaya gravitasi, ada pula percepatan gravitasi menurut hukum ke dua Newton ($F = m a$). Sehingga percepatan pada Bumi yang disebabkan oleh bulan adalah

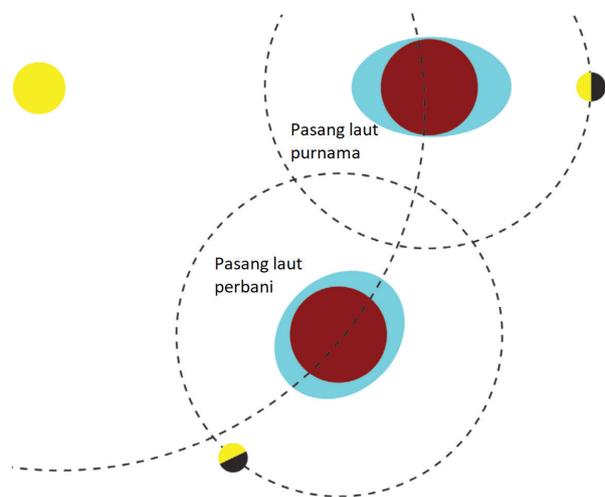
$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

Dimana m_L adalah massa bulan dan d adalah jarak dari bulan ke suatu titik pada Bumi.

Bagian yang padat di Bumi ini bertekstur keras dan, oleh karenanya, kita dapat perhatikan seluruh percepatan pada bagian padat ini yang dikenakan pada pusat Bumi. Namun, air bersifat cair dan mengalirkan percepatan tertentu yang bergantung pada jarak terhadap Bulan. Jadi percepatan pada sisi yang terdekat dengan bulan lebih besar dari sisi yang paling jauh. Akibatnya, permukaan lautan akan memunculkan elipsoida (Gambar 21).

Elipsoida tersebut selalu meregang ke arah Bulan (Gambar 20) dan bumi akan berputar ke bawah. Sehingga setiap titik di Bumi akan mengalami pasang naik yang diikuti dengan pasang turun sebanyak dua kali per hari. Tentunya periode antar gelombang pasang sedikit lebih banyak dari 12 jam dan alasannya adalah karena bulan berotasi mengelilingi Bumi dengan

periode sinodis sekitar 29,5 hari. Artinya, akan berjalan sejauh 360° dalam 29,5 hari, sehingga bulan akan bergerak di langit hampir mencapai $12,2^\circ$ setiap hari atau $6,6^\circ$ setiap 12 jam. Karena tiap jam di Bumi berotasi sekitar 15° , maka $6,6^\circ$ ekuivalen dengan 24 menit, artinya tiap gelombang pasang bersiklus 12 jam dan 24 menit. Karena waktu tempuh antara gelombang pasang tinggi dan gelombang pasang rendah kurang lebih setengah dari periode ini, maka waktu yang dibutuhkan untuk gelombang pasang tinggi berubah menjadi gelombang pasang rendah, dan sebaliknya, adalah sekitar 6 jam 12 menit.



Gambar 22: Gelombang pasang naik dan pasang surut.

Karena kedekatannya, pengaruh Bulan pada gelombang pasang adalah yang terkuat. Namun Matahari juga memiliki dampak pada gelombang pasang. Ketika Bulan dan Matahari berada pada satu kesinambungan (Bulan baru) atau kebalikannya (Bulan purnama), pasang naik terjadi. Ketika Bulan dan Matahari memancarkan gaya gravitasi yang saling tegak lurus (Perempat Pertama dan Perempat Terakhir), Bumi akan mengalami pasang surut (Gambar 22).

PUSTAKA

- Alonso, M., Finn, E. *Física – um curso universitário*. Volume I. Ed. Edgard Blucher, 1972
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo*, Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía*, Editorial Alambra, Mexico, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., "A scale model to study solar eclipses", *Proceedings of 3rd EAAE Summer School*, 107, 109, Barcelona, 1999
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Reddy, M. P. M., Affholder, M. *Descriptive physical oceanography: State of the Art*. Taylor and Francis. 249, 2001.
- Ros, R.M., Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities, *Proceedings of 9th EAAE International Summer School*, 135, 149, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Viñuales, E., Aristarchos' Proportions, *Proceedings of 3rd EAAE International Summer School*, 55, 64, Barcelona, 1999.
- Ros, R.M., Viñuales, E., El mundo a través de los astrónomos alejandrinos, *Astronomía, Astrofotografía y Astronáutica*, 63, 21. Lérida, 1993.

AKTENTAS UNTUK ASTRONOM

Rosa M. Ros

Perkumpulan Astronomi Dunia, Technical University of Catalonia (Barcelona, Spanyol)

Penerjemah: Dear Michiko Mutiara Noor

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Untuk observasi lebih lanjut, para siswa perlu memiliki satu set peralatan lengkap. Disarankan pada mereka untuk membuat beberapa peralatan tersebut dan kemudian menggunakannya untuk mengamati langit dari halaman sekolah.

Siswa-siswi perlu memahami cara mendasar tentang bagaimana beberapa instrumen diperkenalkan selama beberapa abad ini, bagaimana instrumen-instrumen ini dikembangkan, dan menjadi penting. Ini adalah bagian yang penting dalam astronomi, mengingat kemampuan luar biasa untuk membuatnya serta keterampilan menggunakannya dalam melakukan pembacaan hasil-hasil observasi. Semua hal ini tidak mudah untuk dijelaskan pada para siswa, oleh sebab itu di sini akan diperkenalkan alat-alat yang jauh lebih sederhana.

OBJEKTIF

- Memahami pentingnya melakukan pengamatan dengan hati-hati
- Memahami kegunaan beberapa instrumen, didukung dengan fakta bahwa para siswa nantinya akan membuat sendiri alat-alat tersebut.

OBSERVASI

Kita akan berlatih dalam pengukuran waktu dan posisi benda-benda langit dengan artefak “ad hoc” yang telah disediakan. Di sini kita memberikan sejumlah informasi dalam menghimpun koleksi alat-alat untuk observasi dalam sebuah aktentas (tas kerja) atau koper sederhana. Koper dan isinya umumnya terbuat dari kardus/karton, menggunakan lem, gunting, dll. Topik ini memungkinkan adanya penelusuran terhadap berbagai instrumen kuno maupun modern lainnya.

Setiap koper yang dibuat sangat bergantung pada kemampuan artistik dan imajinasi masing-masing siswa. Kegiatan ini dapat dengan mudah dimodifikasi serta diterapkan pada siswa sesuai dengan usia dan alat-alat yang memadai.

Secara khusus, koper ini terdiri dari:

- Sebuah penggaris untuk mengukur
- Sudut kuadran sederhana
- Goniometer horizontal
- Sebuah planisfer
- Sebuah peta bulan

- Jam katulistiwa
- Spektroskop

Kita usulkan koper dengan alat-alat yang sangat sederhana. Koper kecil dapat dengan mudah dibawa ke sekolah ataupun selama waktu luang, siap untuk digunakan. Penting untuk membuatnya tidak terlalu besar atau tidak terlalu rapuh (terutama jika digunakan oleh anak-anak kecil). Kita perhatikan bahwa ketepatan pengukuran bukanlah segalanya pada kegiatan ini.

ISI KOPER

Kita tentunya hanya dapat menyimulasikan semua ini di halaman sekolah pada saat musim panas. Ide utamanya adalah untuk berlatih dengan peralatan yang akan kita buat sekarang.

Pertama, kita butuh kardus/karton seperti yang telah kalian terima melalui surel dengan sebuah buku di dalamnya (ini akan menjadi koper nantinya). Pada kotak karton itu perlu dipasang pegangan pada satu sisi yang sempit, sementara sisi yang lebar dibiarkan terbuka. Di dalam kotak ini, kita menemukannya instrumen-instrumen berikut ini:

- Sebuah “**penggaris untuk mengukur sudut**” yang dapat digunakan untuk menunjukkan pada kita jarak angular antara dua bintang. Mudah untuk menggunakan alat ini jika kita tidak bermaksud menunjukkan koordinatnya.
- Sebuah **kuadran sederhana** dapat digunakan untuk menentukan tinggi suatu bintang. Ketika para siswa melihat suatu objek melalui jendela-bidikan, tali yang menggantung akan menunjukkan posisi-sudut relatif terhadap horizon..
- Sebuah **goniometer horizontal** sederhana dapat digunakan untuk menentukan azimuth dari bintang-bintang. Tentunya kita perlu menggunakan kompas sebagai alat penunjuk arah utara-selatan
- Sebuah **planisfer** dengan peta bintang yang telah difotokopi dengan sangat jelas pada suatu piringan dari kertas putih dan sebuah kantong karton dengan ‘lubang’ lintang untuk menyelipkan piringan langit di dalamnya. Dengan memutar piringan ini, kita dapat menemukan tanggal dan waktu yang diinginkan untuk diamati sehingga didapat peta bintang yang sesuai dengan lintang dari ‘lubang’ yang kita gunakan.
- Sebuah **spektroskop** untuk memisahkan cahaya menjadi tujuh warna pembentuknya.
- **Peta bulan** dengan nama-nama lautan dan beberapa kawah yang mudah dikenali melalui lensa binokuler.
- Sebuah **lampu senter** (cahaya merah) untuk memberikan penerangan pada peta sebelum mengamati langsung langit malam. Cahaya putih biasa akan menyulitkan para siswa untuk menyesuaikan dengan kegelapan. Jika para siswa membawa senter biasa pada kopernya, kita perlu menempatkan filter merah pada bagian depan senter. Sejumlah siswa yang menggunakan lampu senter berwarna putih akan menimbulkan banyak polusi cahaya yang akan membuat pengamatan menjadi lebih sulit.

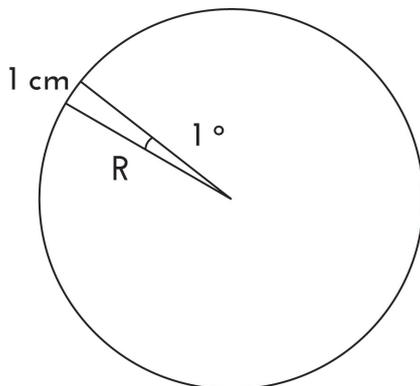
- Sebuah **kompas** untuk menyelaraskan alat-alat yang berbeda.
- Dan jangan lupa sejumlah peralatan yang biasa dibutuhkan pelajar: buku catatan, pulpen, jam, dll

Dengan mengikuti instruksi dan gambar-gambar yang tersedia, kita dapatkan alat-alat dengan cara yang sangat sederhana dan menggunakannya di luar ruangan. Pada siang hari kita akan mengukur, misalnya, posisi (ketinggian) dari pohon, bukit, dsb. menggunakan kuadran. Di malam hari, kita dapat mengukur posisi dari dua buah bintang yang berbeda, atau Bulan –untuk memahami fase-fase pada siklus periodik. Kita yakinkan para siswa untuk mengambil data di sini.

Pada malam pengamatan pertama, sebaiknya menggunakan peta sederhana sebagai persiapan lebih jauh untuk menjadi lebih familiar dengan konstelasi-konstelasi penting. Tentunya peta astronomi sangat akurat namun menurut pengalaman guru, kadang mereka pada mulanya bingung dalam memahami konstelasi bintang tanpa bantuan.

Penggaris untuk mengukur sudut

Dengan memperhatikan perbandingan sederhana, kita dapat membuat instrumen dasar untuk mengukur sudut-sudut dalam segala situasi. Tujuan utama kita adalah untuk menjawab pertanyaan berikut: "Berapakah jarak (dalam radius,) yang Saya butuhkan untuk mendapatkan alat yang mewakili 1° sehingga ekuivalen dengan 1 cm?"



Gambar 1: Radius R ilustrasi untuk mendapatkan alat dengan 1° yang setara dengan 1 cm

Pada Gambar 1 kita dapatkan hubungan antara keliling lingkaran $2\pi R$ dalam sentimeter terhadap 360 derajat, dengan 1 cm terhadap 1°:

$$\frac{2\pi R \text{ cm}}{360^\circ} = \frac{1 \text{ cm}}{1^\circ}$$

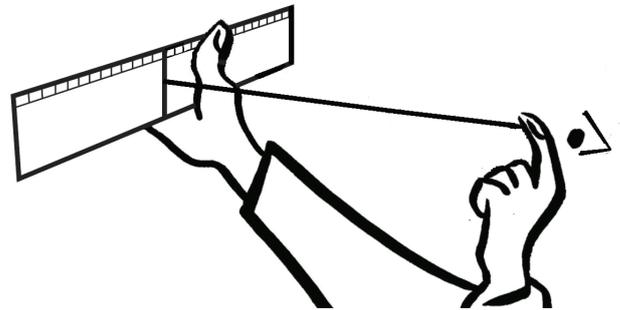
Sehingga,

$$R = \frac{180}{\pi} = 57 \text{ cm}$$

Cara membuat alatnya: Ambil sebuah penggaris dan tandai sebuah benang atau tali yang panjangnya 57 cm. Perhatikan tali tersebut harus kencang.

Cara menggunakannya:

- Kita lihat dengan cara menempelkan ujung tali dekat sekali dengan mata "di pipi, bawah mata"
- Kita dapat mengukur menggunakan penggaris yang kini memiliki sifat 1 cm = 1 derajat jika tali tersebut diregangkan (Gambar 2)



Gambar 2: Menggunakan instrumen (sebuah penggaris dan sehelai tali sepanjang 57 cm), kita dapat mengukur sudut dengan ekuivalensi "1 cm = 1°"

Latihan yang diusulkan:

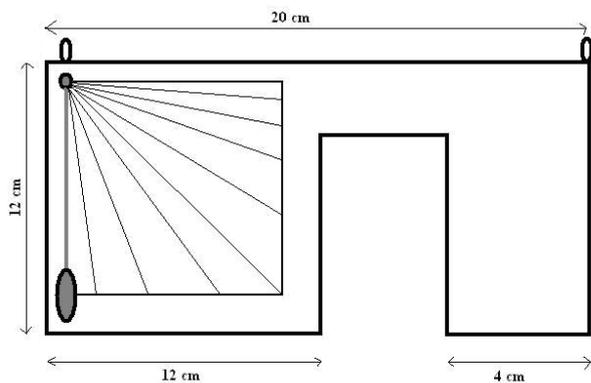
Berapa jarak angular antara dua bintang pada konstelasi yang sama? Gunakan "penggaris untuk mengukur sudut" untuk menghitung jarak (dalam derajat) antara Merak dan Dubne dari Ursa Major.

— Kuadran yang disederhanakan: "pistol" kuadran

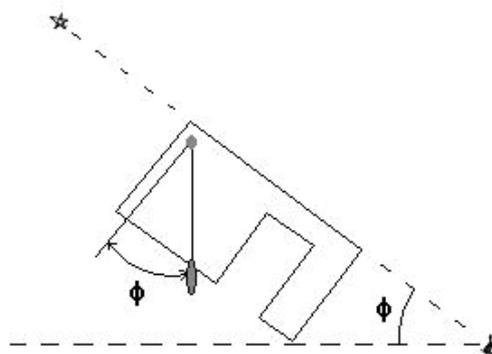
Versi yang sangat sederhana dari kuadran dapat sangat berguna untuk mengukur sudut-sudut. Di sini kita persembahkan versi "pistol" yang ramah pengguna dan pembuatannya disukai para siswa.

Untuk membuatnya: Kita membutuhkan sebuah karton berbentuk persegi panjang (sekitar 12x20 cm). Kita buat lubang persegi panjang seluas yang terdapat di Gambar 3 agar alat dapat dipegang. Tempatkan dua kail bundar pada sisi-sisinya (Gambar 3).

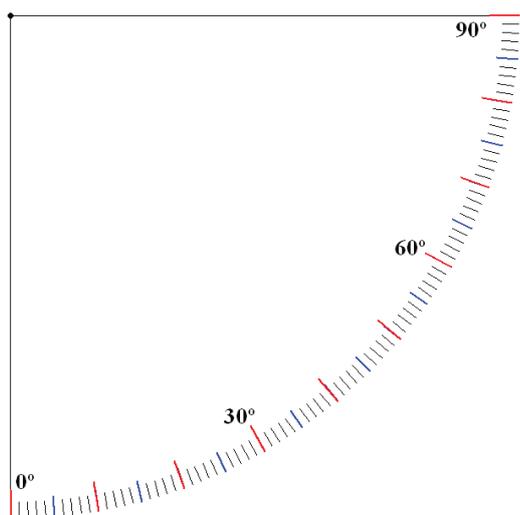
Pada kertas kuadran (Gambar 4) dengan batas sudut-sudut terpampang (Gambar 3) sehingga salah satu kaitnya berada pada posisi 0° (Gambar 3). Kaitkan benang pada ujung atas dan di ujung satunya kaitkan dengan suatu benda kecil sebagai beban pemberat



Gambar 3: 'Pistol' kuadran.



Gambar 5a dan 5b: Menggunakan kuadran jenis 'pistol'.



Gambar 4: Graduasi 90° untuk ditempel di kuadran.

Cara menggunakannya:

Ketika memandang objek melalui dua kail, tali akan menunjukkan posisi sudut dari 0° yang menunjukkan horizon (Gambar 5b.)

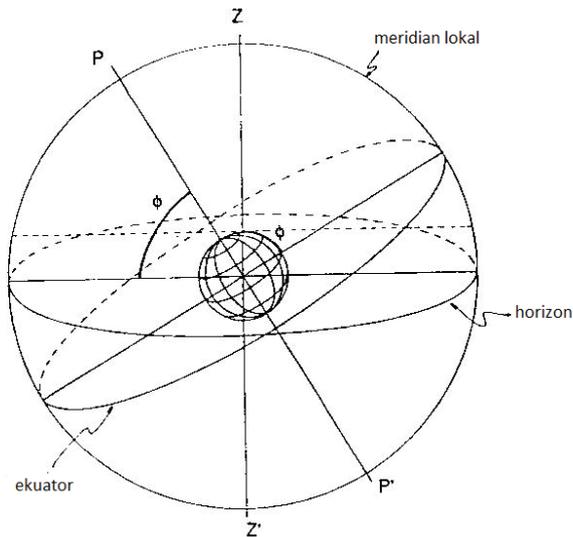
Sebuah sedotan yang dimasukkan pada dua kail akan menjadi alat pengamat yang sempurna untuk mengukur ketinggian Matahari dengan memproyeksikan bayangannya pada sebuah karton putih. PERHATIAN: JANGAN PERNAH MELIHAT MATAHARI SECARA LANGSUNG!!!

Latihan yang diusulkan:

— Bagaimanakah lintang dari sekolah Anda?

Kita akan menggunakan kuadran untuk mengukur ketinggian dari Kutub. Lintang suatu tempat dengan ketinggian Kutub dari tempat itu (Gambar 6).

Kita dapat pula menggunakan kuadran untuk menghitung (di kelas matematika) ketinggian dari sekolah atau bangunan lain yang berdekatan

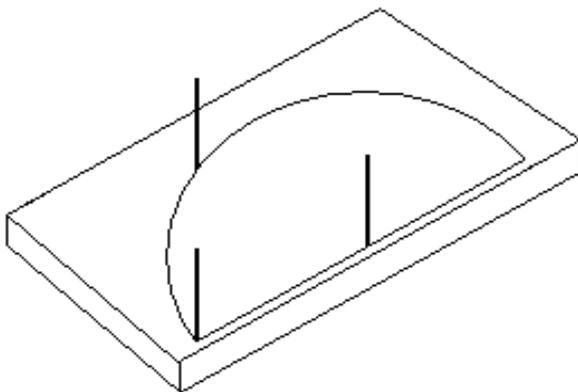


Gambar 6: Lintang suatu tempat Φ sama dengan ketinggian dari Kutub.

Goniometer Horizontal

Versi goniometer yang disederhanakan dapat digunakan untuk mengetahui koordinat kedua yang dibutuhkan dalam menentukan posisi suatu benda langit.

Cara membuatnya: Potong karton berbentuk persegi panjang dengan ukuran sekitar 12x20 cm (Gambar 7a). Kita lekatkan kertas setengah lingkaran (Gambar 8) bersudut sehingga diameter dari setengah lingkaran ini paralel dengan sisi terpanjang dari karton. Dengan menggunakan 3 "jarum" kita dapat menandai dua buah arah pada goniometer (Gambar 7b).

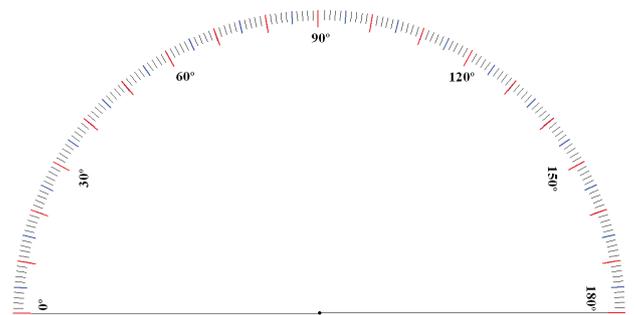


7a



7b

Gambar 7a dan 7b: Menggunakan goniometer horizontal.



Gambar 8: Graduasi 180° untuk ditempelkan pada goniometer horizontal

Cara menggunakannya:

- Jika ingin mengukur azimuth dari bintang, kita arahkan garis asal di ketrans setengah lingkaran tersebut pada arah Utara-Selatan.
- Azimutnya adalah sudut yang terbentuk antara garis sebagai arah Utara-Selatan dengan garis yang melalui pertengahan lingkaran dan arah dari benda langit yang diamati.

Latihan yang diusulkan:

Bagaimana posisi bulan malam ini?

Gunakan kuadran dan goniometer horizontal untuk menghitung ketinggian dan azimuth dari bulan. Untuk mempelajari gerakan bulan malam ini, kita dapat menentukan dua koordinat sebanyak tiga kali setiap satu jam. Dengan cara ini kita dapat membandingkan pergerakan bulan terhadap bintang-bintang di langit.

Planisfer

Kita menggunakan peta bintang yang bergantung pada lintang— untuk memahami konstelasi. Kita buat satu alat, namun lebih baik bila membuatnya lebih dari satu.

Cara membentuk planisfer: Kita akan menggunakan fotokopi dari konstelasi langit pada sebuah piringan "putih" dan akan menempatkannya pada pegangan yang disesuaikan dengan lintang Anda yang dekat dengan ekuator.

Belahan Bumi Utara

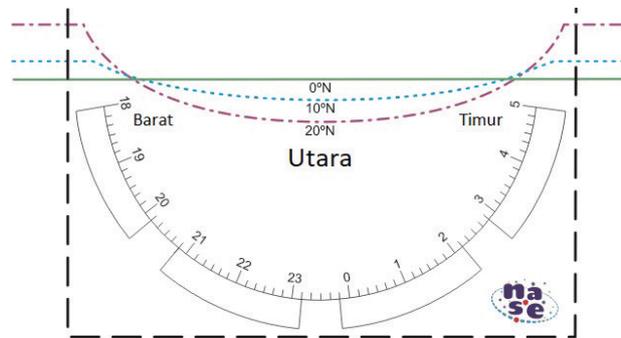
Untuk daerah yang berada pada belahan bumi bagian utara dengan garis lintang antara 0 sampai 20 derajat, Anda perlu menyiapkan dua planisfer, satu untuk masing-masing horizon. Untuk membuat horizon utara, kita potong jendela Gambar 9a menelusuri garis yang kontinu sesuai dengan derajat lintangnya, kemudian melipatnya sesuai garis putus-putus sehingga terbentuk suatu kantong. Kita akan menempatkan peta bintang di Gambar 10a ke dalam kantong tersebut. Sekarang kita punya planisfer untuk horizon utara. Kita lakukan hal yang sama untuk membuat planisfer horizon selatan. Gunting dan tempel, seperti sebelumnya Gambar 9b, lalu letakkan ke dalam kantong-peta-bintang pada Gambar 10a. Kita akan menggunakan planisfer saat mengamati horizon utara atau selatan.

Ketika kita hendak melakukan pengamatan di belahan Bumi bagian utara dengan lintang antara 30 sampai 70 derajat, cukup dengan menggantung gambar 9a menelusuri garis tegas dan melipat sesuai dengan garis putus-putus untuk mendapatkan sebuah kantong yang nantinya sebagai wadah lingkaran peta bintang yang dipotong di atas (Gambar 10a).

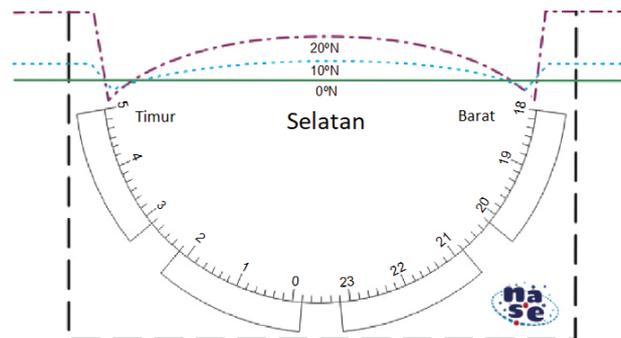
Belahan Bumi Selatan

Untuk daerah yang berada pada belahan bumi bagian utara dengan garis lintang antara 0 sampai 20 derajat, Anda perlu menyiapkan dua planisfer, satu untuk masing-masing horizon. Mula-mula kita bentuk horizon utara. Kita gunting jendela Gambar 9c sesuai dengan garis tegas sesuai dengan derajat lintangnya, kemudian melipatnya sesuai garis putus-putus sehingga terbentuk suatu kantong. Kita akan menempatkan peta bintang di Gambar 10b ke dalam kantong tersebut. Dengan demikian kita punya planisfer untuk horizon utara. Kita lakukan hal yang sama untuk membuat planisfer horizon selatan. Gunting dan tempel, seperti sebelumnya Gambar 9d, lalu letakkan pada dalam kantong-peta-bintang pada Gambar 10b. Kita akan gunakan kedua planisfer ini sebagaimana kita memandang belahan bumi utara maupun selatan.

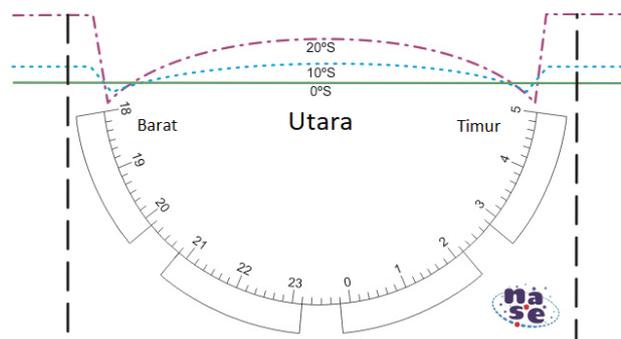
Ketika kita hendak melakukan pengamatan di belahan bumi bagian selatan dengan lintang antara 30 sampai 70 derajat, cukup dengan menggantung jendela Gambar 9f dan melipat sesuai dengan garis putus-putus untuk mendapatkan sebuah kantong yang nantinya sebagai wadah lingkaran peta bintang yang dipotong di atas (Gambar 10b).



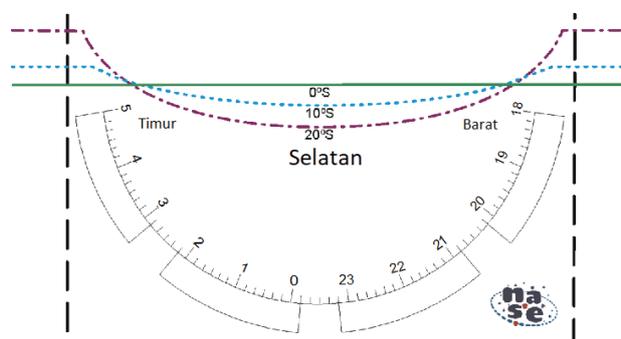
Gambar 9a: Kantong untuk horizon utara di belahan bumi bagian utara (lintang utara 0,10°, dan 20°).



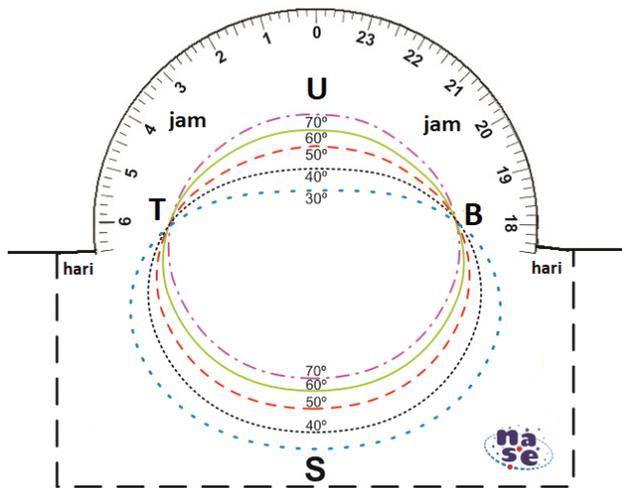
Gambar 9b: Kantong untuk horizon selatan di belahan bumi bagian utara (lintang utara 0,10°, dan 20°).



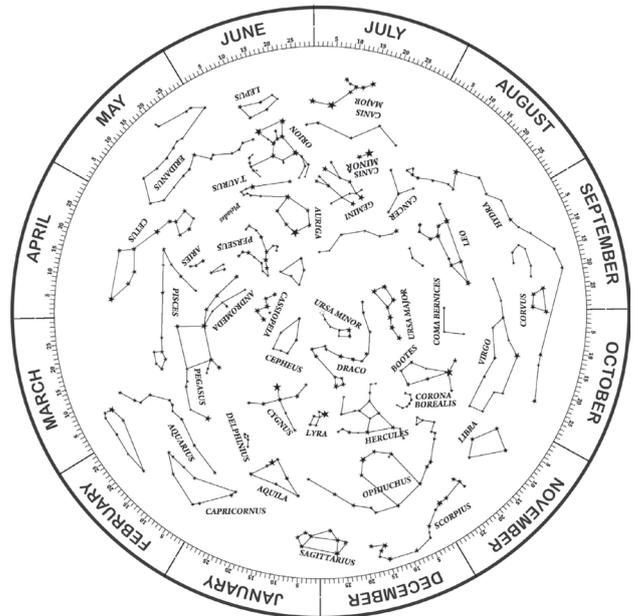
Gambar 9c: Kantong untuk horizon utara di belahan bumi bagian selatan (lintang selatan 0,10°, dan 20°).



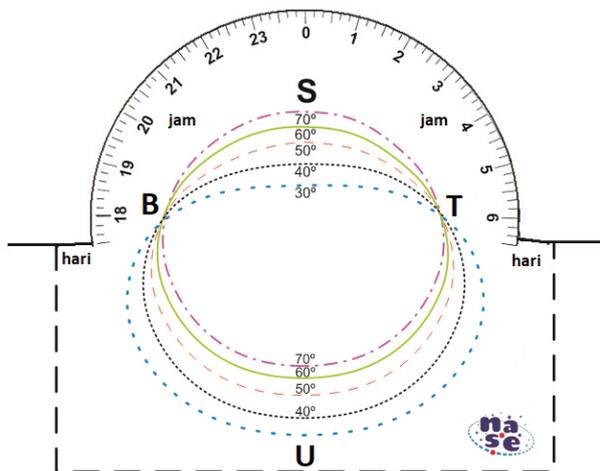
Gambar 9d: Kantong untuk horizon selatan di belahan bumi bagian selatan (lintang utara 0,10°, dan 20°).



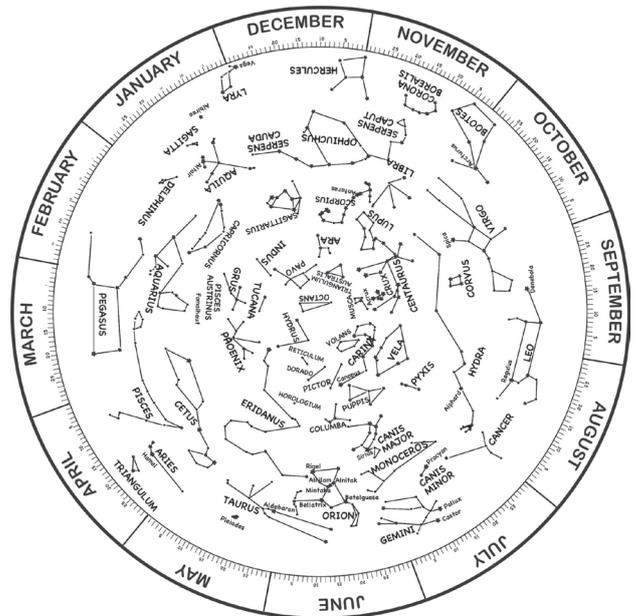
Gambar 9e: Kantong untuk kedua horizon di belahan bumi bagian utara (lintang utara 30°, 40°, 50°, 60°, dan 70°).



Gambar 10a: Pringan atau peta bintang yang ditempatkan ke dalam kantong belahan bumi utara.



Gambar 9f: Kantong untuk kedua horizon di belahan bumi bagian selatan (lintang selatan 30°, 40°, 50°, 60°, dan 70°)



Gambar 10b: Pringan atau peta bintang yang ditempatkan ke dalam kantong belahan bumi selatan.

Cara menggunakannya:

- Tempatkan tanggal ketika kita akan melihat sesuai dengan waktu pengamatan dengan memutar piringan bintang-bintang dan menggunakan peta dunia untuk melihat langit di arah yang sesuai. Bagian langit yang dapat dilihat oleh mata ditunjukkan oleh planisfer ini.
- Catatan: Sebuah planisfer digunakan sebagai payung, ini adalah peta langit dan kita letakkan di atas kepala untuk menunjukkan konstelasinya.

Latihan yang diusulkan:

Langit mana yang kita lihat malam ini?

Dengan menggunakan planisfer, kita membuatnya sesuai dengan lintang sekolah kita, putar piringan bintang-bintang sehingga tanggal hari ini bertepatan dengan waktu pengamatan yang direncanakan.

Perhatikan bahwa planisfer ini adalah “peta bintang” dan kita perlu mengangkatnya ke atas kepala “seperti payung” (ini bukan peta kota kita!)

Spektroskopi

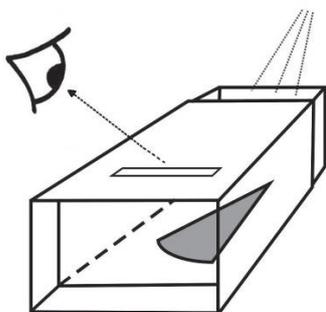
Dengan mengarahkan cahaya matahari melalui instrumen ini, siswa akan dapat mem-visualisasikan dekomposisi spektral dari cahaya. Ini adalah cara sederhana untuk para siswa mengamati spektrum bintang dengan alat yang mereka buat sendiri.

Cara membuat spektroskopi: Cat bagian dalam dari kotak korek api yang besar (ukuran korek api yang biasa digunakan di dapur). Potong melintang (Gambar 11b) sepanjang pengamat dapat mengamati spektrumnya. Potong CD yang telah rusak (atau yang sudah tidak digunakan lagi) menjadi 8 potongan yang sama besar, dan letakkan satu bagiannya ke dalam dasar kotak korek api, dengan bagian rekaman CD menghadap ke atas. Tutup kotak tersebut, sisakan hanya sebagian kecil yang terbuka, yaitu pada sisi yang berseberangan dengan celah untuk mengamati.

Bagaimana cara menggunakannya?

Arahkan kotak korek api sehingga matahari menyorot ke bawah melalui celah terbuka dan amati melalui celah pengamatan (Gambar 11a).

- Di dalam kotak korek api, kita akan melihat cahaya matahari yang terpecah menjadi berbagai warna spektrum



Gambar 11a dan 11b: Bagaimana menggunakan spektroskop

Latihan yang diusulkan:

Bandingkan spektrum matahari dengan pendar cahaya atau lampu lain yang ada di sekolah. Kita akan dapat mengamati variasi spektrum yang tampak tergantung pada tipe lampu yang sedang kita lihat.

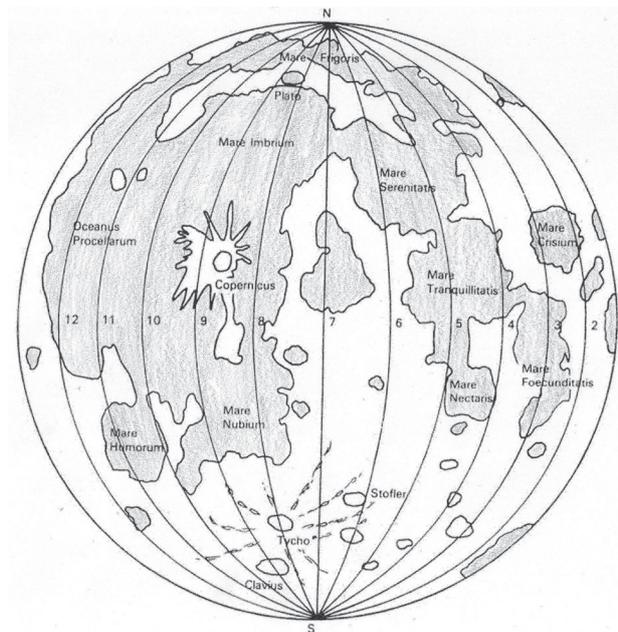
Peta Bulan

Akan bagus jika memasukkan peta bulan versi sederhana yang memuat nama-nama lautan dan beberapa kawah yang dapat dilihat melalui lensa binokuler atau teleskop kecil, ke dalam akntentas kita.

Untuk membuatnya: Anda membutuhkan selembar karton persegi (sekitar 20x20 cm) (gambar 12 atau 13).

Bagaimana cara menggunakannya?:

- Perlu diketahui bahwa orientasi akan berubah tergantung pada apakah Anda menggunakan mata telanjang, jika Anda menggunakan teropong atau teleskop (gambar terbalik), dan apakah Anda menonton dari Belahan Utara atau Selatan. Cara termudah untuk memulai adalah dengan mengidentifikasi lautan, memverifikasi bahwa posisinya benar dan kemudian terus mengidentifikasi fitur-fitur bulan lainnya.



Gambar 12: Skematik peta bulan.



Gambar 13: Peta Bulan yang sederhana

Latihan yang disarankan:

Manakah kawah Tycho? Lihat ke arah bulan ketika bulan pada fase hampir purnama (lebih dari fase bulan setengah) dan identifikasi pada zona tengah: kawah dengan sistem cahaya yang besar (garis-garis yang meninggalkan kawah menuju ke seluruh arah melintasi permukaan satelit

Mengatur Aktentas

Letakkan tas kertas dengan sisi lembaran bagian atasnya terbuka (Gambar 14) untuk menyimpan planisfer, peta bulan, jam matahari, dll.

Di bagian dalam kotak, letakkan alat-alat sedemikian hingga alat tersebut tidak mudah bergeser, menggunakan klip, pin, dan ikat pinggang kecil. Sekrup dari kuadran harus diletakkan di tengah sebab koper ini mengandung alat-alat yang rapuh sehingga akan seimbang ketika memegangnya. Beberapa siswa disarankan untuk menempelkan daftar alat-alat yang termuat di dalam koper, pada bagian luar koper sehingga kita yakin telah mengumpulkan seluruhnya di akhir kegiatan. Sebagai tambahan, tentunya, beri label dengan nama kita dan hias sesuai dengan keinginan, agar membedakannya dengan koper siswa lainnya.



Gambar 14: Koper

KESIMPULAN

Mengamati langit bergerak sepanjang malan, sepanjang hari, dan sepanjang tahun adalah suatu keharusan untuk seorang astronom muda. Dengan proyek semacam ini, siswa akan dapat:

- Memperoleh rasa percaya diri dalam pengukuran;
- Bertanggung jawab terhadap alat-alat mereka sendiri;
- Mengembangkan kreatifitas mereka dan kemampuan membuat pekerjaan tangan;
- Memahami pentingnya pengambilan data secara sistematis;
- Memfasilitasi pemahaman terhadap alat-alat yang lebih canggih;
- Mengetahui pentingnya pengamatan dengan mata telanjang, dulu dan sekarang.

PUSTAKA

- Palci di Suni, C., First Aid Kit. *What is necessary for a good astronomer to do an Observation in any moment?*, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 99, 116, Barcelona, 2005.
- Palci di Suni, C., Ros, R.M., Viñuales, E., Dahringer, F., *Equipo de Astronomía para jóvenes astrónomos*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Vol. 2, 54, 68, Barcelona, 2006.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.

SPEKTRUM MATAHARI DAN BINTIK MATAHARI

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno

International Astronomical Union, Escola Secundária de Loulé (Portugal), National Technological University (Argentina), Retamar School (Spain)

Penerjemah: Vico Luthfi Ipmawan

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Lokakarya ini meliputi pendekatan teoretis tentang spektrum cahaya Matahari yang dapat diaplikasikan di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Aktivitas ini juga cocok untuk siswa Sekolah Dasar (SD) dan Sekolah Menengah Pertama (SMP).

Matahari merupakan sumber dari hampir semua panjang gelombang radiasi. Atmosfer kita memiliki penyerapan yang tinggi untuk hampir semua panjang gelombang tak tampak. Tetapi, kita hanya akan fokus pada eksperimen spektrum tampak, yang mana dalam kehidupan sehari-hari siswa berinteraksi dengan spektrum tersebut. Untuk aktivitas mengenai panjang gelombang tidak tampak, dapat dilihat pada lokakarya yang berkaitan.

Pertama, kita akan mempresentasikan latar belakang teoretis yang diikuti oleh demonstrasi eksperimen dari semua konsep yang dikembangkan. Aktivitas ini merupakan eksperimen sederhana yang mana guru dapat mengerjakan ulang di kelas, memperkenalkan topik, seperti polarisasi, ekstingsi, radiasi benda hitam, spektrum kontinu, spektrum emisi, spektrum absorpsi (contoh, cahaya Matahari) dan garis-garis Fraunhofer.

Kita juga mendiskusikan perbedaan antara area umum tempat keluarnya materi dari Matahari dan emisi bintik Matahari. Sebagai tambahan, kita membahas bukti dari rotasi Matahari dan bagaimana konsep ini dapat digunakan dalam proyek sekolah.

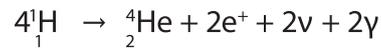
TUJUAN

- Memahami apa itu spektrum Matahari
- Memahami spektrum cahaya Matahari
- Memahami apa itu bintik Matahari
- Memahami signifikansi histori dari bintik Matahari dan hasil kerja Galileo pada rotasi Matahari
- Memahami beberapa karakteristik cahaya, seperti polarisasi, dispersi, dan lain-lain

RADIASI MATAHARI

Energi Matahari dihasilkan di dalam Matahari pada daerah yang disebut inti yang mana temperaturnya mencapai 15

juta derajat dan tekanan yang sangat tinggi. Kondisi tekanan dan temperatur biasanya memungkinkan untuk terjadinya reaksi nuklir. Pada reaksi utama nuklir yang terjadi di dalam inti Matahari, empat proton (inti hidrogen) ditransformasikan menjadi partikel alfa (inti helium) dan menghasilkan dua positron, dua neutron dan dua foton gamma yang merujuk pada persamaan

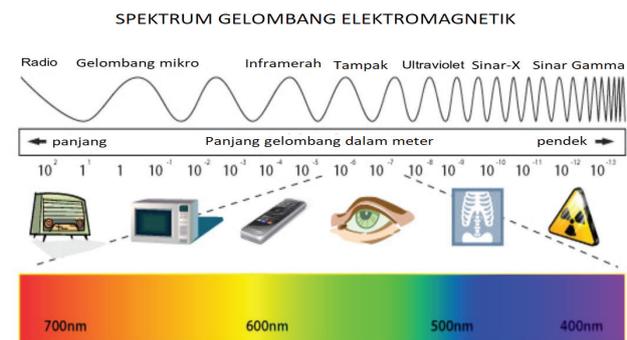


Massa yang dihasilkan kurang dari massa empat proton yang dijumlahkan. Massa yang hilang, berdasarkan persamaan yang dihasilkan oleh Einstein, ditransformasikan kedalam energi:

$$E = m c^2$$

Setiap detiknya 600 juta ton hidrogen berubah menjadi helium, tetapi ada kehilangan massa 4 sampai 5 juta ton yang dikonversikan menjadi energi. Meskipun kehilangan ini mungkin terlihat sangat besar, tetapi massa Matahari akan bertahan sampai milyaran tahun. Energi yang diproduksi di dalam inti akan mengalami perjalanan yang panjang untuk mencapai permukaan Matahari.

Setelah diemisikan oleh Matahari, energi merambat melewati ruang angkasa dengan kecepatan 299,793 km/s dalam bentuk radiasi elektromagnetik.



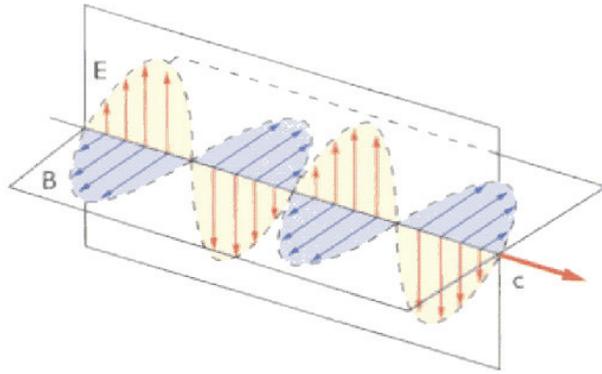
Gambar 1. Spektrum Matahari

Radiasi elektromagnetik memiliki panjang gelombang atau frekuensi yang dikelompokkan menjadi beberapa macam, seperti pada gambar 1.

Hubungan frekuensi ν , panjang gelombang λ , dan kelajuan cahaya diekspresikan dalam persamaan

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Meskipun Matahari merupakan sumber utama dari banyak panjang gelombang cahaya, kita akan lebih banyak melakukan pendekatan terhadap penggunaan spektrum tampak. Kecuali untuk frekuensi radio dan sebagian kecil frekuensi pada inframerah atau ultraungu, panjang gelombang cahaya tampak tidak memerlukan alat canggih untuk melihatnya karena atmosfer kita dapat ditembus oleh cahaya tampak (gambar 3). Sehingga, cahaya tampak sangat bagus untuk dijadikan eksperimen di dalam kelas.



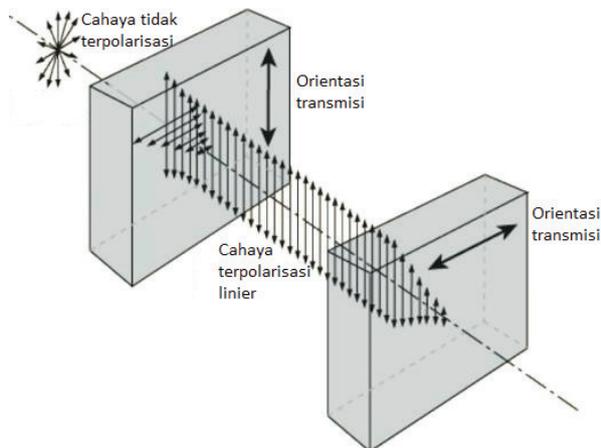
Gambar 2. Cahaya Terpolarisasi

POLARISASI CAHAYA

Radiasi elektromagnetik sempurna, yang terpolarisasi secara linier, memiliki gambaran seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.

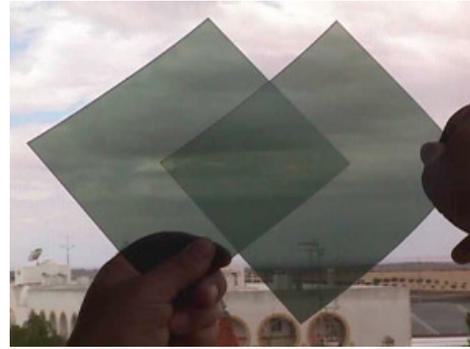
Cahaya Matahari tidak mempunyai arah yang istimewa dalam getarannya, tetapi dapat dipolarisasikan dengan cara merefleksikan pada sebuah sudut yang ditentukan atau dilewatkan pada suatu filter yang dinamakan polarisator.

Cahaya yang melewati salah satu dari beberapa filter (gambar 3), bergetar hanya pada satu bidang. Jika kita menambahkan filter kedua, akan terjadi dua hal: saat dua filter sejajar orientasi polarisasinya, cahaya melewati keduanya (gambar 4a), tetapi jika keduanya saling tegak lurus dalam orientasi polarisasinya, cahaya yang melewati filter pertama akan diblok oleh filter kedua (gambar 3) dan filter akan menjadi tidak tembus pandang (gambar 4b).

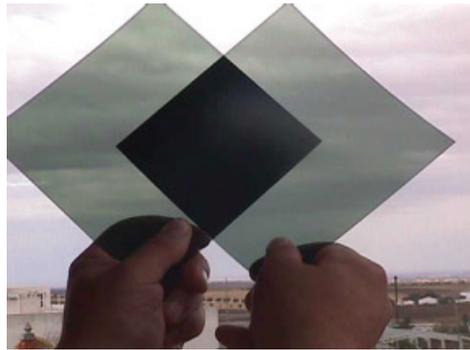


Gambar 3. Saat dua filter memiliki arah yang tegak lurus, cahaya yang melewati filter yang pertama akan diblok oleh filter yang kedua

Banyak kacamata Matahari terpolarisasi untuk menyaring cahaya yang dipantulkan, contohnya cahaya dari pantulan salju dan laut yang biasanya terpolarisasi (gambar 5a dan 5b). Filter polarisasi juga digunakan dalam fotografi dan dengan filter tersebut pantulan cahaya hilang sehingga langit akan tampak lebih gelap.



Gambar 4a. Jika filter memiliki orientasi yang sama, cahaya akan dapat melewati filter tersebut



Gambar 4b. Jika salah satu filter dirotasikan 90°, maka cahaya diblok oleh filter tersebut



5a



5b

Gambar 5a dan 5b. Cahaya yang terpantulkan, difoto dengan dan tanpa filter polarisasi

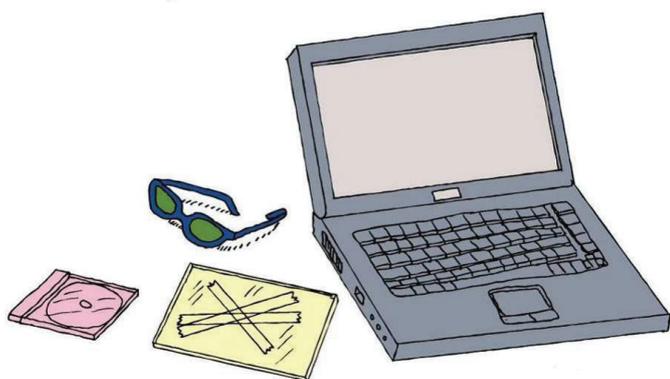
Hampir semua sistem sinema 3 Dimensi (3D) merekam sebuah film dengan dua kamera, yang terpisah jarak selebar mata manusia. Sehingga, di dalam bioskop film tersebut ditunjukkan oleh dua proyektor yang menggunakan cahaya polarisasi dengan arah yang tegak lurus. Penonton menggunakan kacamata khusus yang memiliki berbagai filter polarisasi dengan arah tegak lurus. Hal ini berarti setiap mata hanya melihat satu dari dua gambar proyektor dan pada akhirnya penonton melihat film tersebut dalam bentuk 3D.

KEGIATAN 1: POLARISASI CAHAYA

Untuk membuat filter polarisasi, potong bagian tengah kacamata 3D tanpa warna, (bagian penyangga hidung) sehingga kita dapat melakukan aktivitas seperti dalam gambar 4a dan 4b. Kita juga dapat menggunakan dua pasang kacamata 3D tanpa warna dan mengubah arahnya untuk menunjukkan fenomena polarisasi sehingga kita tidak perlu memotong kacamata menjadi dua bagian.

Banyak kacamata Matahari memiliki polarisasi untuk memfilter cahaya. Layar komputer TFT dan televisi (bukan plasma) mengeluarkan cahaya yang terpolarisasi. Kita dapat mengecek keduanya dengan melihat pada layar dengan memakai kacamata Matahari dan menggeleng-gelengkan kepala, jika cahaya tersebut terpolarisasi, saat melihat dalam sudut tertentu layar akan terlihat gelap.

Ada beberapa jenis plastik dan gelas yang mempengaruhi cahaya yang terpolarisasi saat melewatinya, hal ini bergantung pada ketebalan dan komposisi. Jika kita melihatnya dengan kacamata Matahari yang terpolarisasi, kita akan melihat cahaya dengan warna yang berbeda.



Gambar 6. Cahaya dari layar TFT komputer merupakan cahaya yang terpolarisasi, dan piringan rekaman Compact Disk (CD) merotasikan sudut polarisasinya. Warna-warna akan terlihat saat kita menggunakan kacamata Matahari yang terpolarisasi.

Tempelkan beberapa potong selotip pada sepotong kaca (contohnya bisa diambil dari kerangka foto) sehingga sebagian area dari tiga lapisan selotip saling menumpuk masing-masing, dalam area lain dua potongan selotip saling menumpuk dan pada area lain hanya terdapat satu potong selotip

(gambar 6). Pada televisi atau komputer yang berlayar Liquid Crystal Display (LCD), menampilkan sebuah gambar yang berwarna putih sebagai warna utama, sebagai contoh, dokumen kosong dalam aplikasi pengolah kata. Tempatkan kaca di depan layar dan lihat dengan kacamata Matahari yang terpolarisasi. Jika kita memutar kaca, kita akan melihat selotip tampak berbeda warnanya. Selain dengan kaca, kita dapat menggunakan tempat CD plastik berwarna bening. Jika kita lengkungkan plastik tersebut, kita akan melihat perubahan warna pada plastik jika dilihat dengan cahaya dan filter yang terpolarisasi.

Struktur Matahari secara singkat

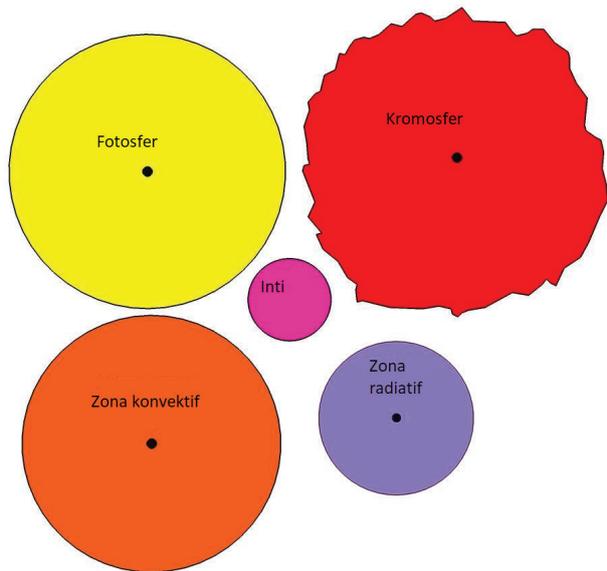
Matahari memiliki struktur yang dapat dibagi menjadi lima bagian:

1. Inti dan zona radioaktif adalah tempat terjadinya reaksi fusi termonuklir. Temperatur di dalam inti bernilai 15 juta Kelvin (K) dan sedikit lebih rendah pada zona radioaktif, yang mana hanya 8 juta K. Energi ditransfer oleh radiasi melalui area terdekat dari inti. Meskipun dikatakan, bahwa ada zona inti dan radioaktif, tetapi sangat sulit untuk menentukan di mana batasnya karena fungsi keduanya saling bercampur.
2. Zona konveksi adalah zona di mana energi ditransportasikan secara konveksi dan memiliki temperatur di bawah 500.000 K. Zona ini terbentang dari 0,3 radius Matahari hingga tepat di bawah fotosfer.
3. Fotosfer, yang mana kita dapat menganggapnya sebagai permukaan Matahari, merupakan sumber dari spektrum absorpsi maupun kontinu. Fotosfer memiliki temperatur berkisar antara 6.400 sampai 4.200 K. Fotosfer terfragmentasi ke dalam sel-sel seluas 1.000 km, yang hanya bertahan dalam beberapa jam saja. Selain itu, secara normal terdapat beberapa area yang lebih dingin ("hanya" bertemperatur 4.200 K), yang terlihat seperti bintang gelap.
4. Kromosfer, terletak di luar dari fotosfer dan memiliki temperatur 4.200 sampai 1 juta K. Kromosfer terlihat seperti filamen vertikal yang menyerupai "padang rumput yang terbakar", dengan *prominensa* (benjolan/*bumps*) dan *flares*.
5. Korona, merupakan sumber dari angin Matahari yang memiliki temperatur antara 1 sampai 2 juta K.

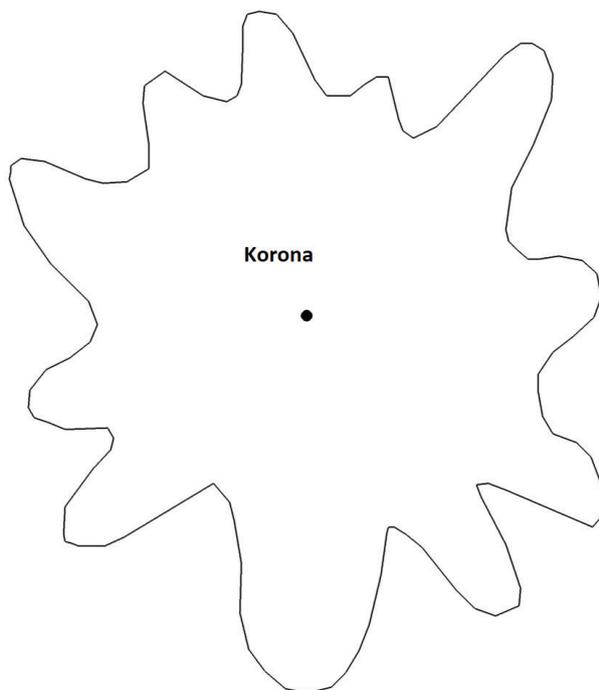
KEGIATAN 2: MODEL SEDERHANA LAPISAN-LAPISAN MATAHARI

Kegiatan ini dapat dilakukan bersama anak kecil. Tujuannya, memotong gambar yang berbeda di bawah ini (gambar 7 dan 8). gambar-gambar tersebut dapat digunting dari lembaran-lembaran kertas dengan warna yang berbeda atau dilukis dengan warna-warna berikut: korona berwarna putih, kromosfer berwarna merah, fotosfer berwarna kuning, zona konveksi berwarna oranye, zona radiatif berwarna biru dan bagian inti berwarna marun.

Terakhir, kita dapat menempelkan satu dan lainnya dengan susunan yang benar (ukuran per bagiannya menunjukkan urutan susunan).



Gambar 7. Pola guntingan bagian-bagian Matahari.



Gambar 8. Pola guntingan korona Matahari

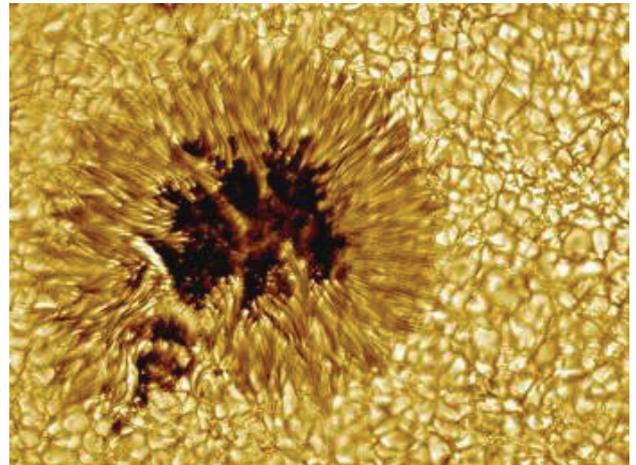
Bintik Matahari

Seringkali, bagian gelap di Matahari, yang disebut sebagai bintik Matahari teramati pada bagian fotosfer. Sebuah bintik Matahari biasanya terdiri dari bagian tengah yang gelap, yang disebut sebagai *umbra*, dikelilingi oleh sebuah area filamen yang terang dan gelap yang memancar keluar dari umbra.

Filamen dari bintik Matahari dikelilingi oleh granula khas dari fotosfer (gambar 9).

Bintik Matahari tampak berwarna hitam jika dilihat dari teleskop kecil, tetapi hal tersebut hanyalah efek kontras. Jika kita melakukan observasi bintik dengan lebih fokus dan mengiso-

lasi dari bagian yang lain, maka bintik tersebut akan lebih terang daripada Bulan purnama. Perbedaan intensitas pada bintik disebabkan karena temperaturnya sekitar $500^{\circ} - 2.000^{\circ} \text{C}$ lebih rendah dari fotosfer sekelilingnya. Bintik Matahari adalah hasil interaksi dari medan magnetik vertikal yang kuat dengan fotosfer.

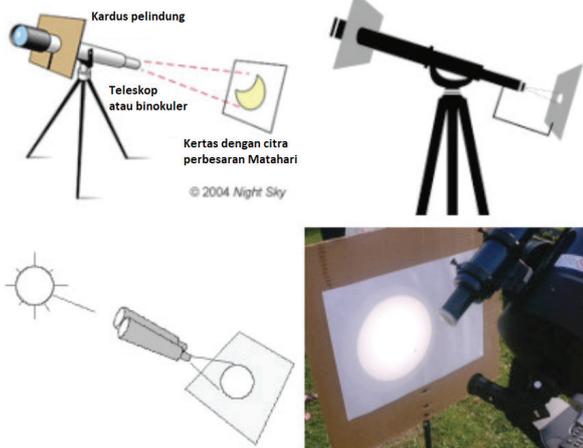


Gambar 9: Citra *close-up* dari bintik Matahari (Vacuum Tower Telescope, NSO, NOAO)

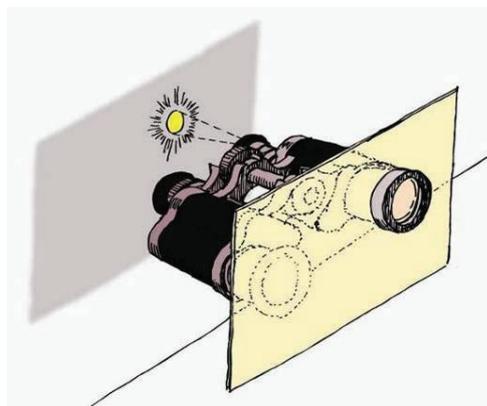
Bintik Matahari memiliki peranan penting dalam sejarahnya, sebab bintik Matahari digunakan oleh Galileo Galilei untuk menentukan periode rotasi Matahari dan memverifikasi, bahwa rotasi tersebut bersifat diferensial, yakni bergantung pada lintang Matahari, misal pada ekuator berputar lebih cepat (25,05 hari periode rotasi) daripada pada kutubnya (34,3 hari periode rotasi).

KEGIATAN 3: MENENTUKAN PERIODE ROTASI MATAHARI

Eksperimen sederhana lain yang dapat kita lakukan di dalam kelas adalah mengukur periode rotasi Matahari menggunakan bintik Matahari. Pada percobaan kali ini, kita harus selalu mengamati pergerakan bintik Matahari dalam beberapa hari untuk mengukur periode rotasi Matahari. Observasi Matahari harus selalu dilakukan dengan melakukan proyeksi melewati sebuah teleskop (gambar 10a) atau melewati sebuah binokuler (gambar 10b). Kita tidak pernah menyarankan untuk melakukan observasi secara langsung atau bahkan menggunakan teleskop atau binokuler, karena hal itu akan membuat kerusakan secara permanen pada mata.



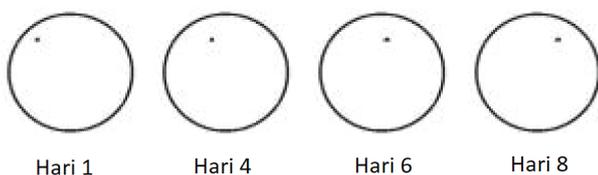
Gambar 10a. Observasi Matahari dengan proyeksi teleskop (jangan sekali-kali melihat Matahari secara langsung).



Gambar 10b. Observasi dengan proyeksi binokuler (jangan pernah melihat Matahari secara langsung).

Ingat kita tidak boleh melihat Matahari secara langsung tanpa peralatan bantuan karena dapat mengakibatkan kerusakan mata yang tidak dapat diperbaiki.

Jika kita mengamati bintang Matahari untuk beberapa hari, pergerakan bintang akan terlihat seperti gambar 11.

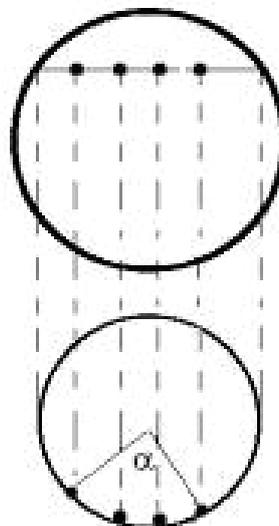


Gambar 11. Perubahan posisi bintang Matahari dalam kurun waktu beberapa hari.

Timpakan beberapa hasil pengamatan dalam sebuah plastik transparan seperti yang terlihat dalam gambar 12. Periode dapat dihitung secara sederhana menggunakan perbandingan berikut:

$$\frac{T}{t} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

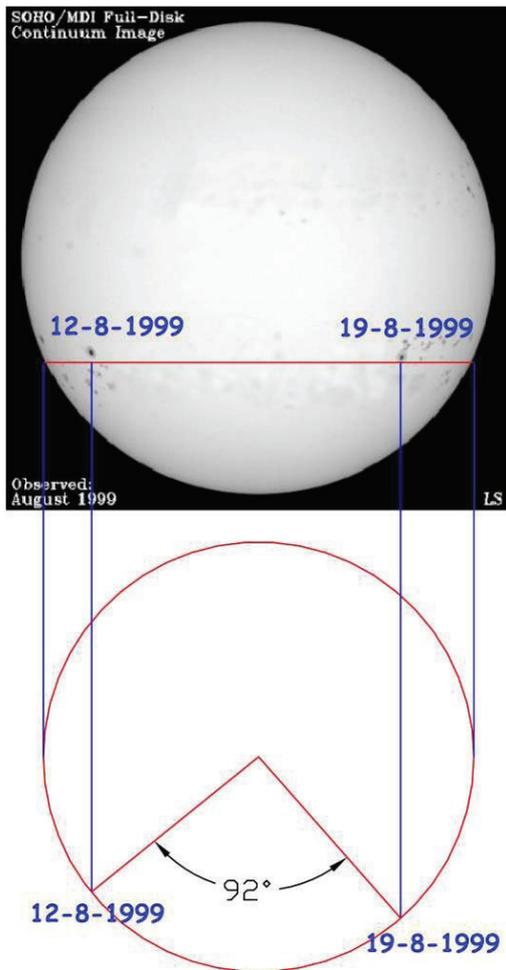
Di mana t mengindikasikan interval waktu antara dua observasi terhadap bintang Matahari yang sama, α merupakan sudut pusat antara perpindahan dua bintang Matahari yang diamati (gambar 12) dan T adalah periode rotasi yang sedang kita cari. Perhitungan ini memberikan keakuratan yang baik.



Gambar 12. Perhitungan rotasi sudut dari bintang Matahari.

Di bawah ini adalah contoh perhitungan dari data sebenarnya: gambar 13 merupakan gabungan dari dua foto, diambil pada tanggal 12 Agustus 1999 dan 19 Agustus 1999. Kita menggambar sebuah lingkaran untuk mewakili Matahari dan menandai sebuah garis dari pusat ke masing-masing bintang. Kita kemudian mengukur sudut antara dua garis dan kita mendapatkan sudut 92° . Oleh karena itu rotasi Matahari adalah:

$$T = \frac{360^\circ \cdot 7 \text{ hari}}{92^\circ} = 27,3 \text{ hari}$$



Gambar 13. Penentuan periode rotasi Matahari.

Radiasi yang datang dari Matahari

Matahari merupakan suatu reaktor nuklir raksasa yang mana memiliki jumlah energi yang sangat besar yang secara kontinu diproduksi dan dipindahkan ke permukaan dalam bentuk foton. Foton adalah sebuah partikel yang bertanggung jawab terhadap radiasi elektromagnetik dan jumlah energi yang dibawa dapat dihitung dengan persamaan

$$E = h \cdot u$$

Di mana E adalah energi foton, h adalah konstanta Planck yang besarnya adalah ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) dan u adalah frekuensi radiasi elektromagnetik yang berkaitan dengan foton. Foton yang dihasilkan oleh Matahari, itulah yang memberikan informasi dari spektrum Matahari.

Total luminositas (atau daya) Matahari sangatlah besar, setiap detik mengeluarkan energi lebih dari triliunan bom atom. Kita dapat membayangkan transmisi energi sebesar itu melalui ruang angkasa seperti sebuah gelembung yang bertambah besar seiring bertambahnya jarak.

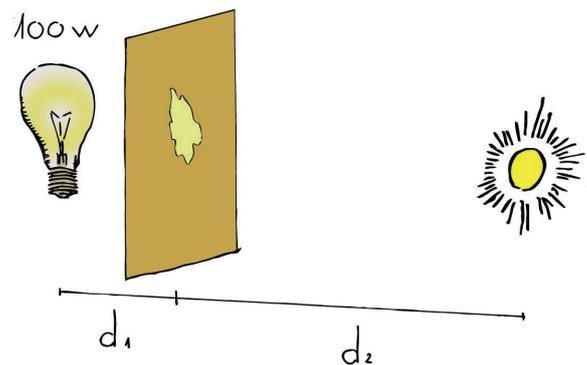
Area dari gelembung tersebut adalah $4\pi R^2$. Jika daya Matahari adalah P , energi yang mencapai luasan satu meter persegi dalam jarak R adalah:

$$E = \frac{P}{4\pi R^2}$$

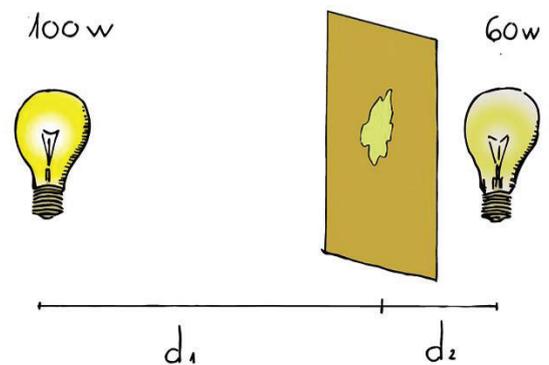
Dengan kata lain, energi yang ditransmisikan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Jika kita tahu jarak benda, maka kita dapat menghitung daya totalnya.

Kegiatan 4: Penentuan luminositas Matahari

Luminositas, atau daya dari Matahari merupakan energi yang dikeluarkan per detik. Matahari merupakan sumber cahaya yang sangat besar. Mari kita hitung dayanya dan membandingkan dengan bohlam berdaya 100 W (gambar 14).



Gambar 14. Perbandingan antara daya Matahari dengan bohlam 100 W.

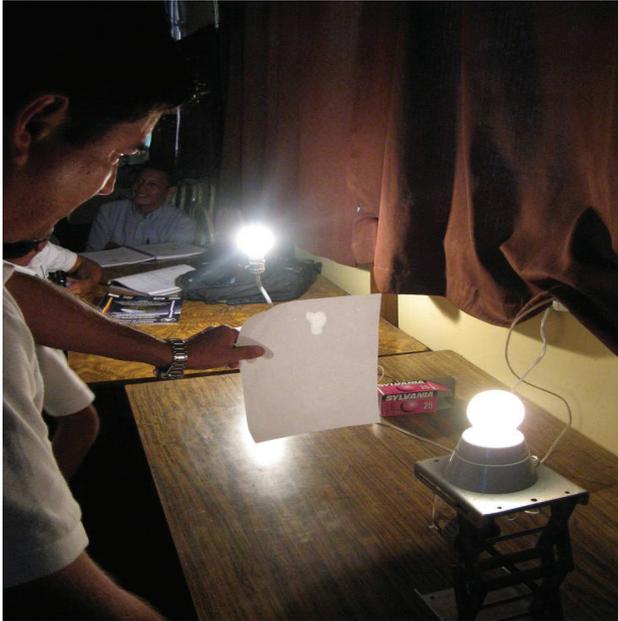


Gambar 15. Jika cahaya yang menimpa kedua sisi kertas sama, maka basahan minyak tidak terlihat.

Kita dapat membangun suatu fotometer yang membuat kita dapat membandingkan tingkat kecerahan dari dua sumber cahaya. Untuk melakukan ini, tuangkan beberapa tetes minyak pada kertas kado (atau kertas biasa). Noda atau basahan minyak yang terbentuk akan sedikit transparan dan basahan ini yang akan menjadi fotometer kita. Dengan meletakkan kertas tersebut di antara kedua sumber cahaya (gambar 14 dan 15), maka jarak dapat diatur sampai basahan pada kertas tidak terlihat lagi, yang berarti bahwa cahaya dan energi yang menimpa kedua sisi kertas tersebut adalah sama.

Pada kasus ini:

$$\frac{100}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{60}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$



Gambar 16. Fotometer dari basahan minyak, di antara dua sumber cahaya.

Pada siang hari yang cerah, bawalah fotometer tersebut keluar ruangan dengan membawa sebuah bohlam 100 W (semakin terang, semakin bagus). Taruhlah fotometer di antara Matahari dan bohlam pada jarak tertentu sehingga basahan juga tidak terlihat. Ukur pada jarak antara kertas dan bohlam sebagai d dalam satuan meter.

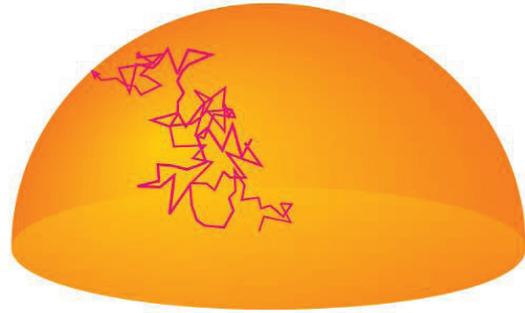
Dengan mengetahui, bahwa jarak Bumi ke Matahari $d_2 = 150.000.000$ km, kita dapat menghitung daya Matahari P dengan menggunakan persamaan sebelumnya:

$$\frac{100 \text{ W}}{d_1^2} = \frac{P_{\text{matahari}}}{d_2^2}$$

Hasilnya akan mendekati luminositas Matahari sebenarnya, yaitu $3,83 \times 10^{26}$ W.

Opasitas

Energi yang terkait dengan foton energi tinggi yang diproduksi di dalam inti Matahari akan memerlukan waktu 1 juta tahun untuk mencapai fotosfer, karena foton diproduksi pada bagian paling dalam dari Matahari yang mana foton kemudian berinteraksi dengan materi yang kerapatannya sangat tinggi. Interaksi antara foton dan materi tersebut terjadi berulang-ulang pada inti dan akan berkurang interaksinya jika mencapai fotosfer. Foton akan melalui lintasan *zig-zag* (gambar 17) mulai dari inti sampai ke bagian paling luar dari Matahari yang mana membutuhkan waktu hingga ribuan tahun.



Copyright © Addison Wesley

Gambar 17. Foton memerlukan waktu 1 juta tahun dari inti ke fotosfer.

Saat radiasi mencapai fotosfer dan kemudian mencapai atmosfer Matahari, ia diradiasikan keluar dengan hampir tidak mengalami interaksi dengan apapun dan dalam sebagian besar panjang gelombang, membentuk spektrum kontinu yang kita lihat dari fotosfer. Itulah mengapa inti dan interior Matahari bersifat opak (*opaque*) pada semua panjang gelombang dan pada atmosfernya bersifat transparan. Dalam astronomi, konsep dari opak dan transparan berbeda dengan yang kita pakai sehari-hari.

Suatu gas dapat menjadi transparan atau opak bergantung kepada bagaimana ia menyerap atau memancarkan foton yang melewati gas tersebut. Contohnya, atmosfer kita transparan untuk panjang gelombang cahaya tampak. Namun, pada pagi yang berkabut, kita tidak dapat melihatnya dalam jumlah yang banyak sehingga itu dapat dikatakan opak.

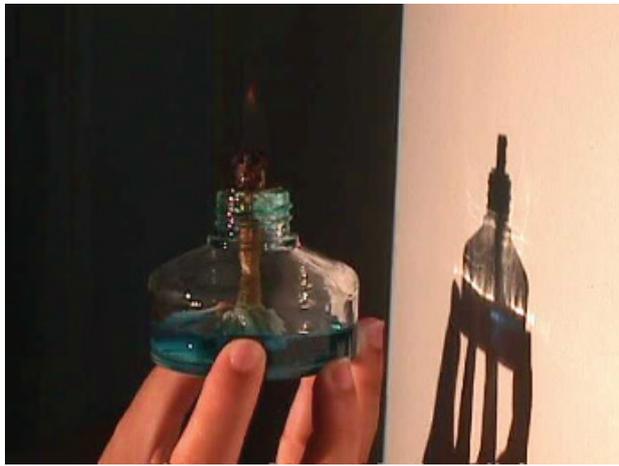
Perlu diperjelas pula, bahwa transparan bukan berarti tidak terlihat. Kobaran api itu transparan untuk semua panjang gelombang OHP (*overhead projector*).

KEGIATAN 5: TRANSPARANSI DAN OPASITAS

Kita dapat menunjukkan konsep ini dengan menggunakan kompor gas atau lilin (kompor lebih baik karena kadangkala lilin menghasilkan asap hitam yang bersifat opak karena pembakaran yang tidak sempurna).

Demonstrasi ini sangatlah mudah. Letakan objek transparan dan opak pada cahaya yang terproyeksi ke dinding oleh OHP dan tanyakan kepada orang lain apakah itu transparan atau opak. Untuk objek-objek yang umum, sebagian besar orang akan mengetahui jawabannya.

Nyala api lilin, nyala pembakar Bunsen atau nyala korek api juga transparan, hal ini mengejutkan para siswa karena melihat nyala api tidak memiliki bayangan di dinding (gambar 11). Kita dapat menjelaskan, bahwa hal ini seperti fotosfer Matahari, yang hampir transparan oleh semua radiasi.



18a

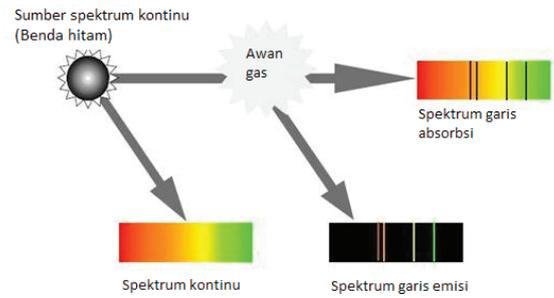


18b

Gambar 18a dan 18b. Nyala Bunsen dan lilin tidak mempunyai bayangan pada dinding. Amati juga, bahwa gelas tidak sepenuhnya transparan.

Spektrum

Tahun 1701, Newton menggunakan prisma untuk pertama kalinya untuk mengurai cahaya Matahari menjadi beberapa komponen warna. Setiap cahaya dapat didispersikan dengan prisma atau kisi difraksi, dan kita akan mendapatkan spektrum. Spektrum dapat dijelaskan dengan menggunakan tiga hukum dari Gustav Kirchhoff dan Robert Bunsen yang ditemukan pada abad ke-19. Tiga hukum itu digambarkan dalam gambar 19.



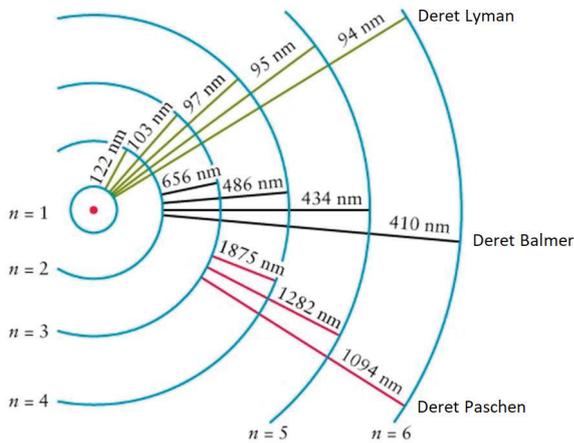
Gambar 19. Hukum Kirchhoff dan Bunsen

- Hukum pertama: Sebuah objek padat yang berpijar menghasilkan cahaya dalam spektrum kontinu
- Hukum kedua: Sebuah gas panas yang rendah kerapatannya menghasilkan cahaya dengan garis spektrum pada panjang gelombang diskrit yang bergantung pada komposisi kimia gas tersebut (spektrum emisi)
- Hukum ketiga: Sebuah objek padat berpijar yang dikelilingi oleh gas bertekanan rendah akan menghasilkan sebuah spektrum kontinu dengan sebuah celah pada panjang gelombang diskrit yang posisinya bergantung pada komposisi gas tersebut, dan polanya tepat dengan hukum kedua (spektrum absorpsi).

Garis emisi gas diakibatkan oleh transisi elektron antara dua tingkat energi, yang mana terjadi saat foton berinteraksi dengan materi. Seperti yang dijelaskan setelahnya oleh Niels Bohr, tingkat energi di atom secara tepat benar-benar terkuantifikasi dan frekuensi yang dihasilkan selalu sama karena perbedaan tingkat energi yang konstan (gambar 20)

Gas yang dingin dapat menyerap energi yang sama dengan yang dikeluarkannya ketika panas, oleh karena itu, jika kita meletakkan gas diantara sumber yang berpijar dan spektroskop, gas menyerap garis yang sama dari sebuah spektrum kontinu dari sumber yang dipancarkan saat gas tersebut dalam kondisi panas, menghasilkan spektrum absorpsi.

Hal ini merupakan fenomena yang terjadi pada atmosfer Matahari. Elemen-elemen kimia yang terkandung dalam gas dari atmosfer Matahari menyerap frekuensi yang berkaitan dengan garis spektrum dari elemen tersebut. Fakta ini telah diverifikasi oleh Joseph Fraunhofer di 1814, dengan demikian garis spektrum Matahari dinamakan dengan garis Fraunhofer dan dicatat dalam tabel berikut ini, berdasarkan desain asli oleh Fraunhofer (1817) tentang huruf garis absorpsi pada spektrum Matahari.



Gambar 20. Deret spektrum untuk emisi atom hidrogen. Transisi yang memungkinkan selalu memiliki jumlah energi yang sama antar tingkatan.

Penting untuk disadari, bahwa dengan menganalisis cahaya yang datang dari Matahari atau bintang, kita mengetahui terbuat dari apa bintang tersebut tanpa harus pergi ke sana. Saat ini spektrum diambil dengan instrumen beresolusi tinggi untuk mendeteksi banyak garis.

Tabel 1. Garis Fraunhofer untuk Matahari

Huruf	Panjang Gelombang (nm)	Sumber Kimia	Rentang Warna
A	7593,7	O ₂ atmosferic	Merah gelap
B	6867,2	O ₂ atmosferico	Merah
C	6562,8	Hidrogen alpha	Merah
D1	5895,9	Neutral Sodiumo	Oranye-merah
D2	5890,0	Neutral Sodium	Kuning
E	5269,6	Neutra Iron	Hijau
F	4861,3	H beta	Cyan
G	4314,2	CH molecular	Biru
H	3968,5	Ionized Calcium	Violet gelap
K	3933,7	Ionized Calcium	Violet gelap

Radiasi Benda Hitam

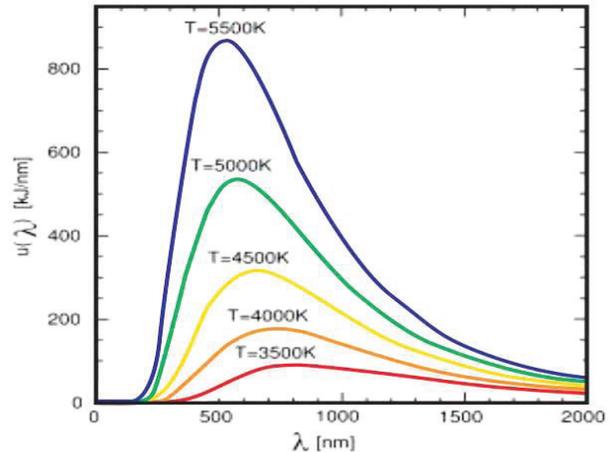
Ketika sebuah logam dipanaskan, ia akan berubah warna menjadi merah. Pada tempat yang gelap, logam dapat terlihat ketika temperaturnya 400° C. Jika temperatur terus bertambah, warna logam akan berubah menjadi oranye, kuning dan bahkan menjadi biru setelah melewati emisi cahaya putih pada temperatur 10.000° C. Sebuah benda opak, logam atau bukan, akan meradiasi dengan karakteristik ini.

Saat sebuah benda hitam (sebuah objek ideal yang tidak memantulkan cahaya) dipanaskan, benda tersebut akan memancarkan berbagai panjang gelombang. Jika kita mengukur intensitas dari radiasi tersebut pada setiap panjang gelombang, itu dapat direpresentasikan sebagai sebuah kurva yang dinamakan kurva Planck. Dalam gambar 21, ditunjukkan kurva untuk berbagai temperatur benda hitam. Kurva memiliki puncak pada panjang gelombang tertentu, yang memberikan kita

warna dominan benda. Panjang gelombang λ maksimum berkaitan dengan temperatur benda berdasarkan Hukum Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$

dengan T adalah temperatur benda. Karena hukum ini, dengan mempelajari radiasi yang datang ke kita dari jarak yang jauh, kita dapat mengetahui temperaturnya tanpa perlu datang ke tempat benda tersebut berada dan mengukurnya secara langsung.

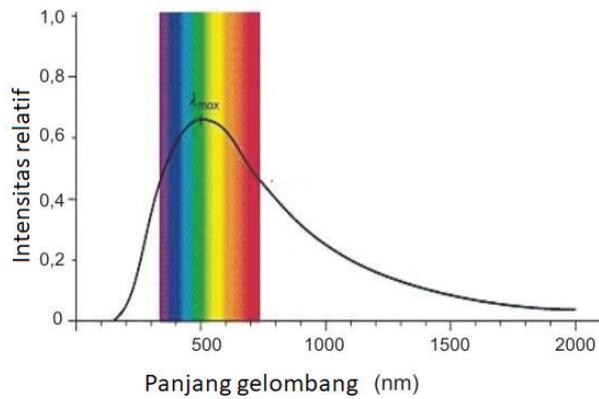


Gambar 21. Kurva Planck untuk benda hitam pada temperatur yang berbeda-beda.

Contoh objek astronomi yang dapat dinamakan benda hitam yang opak adalah bintang-bintang (kecuali bagian atmosfer dan korona), planet, asteroid atau radiasi dari latar belakang gelombang mikro kosmik (*Cosmic Microwave Background*).

Hukum Wien merupakan hukum yang umum untuk emisi termal dari benda yang opak. Sebagai contoh, temperatur tubuh manusia meradiasikan gelombang inframerah dengan emisi maksimum pada panjang gelombang 9,4 mm, seperti yang Hukum Wien nyatakan (menggunakan temperatur 37°C (= 310 K)). Sehingga dalam dunia militer, hal tersebut digunakan untuk membuat alat yang dapat melihat seseorang dalam kegelapan.

Kembali ke Matahari, karena atmosfer Matahari transparan, radiasi benda hitam ditentukan oleh temperatur dari fotosfer, yang mana Matahari menjadi transparan (sekitar 5.800 K) sehingga seharusnya radiasi benda hitamnya tidak melebihi panjang gelombang sekitar 500 nm, seperti yang tergambar pada gambar 22.



Gambar 22. Kurva emisi untuk spektrum kontinu dari Matahari.

Atmosfer kita menyerap radiasi inframerah dan ultraviolet. Menariknya, mata manusia kemudian telah berevolusi untuk hanya melihat bagian cahaya Matahari pada daerah cahaya tampak yang menembus sampai ke permukaan bumi.

Hamburan sinar Matahari

Ketika seberkas cahaya putih menembus sebuah gas yang berisi partikel lebih besar daripada panjang gelombang cahayanya, maka cahaya tidak akan disebarkan dan semua panjang gelombang akan dihamburkan. Hal ini terjadi ketika cahaya Matahari melewati sebuah awan yang berisi titik-titik air berukuran kecil: hal itu terlihat berwarna putih. Hal yang sama terjadi ketika cahaya melewati butiran gula atau garam.

Akan tetapi jika cahaya dihamburkan oleh partikel yang ukurannya sama dengan panjang gelombang (warna) dari foton, foton tersebut akan didispersikan, namun tidak dengan sisanya. Hal ini disebut hamburan Rayleigh.

Pada atmosfer kita, cahaya biru mengalami hamburan lebih banyak daripada cahaya merah, dan foton yang sampai ke kita berasal dari segala arah. Hal ini yang menyebabkan langit kita berwarna biru (gambar 23) alih-alih berwarna hitam, seperti terlihat saat kita pergi keluar angkasa. Pada saat senja, cahaya melewati lebih banyak atmosfer dan panjang gelombangnya memiliki sedikit warna biru, sehingga senja nampak berwarna kuning. Saat Matahari tenggelam, foton merah terdispersi.

Hal ini juga menjadi alasan, bahwa saat cahaya melewati gas dengan ketebalan besar (misal: nebula), ia akan berwarna merah (karena warna biru akan lebih banyak dihamburkan ke segala arah dan hanya berwarna merah yang terlihat secara penuh oleh pengamat). Inilah yang disebut hamburan Rayleigh.



Gambar 23. Warna langit bergantung pada hamburan Rayleigh.

KEGIATAN 6: EKSTINGSI DAN HAMBURAN

Eksperimen ini dilakukan dengan sebuah OHP (atau sumber cahaya tajam lainnya), susu yang sudah dilarutkan, sebuah papan kartu berwarna hitam dan gelas yang panjang. Siapkan susu sekitar 1 tetes pada 50 ml air (ini bagian yang paling penting, kita harus menguji konsentrasi larutan sebelum kelas).

Gunting sebuah lingkaran pada papan kartu berwarna hitam dengan bentuk dan ukuran yang sama dengan bagian bawah gelas. Letakkan gelas kosong pada lingkaran yang terbuka kemudian nyalakan OHP (gambar 24). Cahaya yang sampai ke dinding akan berwarna putih.



Gambar 24a. Pada mulanya, cahaya yang sampai ke dinding berwarna putih.



Gambar 24b. Dengan sedikit susu, cahaya akan berubah warna menjadi kuning.



Gambar 24c. Saat gelas terisi penuh, cahaya yang sampai ke dinding berwarna merah

Isi gelas dengan larutan susu. Cahaya yang akan sampai ke dinding akan berubah warna menjadi merah (gambar 24b dan 24c). Bagian dari gelas menunjukkan cahaya putih kebiru-biruan.

PUSTAKA

- Broman, L, Estalella, R, Ros, R.M. *Experimentos en Astronomía*. Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.
- Costa, A, *Sunlight Spectra*, 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Brieu, 1999.
- Costa, A, *Simple Experiments with the Sun*, 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings, Ed. Rosa Ros, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 1999.
- Dale, A.O., Carrol, B.W, *Modern Stellar Astrophysics*, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
- Ferreira, M., Almeida, G, *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Plátano Ed. Téc., Lisboa, 1996.
- Johnson, P.E., Canterna, R, *Laboratory Experiments For Astronomy*, Saunders College Publishing, Nova Iorque, 1987.
- Lang, K.R, *Sun, Earth & Sky*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1995.
- Levy, D, *Skywatching-The Ultimate Guide to the Universe*, Harper Collins Publishers, London, 1995.
- Moreno, R. *Experimentos para todas las edades*, Editorial Rialp, Madrid, 2008
- Rybicki, G.B., Lightman, A.P, *Radiative Processes in Astrophysics*, John Wiley & Sons, E.U.A, 1979.
- Sousa, A.S, *Propriedades Físicas do Sol*, Ed. ASTRO, Porto, 2000.
- Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.V.P, *Introductory Astronomy and Astrophysics*, 3rd Ed., Saunders College Publishing, Orlando, E.U.A, 1992.

SUMBER INTERNET

- NASA Polar Wind and Geotail Projects, <http://www-istp.gsfc.nasa.gov>.
- Space & astronomy experiments, <http://www.csiro.au/csiro/channel/pchdr.html>
- The Sun, <http://www.astromia.com/solar/sol.htm>
- Nine planets, <http://www.astrored.net/nueveplanetas/solarsystem/sol.html>

KEHIDUPAN BINTANG

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno, Rosa M. Ros

International Astronomical Union, Escola Secundária de Loulé (Portugal), Universidad Tecnológica Nacional-Regional Mendoza (Argentina), Colegio Retamar (Madrid, Spain), Technical University of Catalonia (Barcelona, Spain)

Penerjemah: Nindhita Pratiwi

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RANGKUMAN

Untuk memahami kehidupan bintang, terlebih dahulu kita perlu memahami apa itu bintang, bagaimana kita menghitung jarak bintang dari Bumi, bagaimana bintang berevolusi, dan apa perbedaan antara bintang satu dan lainnya. Melalui percobaan-percobaan sederhana, kita dapat menjelaskan tentang komposisi bintang dan cara membuat beberapa model sederhana kepada para siswa.

TUJUAN

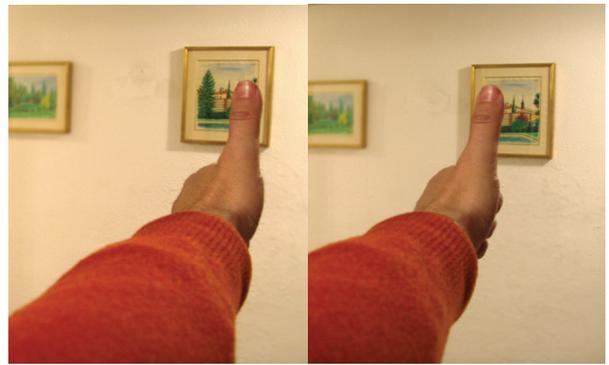
- Untuk memahami perbedaan antara magnitudo semu dan magnitudo mutlak
- Untuk memahami diagram Hertzsprung-Russell dengan membuat diagram warna-magnitudo
- Untuk memahami konsep supernova, bintang neutron, pulsar, dan lubang hitam

AKTIVITAS 1: KONSEP PARALAKS

Paralaks merupakan konsep yang digunakan untuk mengukur jarak di astronomi. Kita akan melakukan aktivitas sederhana yang dapat membantu kita memahami konsep paralaks. Yang harus dilakukan adalah menghadap ke arah dinding (yang berada di dekat lemari, meja, pintu, atau yang memiliki lukisan, foto, dan lain-lain) pada jarak tertentu. Rentangkan tangan di depan dan acungkan jempol secara vertikal (lihat gambar 1a dan 1b).

Pertama, pejamkan mata kiri dan letakkan jari di tengah gambar. Tanpa menggerakkan jari, tutup mata kanan dan buka mata kiri. Maka jari akan bergerak, jari tidak lagi berada di tengah, namun sudah berpindah ke tepi.

Alasan yang sama berlaku ketika kita mengamati langit dari dua kota yang letaknya berjauhan, objek yang dekat seperti Bulan, akan bergeser relatif terhadap bintang latar belakang yang letaknya lebih jauh. Pergeseran ini semakin besar jika jarak dari dua tempat pengamatan semakin jauh. Jarak ini disebut sebagai garis dasar.

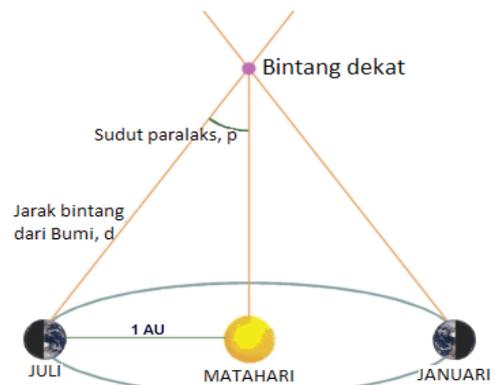


Gambar 1a. Posisikan tanganmu seperti pada gambar, lihat posisi jempolmu terhadap objek latar belakang dengan menggunakan mata kiri (tutup mata kanan). Gambar 1b. Lakukan hal yang sama dengan menggunakan mata kanan (tutup mata kiri).

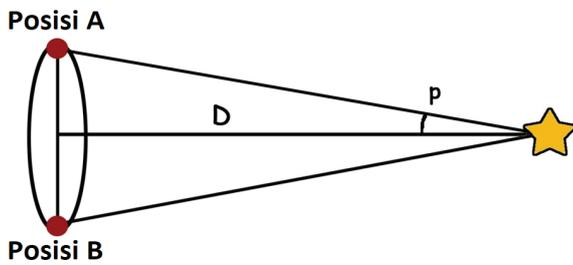
PERHITUNGAN JARAK MENGGUNAKAN PARALAKS

Paralaks merupakan perubahan kenampakan posisi suatu objek ketika dilihat dari lokasi yang berbeda. Posisi dari bintang yang dekat relatif terhadap bintang latar belakang akan terlihat berubah ketika dilihat dari dua lokasi yang berbeda. Maka dari itu kita dapat menentukan jarak dari bintang dekat tersebut.

Paralaks bernilai cukup besar jika diameter orbit Bumi mengelilingi Matahari bernilai maksimum (lihat gambar 2).



Gambar 2. Sudut paralaks (p) adalah pergeseran sudut yang dilihat ketika mengamati sebuah bintang dari dua lokasi yang jaraknya sejauh jarak Bumi-Matahari.



Gambar 3. Dengan mengukur sudut paralaks (p), kita dapat menghitung jarak D .

Sebagai contoh, jika kita mengamati bintang dekat dengan acuan bintang latar belakang dari dua posisi A dan B dari orbit Bumi (gambar 3) yang dipisahkan waktu selama 6 bulan, maka kita dapat menghitung jarak bintang D menggunakan:

$$\tan p = \frac{AB/2}{D}$$

Karena p adalah sudut yang sangat kecil, maka nilai tangen dapat diaproksimasi sebagai sudut yang diukur dalam radian, sehingga:

$$D = \frac{AB/2}{p}$$

Alas dari segitiga $AB/2$ merupakan jarak Bumi-Matahari yakni 150 juta km. Jika kita memiliki paralaks pada sudut p , dan jarak bintang dalam km, maka $D = 150.000.000/p$, dengan sudut p dalam radian. Sebagai contoh, jika sudut p dalam detik busur, maka jarak bintang adalah:

$$\begin{aligned} D &= \frac{150000000}{2\pi/(360\ 60\ 60)} \\ &= 30939720937064 \text{ km} \\ &= 3,26 \text{ tc} \end{aligned}$$

Satuan ini merupakan satuan yang sering dipakai dalam astronomi profesional (tc sama dengan tahun cahaya). Jika anda melihat bintang dengan paralaks 1 detik busur, maka jaraknya adalah 1 parsek (paralaks sekon, pc), $1 \text{ pc} = 3,26$ tahun cahaya. Paralaks yang bernilai kecil menunjukkan jarak bintang yang lebih jauh. Hubungan antara jarak (dalam pc) dan paralaks (dalam detik busur) adalah:

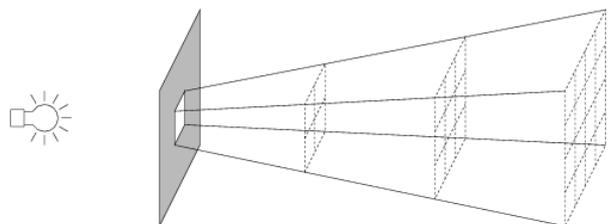
$$d = \frac{1}{p}$$

Kesederhanaan dari persamaan ini merupakan alasan mengapa persamaan ini sering digunakan. Sebagai contoh, bintang terdekat dari kita adalah Proxima Centauri, yang memiliki paralaks 0,76 detik busur, yang artinya memiliki jarak 1,31 pc, sama dengan 4,28 tahun cahaya. Pengamatan paralaks pertama yang dibuat dari sebuah bintang (61 Cygni) dilakukan oleh Bessel pada tahun 1938. Meskipun pada waktu itu dicurigai, bahwa bintangnya sangat jauh sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran jarak secara akurat.

Saat ini kita menggunakan paralaks untuk mengukur jarak bintang yang jaraknya kurang dari 300 tahun cahaya dari kita. Lebih dari itu, sudut paralaks bisa diabaikan, sehingga kita butuh metode lain untuk menentukan jarak. Namun, metode lain ini pada dasarnya berdasarkan pada perbandingan dengan bintang lain yang jaraknya sudah diketahui menggunakan paralaks. Paralaks memberikan dasar untuk metode pengukuran jarak lain di astronomi, tangga jarak kosmik. Paralaks merupakan dasar anak tangga dari tangga penentuan jarak.

AKTIVITAS 2: HUKUM KUADRAT-KEBALIKAN

Percobaan sederhana dapat digunakan untuk memahami hubungan antara luminositas, kecerlangan, dan jarak. Percobaan ini akan menunjukkan, bahwa magnitudo semu atau magnitudo tampak merupakan fungsi dari jarak. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4, anda akan menggunakan bohlam dan sebuah kartu atau kardus dengan sebuah lubang kotak di tengahnya. Kartu dengan lubang di tengahnya diletakkan pada satu sisi dekat lampu. Cahaya lampu kemudian akan memancar ke segala arah. Sejumlah cahaya melewati lubang dan akan menerangi layar yang diletakkan sejajar dengan kartu. Layar memiliki kotak-kotak dengan ukuran yang sama dengan lubang di kartu. Jumlah total dari cahaya yang melewati lubang dan mencapai layar tidak bergantung dengan jarak layar terhadap lubangnya. Meskipun begitu, ketika kita meletakkan layar lebih jauh, sejumlah cahaya yang sama harus melingkupi area yang lebih luas, sehingga konsekuensinya kecerlangan di layar akan meredup. Untuk menyimulasikan sebuah sumber titik dan mengurangi bayangannya, kita juga dapat menggunakan kartu ketiga dengan lubang yang diletakkan sangat dekat dengan lampu. Harap berhati-hati untuk tidak meletakkan kartu terlalu lama dekat dengan lampu karena bisa terbakar.



Gambar 4. Skema Percobaan

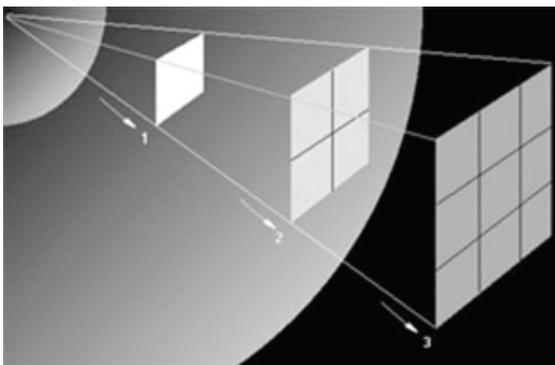
Kita mengamati, bahwa ketika jarak antara layar dan lampu menjadi dua kali lipat lebih jauh, area yang disinari oleh cahaya menjadi empat kali lebih luas. Hal ini mengimplikasikan, bahwa intensitas cahaya (cahaya yang datang per satuan luas) menjadi seperempat dari nilai aslinya. Jika jarak menjadi tiga kali lipat lebih jauh, maka daerah yang disinari akan menjadi sembilan kali lebih luas, sehingga intensitas cahaya akan menjadi sepersembilan dari nilai awalnya. Maka dari itu, kita dapat menyimpulkan, bahwa intensitas memiliki hubungan kebalikan dengan kuadrat dari jarak sumber cahaya. Dengan kata lain, intensitas berbanding terbalik dengan luas daerah yang disinari oleh cahaya. Luas daerah yang dimaksud berupa luas permukaan bola, yaitu $4\pi D^2$.

Sistem Magnitudo

Bayangkan bintang seperti lampu bohlam. Kecerlangannya bergantung dengan daya dari bintang atau lampu dan jaraknya dari kita. Hal ini dapat dibuktikan dengan meletakkan selembar kertas yang arahnya berlawanan dengan lampu: jumlah cahaya yang mencapai kertas bergantung dengan daya lampu dan jarak antara kertas dan lampu. Cahaya dari lampu menyebar secara merata pada sebuah permukaan bola, yang memiliki luas $4\pi R^2$, dengan R merupakan jarak antara dua benda. Perhatikan gambar 5. Jika kita membuat jarak antara lampu dan kertas (R) dua kali lebih besar, maka intensitas yang mencapai kertas bukan menjadi setengahnya, tetapi seperempatnya (daerah di mana cahaya didistribusikan menjadi empat kali lebih besar). Jika jaraknya dijadikan tiga kali lipat, intensitas yang mencapai kertas menjadi sepersembilannya (daerah tempat cahaya jatuh menjadi sembilan kali lebih besar).

Kecerlangan bintang dapat didefinisikan sebagai intensitas (atau aliran) energi yang mencapai suatu luas sebesar satu meter persegi di permukaan Bumi (gambar 5). Jika luminositas (atau daya) bintang adalah L, maka:

$$B = F = \frac{L}{4\pi D^2}$$



Gambar 5. Semakin jauh jarak, maka semakin kecil intensitasnya.

Karena kecerlangan bergantung pada intensitas dan jarak bintang, maka bintang yang sebenarnya redup namun jaraknya dekat, dapat terlihat sama terangnya dengan bintang yang terang namun jaraknya jauh.

Hipparchus dari Samos, pada abad kedua sebelum masehi membuat katalog bintang pertama. Beliau mengklasifikasikan bintang paling terang sebagai bintang bermagnitudo 1, dan bintang paling redup sebagai bintang magnitudo 6. Dia menciptakan sistem pembagian kecerlangan bintang yang hingga saat ini masih dipakai, meskipun sedikit dimodifikasi skalanya agar pengukuran yang dilakukan lebih presisi dibandingkan pengukuran yang dulu dilakukan dengan mata telanjang.

Bintang dengan magnitudo 2 lebih terang dibandingkan dengan bintang magnitudo 3. Terdapat pula bintang yang memiliki magnitudo 0, bahkan terdapat bintang yang memiliki magnitudo negatif, yakni Sirius, yang memiliki magnitudo -1,5. Bahkan Venus memiliki magnitudo lebih terang, yaitu -4, Bulan purnama memiliki magnitudo -13 dan Matahari memiliki magnitudo -26,8.

Nilai ini disebut sebagai magnitudo tampak atau magnitudo semu (m), karena merupakan kecerlangan bintang yang nampak jika dilihat dari Bumi. Skala ini memiliki aturan, bahwa bintang dengan magnitudo 1 akan lebih terang 2,51 kali dibandingkan bintang bermagnitudo 2, dan bintang bermagnitudo 2 lebih terang 2,51 kali dari bintang bermagnitudo 3, dan seterusnya. Hal ini berarti, bahwa jika ada perbedaan 5 magnitudo antara dua bintang akan menunjukkan, bahwa bintang dengan magnitudo yang lebih kecil akan lebih terang 100 kali dibandingkan dengan bintang bermagnitudo lebih besar. Hubungan ini dapat ditulis secara matematis menggunakan persamaan:

$$\frac{B_1}{B_2} = (\sqrt[5]{100})^{m_2 - m_1}$$

atau

$$m_2 - m_1 = 2,5 \log\left(\frac{B_1}{B_2}\right)$$

Pengukuran magnitudo semu (m) bergantung pada fluks cahaya bintang yang masuk ke teleskop. Faktanya, m dihitung dari fluks (F) dan konstanta (C) (yang bergantung pada satuan aliran dan pita pengamatan) melalui persamaan:

$$m = -2.5 \log F + C$$

Persamaan ini menjelaskan, bahwa semakin besar fluks, maka semakin negatif nilai magnitudo bintangnya. Magnitudo mutlak (M) didefinisikan sebagai magnitudo semu (m) jika objek tersebut dilihat pada jarak 10 parsek dari pengamat.

Untuk mengubah magnitudo semu menjadi magnitudo mutlak, maka kita perlu mengetahui jarak bintang tersebut. Kadang-kadang hal ini menjadi masalah karena jarak di astronomi merupakan salah satu parameter yang sulit untuk ditentukan secara akurat. Namun, jika jarak dalam parsek (d) diketahui, maka magnitudo mutlak (M) dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

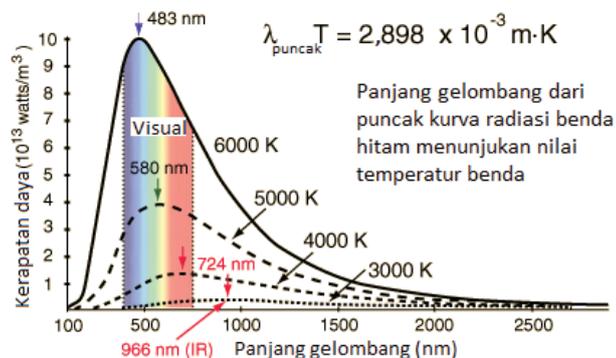
Warna Bintang

Telah diketahui, bahwa bintang memiliki warna yang berbeda-beda. Dengan menggunakan mata telanjang, kita dapat membedakan warna yang berbeda-beda pada bintang, namun perbedaan warna ini akan semakin jelas jika bintang diamati menggunakan binokuler dan fotografi. Bintang diklasifikasikan berdasarkan warnanya; klasifikasi ini yang disebut sebagai tipe spektrum, dan diberi tanda huruf, yakni: O, B, A, F, G, K, dan M. Lihat gambar 6.



Gambar 6. Tipe spektrum berdasarkan warna bintang

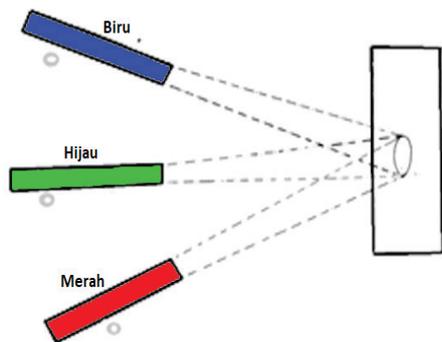
Berdasarkan hukum Wien (gambar 7), bintang dengan intensitas maksimum berada pada daerah cahaya biru yang memiliki temperatur lebih tinggi. Jika intensitas maksimumnya berada pada daerah merah, maka temperaturnya lebih rendah (dingin). Dengan kata lain, warna bintang mengindikasikan temperatur permukaan bintang.



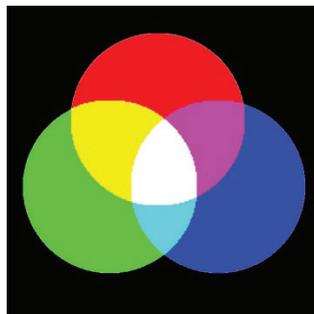
Gambar 7. Jika temperatur meningkat, maka puncak intensitas bintang berpindah dari daerah merah ke biru.

AKTIVITAS 3: WARNA BINTANG

Pertama, kita akan menggunakan lampu bohlam dengan resistor yang bermacam-macam untuk menggambarkan radiasi benda hitam. Dengan meletakkan filter warna di antara lampu dan spektroskopi, para siswa dapat mempelajari panjang gelombang yang dipancarkan oleh lampu yang melewati filter. Dengan membandingkan cahaya ini dengan cahaya langsung dari lampu, siswa dapat mendemonstrasikan, bahwa filter menyerap panjang gelombang tertentu. Kemudian, siswa dapat menggunakan alat yang mirip seperti pada gambar 8a yang memiliki sinar biru, merah, dan hijau, serta dilengkapi dengan potensiometer yang berguna untuk lebih memahami warna bintang. Alat ini dapat dirancang menggunakan lampu, dengan tabung lampunya dibuat dari kertas asturo hitam, dan lampunya diselubungi beberapa lembar filter dengan warna biru, merah, dan hijau. Dengan menggunakan alat ini, kita dapat menganalisis gambar 8b dan mencoba untuk menghasilkan efek kenaikan temperatur bintang. Pada temperatur rendah, bintang hanya mengemisikan cahaya merah dengan jumlah yang signifikan.



8a



8b

Gambar 8a. Alat untuk menjelaskan warna bintang. gambar 8b: Proyeksi untuk menjelaskan warna bintang dan produksi warna putih.

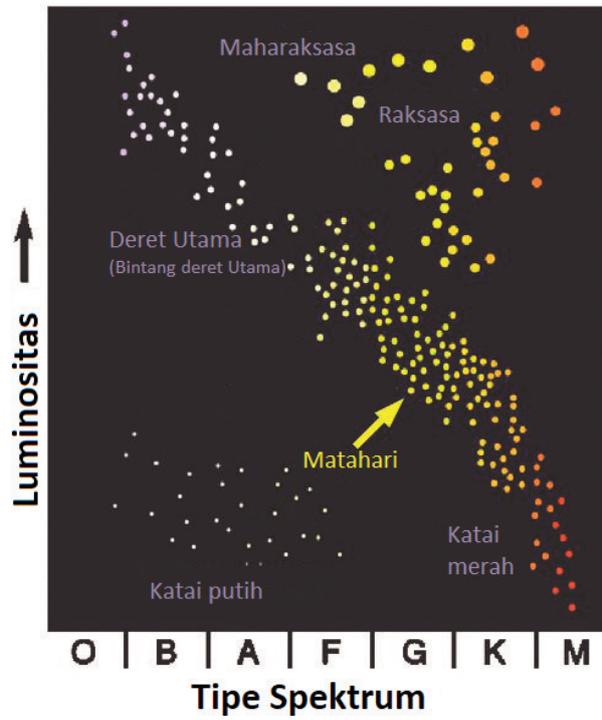
Jika temperaturnya naik, maka akan terdapat pula emisi gelombang yang dapat menembus filter hijau. Ketika kontribusi gelombang yang lebih pendek ini menjadi lebih besar, maka warna bintang akan berubah dari oranye menjadi kuning. Seiring dengan kenaikan temperatur, panjang gelombang yang melewati filter biru juga menjadi dominan sehingga warna bintang akan menjadi putih. Jika intensitas dari gelombang biru semakin bertambah dan menjadi lebih signifikan daripada panjang gelombang lain, maka bintang akan menjadi biru. Untuk menunjukkan langkah terakhir ini, penting untuk menurunkan intensitas dari lampu merah dan hijau jika kita menggunakan daya maksimum dari lampu untuk menghasilkan warna putih.

Bagaimana kita bisa mengetahui bahwa bintang berevolusi?

Bintang dapat diletakkan pada diagram Hertzsprung-Russell (gambar 9), yang merupakan plot antara intensitas (luminositas atau magnitudo mutlak) terhadap temperatur atau warna bintang. Bintang dingin memiliki luminositas lebih rendah (posisinya berada di arah kanan-bawah), sedangkan bintang panas bersifat lebih terang dan memiliki intensitas yang lebih tinggi (posisinya berada di arah kiri-atas pada plot). Lintasan bintang yang membentuk deret bintang mulai dari temperatur dingin / luminositas rendah hingga ke temperatur panas / luminositas tinggi, dikenal sebagai Deret Utama. Beberapa bintang yang telah berevolusi terlebih dahulu akan keluar dari daerah deret utama. Bintang yang sangat panas, namun memiliki luminositas rendah adalah katai putih. Bintang yang memiliki temperatur rendah namun sangat terang, dikenal sebagai bintang super raksasa.

AKTIVITAS 4: USIA DARI GUGUS TERBUKA

Analisis gambar (gambar 10) dari gugus Jewel Box atau Kappa Crucis, di rasi Crux atau Salib Selatan.



9a



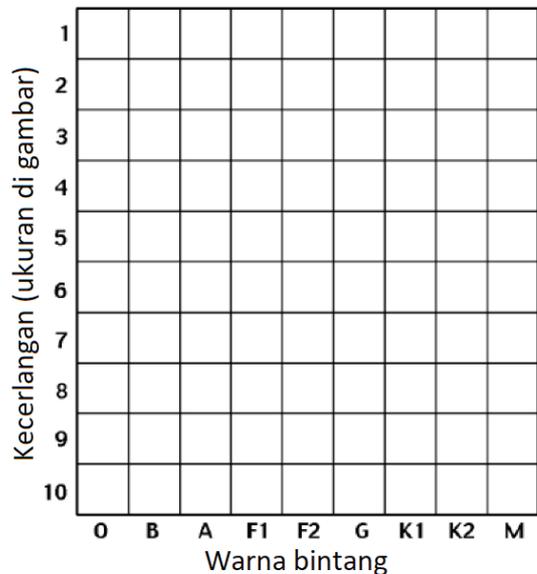
9b

Gambar 9a. Diagram H-R, Gambar 9b. Matahari akan melepaskan lapisan luarnya dan akan berubah menjadi katai putih, seperti yang berada di pusat *planetary nebula* ini

Seiring dengan berjalannya waktu, bintang dapat berevolusi dan berpindah posisi dalam diagram HR. Sebagai contoh, Matahari pada akhir hidupnya akan mengembang dan menjadi raksasa merah. Kemudian Matahari akan melepaskan lapisan luarnya, lalu menjadi katai putih seperti gambar 9b.



Gambar 10. Citra dari gugus Jewel Box



Gambar 11. Lembar kerja

Cukup jelas, bahwa bintang-bintang tidak semuanya memiliki warna yang sama. Kemudian juga cukup sulit untuk menentukan batas lokasi di mana gugus bintang berakhir. Pada gambar 10, beri tanda di mana kira-kira tepian gugus tersebut.

Pada gambar yang sama (gambar 10), tandai dengan "X" pada bagian di mana kira-kira pusat dari gugus itu berada. Kemudian, gunakan penggaris untuk mengukur dan menggambar kotak dengan sisi sepanjang 4 cm di sekitar pusat gugus. Ukur kecerlangan bintang yang paling dekat dengan pojok kiri atas dari kotak anda, dengan membandingkan ukurannya dengan pembanding yang ada di gambar 10. Gunakan pula pembanding warna yang ada di gambar 10 untuk menentukan warna bintang. Tandai dengan titik untuk warna dan ukuran dari bintang pertama anda pada lembar kerja warna-kecerlangan (gambar 11).

Perlu diingat, bahwa warna berada pada sumbu-x, sedangkan kecerlangan (ukuran) berada pada sumbu-y. Setelah menandai bintang pertama, lanjutkan porsis pengukuran kecerlangan (ukuran) dan warna untuk seluruh bintang yang ada di seluruh kotak berukuran 4 cm tersebut.

Bintang - bintang pada gugus Jewel Box seharusnya memunculkan pola tertentu seperti yang telah anda buat pada gambar 11. Pada gambar 10, terdapat bintang yang berada di depan dan belakang gugus yang sebenarnya bukan anggota dari gugus tersebut. Astronom biasanya menyebutnya sebagai 'bintang medan'. Jika anda memiliki waktu, coba estimasikan seberapa banyak bintang medan yang masuk ke dalam kotak 4 cm yang tadi digunakan untuk analisis anda, dan perkirakan warna dan kecerlangannya. Untuk melakukan ini, tentukan lokasi bintang medan pada diagram warna-magnitudo dan tandai dengan 'x' kecil. Perlu diketahui, bahwa bintang medan memiliki distribusi acak pada grafik dan tidak membentuk pola yang spesifik.

Sebagian besar bintang berlokasi pada suatu garis di grafik yang memanjang dari pojok kiri atas hingga kanan bawah. Semakin kecil massa bintang, maka temperaturnya juga akan semakin rendah dan akan terlihat merah. Bintang yang paling masif atau massanya paling besar merupakan bintang yang paling panas dan akan terlihat berwarna biru. Deretan bintang yang membentuk garis pada diagram warna-magnitudo ini disebut sebagai "deret utama". Bintang pada deret utama ditempatkan pada kelas-kelas yang dimulai dari kelas O (bintang yang paling terang, paling masif, dan paling panas; sekitar 40.000 K) hingga kelas M (bintang yang redup, bermassa rendah, dan temperatur permukaannya yang rendah; sekitar 3.500 K).

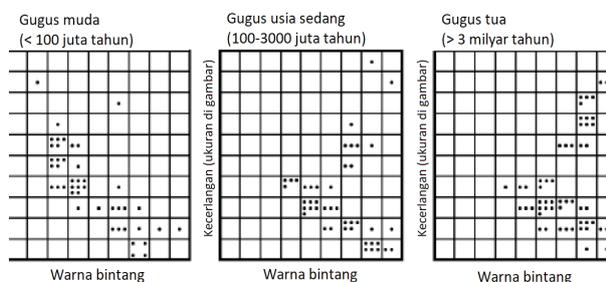
Selama sebagian besar masa hidup bintang, gaya internal yang menghasilkan energi bintang juga berperan untuk menyetabilkan bintang agar tidak runtuh. Ketika bintang kehabisan bahan bakar, maka kesetimbangannya tidak terpenuhi lagi dan gaya gravitasi yang besar akan menyebabkan bintang runtuh dan mati.

Perpindahan bintang dari fase deret utama ke fase keruntuhan merupakan bagian dari siklus bintang yang disebut sebagai fase "raksasa merah". Bintang raksasa merah bisa terang karena memiliki diameter yang bisa membesar dari 10 hingga 300 kali lebih besar dari Matahari. Raksasa merah juga merah karena temperatur permukaannya rendah. Pada lembar kerja, bintang ini diklasifikasikan sebagai bintang kelas K atau M, namun bintang ini sangat terang. Bintang yang paling masif menghabiskan bahan bakarnya lebih cepat dibandingkan bintang dengan massa yang rendah, sehingga bintang dengan massa besar lebih cepat meninggalkan fase deret utama un-

tuk menjadi raksasa merah. Karena ukurannya yang sangat besar, yakni dapat mencapai 1.000 kali diameter Matahari, bintang raksasa merah dengan massa antara 10 hingga 50 massa Matahari disebut sebagai "Super raksasa merah" (atau jika berasal dari bintang kelas O disebut "Maharaksasa merah". Raksasa merah mengembang dan mendingin, menjadi merah dan terang, sehingga berlokasi di daerah kanan atas dari diagram magnitudo warna. Semakin tua suatu gugus, maka semakin banyak juga bintang yang meninggalkan deret utama untuk menjadi raksasa merah. Sehingga, usia dari gugus dapat ditentukan dengan melihat warna dari bintang paling besar dan terang yang masih ada di deret utama.

Banyak bintang di gugus yang tua telah berevolusi melebihi fase raksasa merah: mereka menjadi katai putih. Katai putih sangat kecil, ukurannya seukuran Bumi. Katai putih juga sangat redup, sehingga tidak bisa terlihat pada gambar gugus Jewel Box ini.

Dapatkah anda mengestimasi umur dari gugus bintang Jewel Box dari grafik gambar 11 dengan membandingkan terhadap gambar gugus pada usia berbeda yang ditunjukkan oleh gambar 12a, 12b, dan 12c?

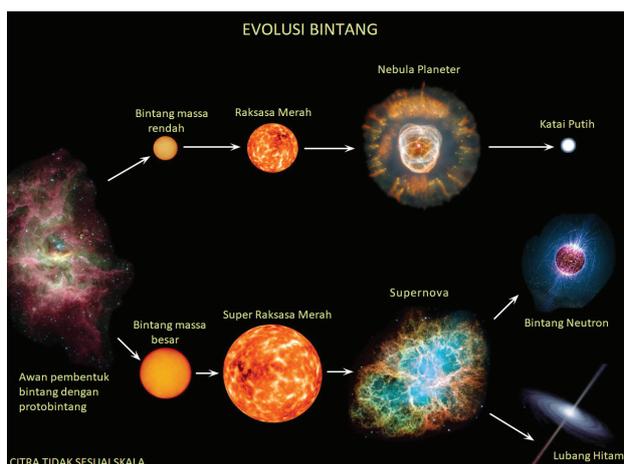


Gambar 12a, 12b, dan 12c. Referensi diagram HR gugus bintang

Jika anda memahami diagram HR dan hubungan antara warna bintang (temperatur permukaan), kecerlangan, dan usia bintang, maka kita dapat menjelaskan bagaimana bintang dan gugus bintang berevolusi. Anda dapat membandingkan kehidupan bintang kelas O/B dengan bintang A/F/G dan K/M. Anda dapat melihat, bahwa bintang dengan massa yang sama berevolusi dengan cara yang sama meskipun pada gugus bintang yang berbeda. Karena ini, anda dapat melihat perbedaan usia antara gugus satu dengan lainnya dengan menggunakan diagram HR. Hal ini yang kemudian membuat anda dapat menyatakan, bahwa gambar 12a menunjukkan gugus berusia muda (gugus itu memiliki bintang O dan B pada deret utama dan kita ketahui, bahwa bintang ini berevolusi secara cepat menuju super raksasa merah) dan gambar 12c menunjukkan gugus yang sudah tua (dengan hampir hanya tersisa bintang K/M di deret utama dan sebagian besar bintang sudah berada pada fase raksasa merah).

Kita dapat bertanya pada diri kita sendiri: "Di mana posisi Matahari pada diagram Hertzsprung-Russell?" Matahari merupakan bintang dengan temperatur permukaan 5.870 K, maka akan terlihat berwarna kuning. Hal ini akan menunjukkan, bahwa Matahari akan masuk pada kelas G2 (sumbu-x). Matahari berada pada fase deret utama pada evolusinya, yakni ketika hidrogen sedang mengalami fusi menjadi helium di bagian

inti. Hal ini menjadikan Matahari berada di kelas 5 pada kelas luminositas, bersama dengan banyak bintang lain di deret utama.



Gambar 13. Evolusi bintang berdasarkan massanya.

Kematian Bintang

Akhir hidup dari bintang bergantung dengan massanya ketika dia hidup, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 13.

Pada titik tertentu pada evolusi gugus bintang, bintang masif akan menghilang dari diagram Hertzsprung-Russell. Saat bintang bermassa rendah akan berevolusi menjadi katai putih, bintang masif ini akan berakhir menjadi sebuah fenomena yang paling dahsyat di alam semesta, yaitu supernova. Sisa dari peristiwa semacam ini akan menghasilkan objek yang tidak memiliki emisi termal (pulsar dan lubang hitam) sehingga tidak akan terlihat pada diagram HR.

Apa itu supernova?

Supernova adalah akhir hidup dari bintang bermassa besar. Deret utama bintang dikarakteristikan oleh adanya fusi hidrogen untuk memproduksi helium, dan seterusnya hingga dapat memproduksi karbon dan unsur berat lainnya. Produk akhir dari proses ini adalah besi. Fusi dari besi tidaklah mungkin terjadi, karena reaksinya akan membutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan energi yang dilepaskannya.

Fusi dari unsur yang berbeda akan terus berlangsung hingga bahan bakarnya habis. Fusi ini terjadi dari pusat ke arah luar, sehingga setelah beberapa waktu, bintang akan memiliki beberapa struktur berupa lapisan yang wujudnya seperti bawang (gambar 14b), dengan unsur yang lebih berat berada pada lapisan yang lebih dalam.

Bintang dengan massa 20 massa matahari memiliki beberapa tahapan ini:

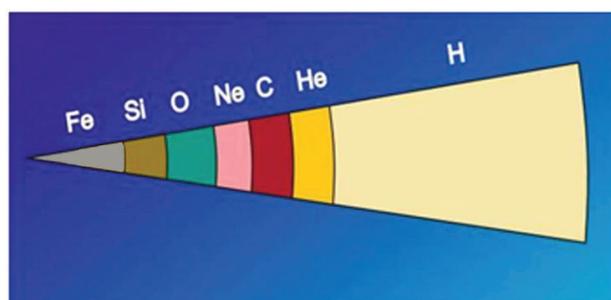
- 10 juta tahun membakar Hidrogen di inti (deret utama)
- 1 juta tahun membakar Helium
- 300 tahun membakar Karbon
- 200 hari membakar Oksigen

- 2 hari untuk membakar Silikon: kemudian terjadi ledakan Supernova

Ketika bintang memiliki inti besi, reaksi nuklir tidak lagi mungkin terjadi. Tanpa adanya tekanan radiasi dari fusi untuk mengimbangi gravitasi, bintang akan runtuh, tanpa adanya kemungkinan pembakaran nuklir. Selama terjadinya keruntuhan, inti atom dan elektron akan ditekan satu sama lain dan membentuk neutron dan bagian tengah bintang akan menjadi bintang neutron.



Gambar 14a. Sisa dari supernova



Gambar 14b. Struktur lapisan dalam bintang sebelum meledak menjadi Supernova

Bintang neutron sangat rapat sehingga satu sendok teh saja akan memiliki berat seperti seluruh gedung pada satu kota besar. Ketika neutron dimampatkan, tidak ada lagi penyusutan yang dapat terjadi. Partikel jatuh dari lapisan luar bintang ke arah pusat pada kecepatan hingga seperempat kecepatan cahaya, kemudian menumbuk inti neutron dan langsung berhenti. Hal ini kemudian menyebabkan lapisan luar bintang akan terpantul kembali dalam bentuk gelombang kejut, hasilnya adalah salah satu proses yang paling energetik yang diketahui di alam semesta (gambar 14a): bintang tunggal yang meledak dapat lebih terang dari seluruh galaksi yang terdiri dari milyaran bintang.

Selama proses pemantulan ini, energi yang dihasilkan sangat besar hingga unsur yang lebih berat dari besi dapat terbentuk (seperti timah, emas, uranium, dan lain-lain). Unsur ini terbentuk secara dahsyat selama ledakan dan dilontarkan keluar bersama dengan materi dari lapisan luar bintang. Pada pusat dari materi yang terlontar ini terdapat sisa berupa bintang neutron yang berputar dengan sangat cepat, atau jika massa awal bintangnya sangat besar, dapat menjadi lubang hitam.

AKTIVITAS 5: SIMULASI LEDAKAN SUPERNOVA

Ketika bintang meledak menjadi supernova, atom ringan yang berada pada lapisan luar akan jatuh menuju unsur yang lebih berat di bagian dalam bintang dan kemudian akan terpantul akibat dari inti yang padat.

Model sederhana dapat digunakan untuk menggambarkan proses ini dengan mudah dan juga menarik, dengan menggunakan bola basket dan bola tenis, dengan menjatuhkan keduanya secara bersamaan pada permukaan yang padat seperti lantai (gambar 15). Pada peragaan ini, lantai berfungsi sebagai inti bintang yang sangat rapat, bola basket menggambarkan atom berat yang memantul kembali dari inti, dan bola tenis menggambarkan atom yang lebih ringan.



Gambar 15. Kita jatuhkan bola basket dan tenis pada waktu yang bersamaan.

Untuk melakukan peragaan ini, pegang bola basket pada ketinggian setinggi mata dengan bola tenis tepat di atasnya, sebisa mungkin tepat di atasnya. Jatuhkan keduanya secara bersamaan. Mungkin anda akan menduga bahwa bola akan memantul pada ketinggian yang sama, atau mungkin lebih rendah. Namun setelah dicoba, ternyata hasilnya sangat menarik.

Ketika anda menjatuhkan dua bola tersebut, keduanya akan sampai di lantai pada waktu yang bersamaan. Bola yang besar akan memantul dengan kecepatan yang sama saat dia menyentuh lantai. Pada saat itu, bola basket mengalami tumbukan dengan bola tenis yang juga jatuh dengan kecepatan yang sama dengan bola basket. Bola tenis akan terpantul dari bola basket dengan kecepatan yang lebih tinggi dari saat bola tenis menumbuk bola basket, sehingga hasilnya pantulan bola tenis akan memantul jauh lebih tinggi. Jika eksperimen ini diulangi, menggunakan banyak bola yang ringan, maka pantulannya akan lebih menarik.

Pada peragaan ini, bola tenis akan memantul hingga dua kali dari ketinggian awal. Perlu diperhatikan untuk berhati-hati jika melakukan percobaan ini di dalam ruangan.

Eksperimen ini dapat dilakukan di dalam kelas, namun disarankan untuk dilakukan di luar ruangan. Dapat pula dilakukan dari tempat yang tinggi, namun akan menyulitkan untuk memastikan, bahwa bolanya akan dapat lurus secara vertikal,

yang efeknya bola tenis akan terpantul pada arah yang sulit diperkirakan.

Beberapa toko mainan atau toko di museum sains menjual mainan yang bernama "Astro Blaster" yang berdasarkan pada prinsip ini. Mainan ini terdiri dari empat bola karet pada ukuran yang berbeda yang disatukan oleh satu sumbu. Bola yang lebih kecil akan memantul saat bola yang besar jatuh ke tanah.

Apa itu bintang neutron ?

Bintang neutron merupakan sisa dari bintang masif yang telah runtuh dan telah melepaskan lapisan luarnya melalui ledakan supernova. Bintang neutron biasanya tidak lebih besar dari beberapa kilometer. Seperti namanya, bintang neutron terdiri dari neutron yang terkumpul hingga kerapatannya sangat tinggi: satu sendoknya dapat memiliki massa jutaan ton.

Bintang neutron terbentuk jika sisa ledakan supernovanya memiliki massa 1,44 hingga 8 massa matahari.

Apa itu pulsar?

Pulsar merupakan bintang neutron yang berputar dengan kecepatan sangat tinggi (gambar 16). Ketika bintang masif runtuh, lapisan luarnya jatuh ke pusat dan mulai berputar dengan cepat akibat adanya hukum kekekalan momentum sudut. Hal ini mirip seperti pemain ski yang akan berputar lebih cepat saat melipat tangannya ke dalam.

Medan magnet bintang menghasilkan emisi sinkrotron elektromagnetik kuat pada arah sumbu rotasinya. Namun, karena sumbu magnetiknya tidak selalu sejajar dengan sumbu rotasi (seperti Bumi), bintang neutron yang berotasi akan mirip dengan mercusuar kosmik raksasa. Jika emisi ini kebetulan mengarah ke bumi, maka kita akan mendeteksi denyutan dengan interval yang sama.

Pada tahun 1967, Jocelyn Bell dan Antony Hewish menemukan pulsar pertama. Sinyal denyutan datang dari satu titik di langit di mana tidak ada benda yang terlihat berdenyut di panjang gelombang tampak. Denyutan yang cepat dan berulang ini berdenyut beberapa kali per detik dengan sangat presisi.

Ketika pertama kali dideteksi, pulsar diduga merupakan sinyal dari makhluk asing. Kemudian semakin banyak sumber radio yang berdenyut ditemukan, termasuk yang berada di tengah Nebula Crab. Ilmuwan mengetahui, bahwa nebula ini dihasilkan oleh supernova dan akhirnya dapat menjelaskan asal-muasal pulsar. Pulsar PSR B1937+21 merupakan salah satu pulsar dengan frekuensi tercepat yang diketahui berputar lebih dari 600 kali per detik.

Diameternya sekitar 5 km dan jika berputar 10% lebih cepat, maka akan pecah akibat gaya sentrifugalnya. Hewish kemudian memenangkan hadiah Nobel pada tahun 1974.

Pulsar lain yang menarik adalah pulsar pada sistem bintang ganda PSR 1913+16 pada rasi Eagle. Gerak orbit yang sama dari bintang pada medan gravitasi yang sangat kuat menyebabkan sedikit keterlambatan pada emisi cahaya yang sampai ke Bumi. Russell Hulse dan Joseph Taylor mempelajari sistem ini dan mengkonfirmasi banyak prediksi tentang teori relativitas, termasuk emisi gelombang gravitasi. Keduanya mendapat hadiah Nobel pada tahun 1993 untuk penelitiannya.



Gambar 16. Pulsar merupakan bintang neutron yang berotasi

AKTIVITAS 6. SIMULASI PULSAR

Pulsar merupakan bintang neutron yang sangat masif dan berotasi sangat cepat. Pulsar mengemisikan radiasi, namun sumbernya tidak sejajar dengan sumbu rotasinya, akibatnya berkas radiasi yang dihasilkan akan berputar seperti lampu mercusuar. Jika gelombang ini mengarah ke Bumi, maka kita akan melihat sinyal denyutan dengan frekuensi beberapa kali per detik.

Kita dapat membuat simulasi pulsa dengan senter (gambar 17a) yang diikat pada tali. Jika kita nyalakan senter dan memutarinya (gambar 17b), maka kita akan melihat cahayanya saat senter menghadap ke kita (gambar 17c).

Jika kita memiringkan senternya menjadi tidak horizontal, maka kita tidak lagi dapat melihat cahaya senter dari posisi yang sama. Sehingga kita hanya dapat mengamati emisi dari pulsar ini saat kita sejajar dengan rotasinya.



17a



17b



17c

Gambar 17a. Pemasangan, Gambar 17b. Memutar senter, Gambar 17c. Ketika berputar maka kita dapat melihat berkas cahayanya secara periodik

APA ITU LUBANG HITAM?

Jika kita melempar batu ke atas, gravitasi akan memperlambatnya hingga batunya jatuh kembali ke tanah. Jika kita melempar dengan kecepatan tinggi, batu akan terbang lebih tinggi kemudian jatuh. Jika kecepatan awalnya 11 km/detik, yakni kecepatan lepas Bumi, maka batu akan terlempar dan

tidak lagi kembali jatuh ke tanah (asumsikan tidak ada gesekan udara).

Jika Bumi mengalami penyusutan dan tetap mempertahankan massanya, maka kecepatan lepas di permukaannya akan meningkat karena kita lebih dekat dengan pusat Bumi. Jika Bumi menyusut hingga radius 0,8 cm, kecepatan lepasnya akan menjadi lebih besar daripada kecepatan cahaya. Karena tidak ada yang lebih cepat dari cahaya, maka tidak ada yang dapat lepas dari permukaannya, bahkan cahaya. Maka Bumi akan menjadi lubang hitam dengan ukuran sebesar kelereng.

Secara teori, hal ini memungkinkan bagi lubang hitam untuk memiliki massa yang sangat kecil. Namun kenyataannya, hanya ada satu mekanisme yang dapat memampatkan massa hingga pada kerapatan yang sangat tinggi, yaitu keruntuhan gravitasi. Agar keruntuhan gravitasi dapat terjadi, dibutuhkan massa yang sangat besar. Kita telah mempelajari, bahwa bintang neutron merupakan sisa dari bintang bermassa 1,44 hingga 8 massa Matahari. Namun, jika massa bintang awalnya lebih besar lagi, maka gravitasi menjadi lebih kuat lagi hingga interior bintang akan terus mengalami keruntuhan hingga menjadi lubang hitam. Tipe lubang hitam seperti ini akan memiliki massa beberapa kali lebih besar dibandingkan Matahari kita. Kerapatan lubang hitam sangatlah tinggi. Sebuah kelereng yang terbuat dari materi serapat itu akan memiliki berat sebesar Bumi.

Meskipun kita tidak dapat melihatnya secara langsung, kita mengetahui beberapa kandidat lubang hitam di alam semesta dari emisi yang dihasilkan oleh materi yang berotasi di sekitar lubang hitam dengan kecepatan tinggi. Sebagai contoh, di pusat galaksi, kita tidak dapat melihat apapun, namun kita dapat melihat sebuah cincin yang terbentuk dari gas yang berputar mengelilingi pusat dengan kecepatan tinggi. Penjelasan yang mungkin dari peristiwa ini hanyalah terdapat massa yang sangat besar yang berada di tengah dari cincin tersebut, yang beratnya mencapai tiga hingga empat milyar massa Matahari. Benda ini hanya mungkin berupa lubang hitam, dengan radius Schwarzschild sedikit lebih besar dari Matahari. Tipe lubang hitam ini, yang berlokasi di pusat banyak galaksi, disebut sebagai lubang hitam supermasif.

AKTIVITAS 7. SIMULASI KURVATUR RUANG DAN LUBANG HITAM

Mudah untuk menyimulasikan kurvatur ruang dua dimensi yang dihasilkan oleh lubang hitam, yakni dengan menggunakan kain yang elastis (*Lycra*) (gambar 18) atau kain *gauze*.



Gambar 18. Lintasan bola tenis yang ditempuh bukanlah berupa garis lurus namun berupa garis lengkung.

Pertama rentangkan kain tersebut. Kemudian jalankan bola kecil atau kelereng di sepanjang kain. Hal ini menggambarkan bagaimana foton dari cahaya bergerak yakni dengan membentuk lintasan yang lurus tanpa adanya kurvatur. Kemudian jika kita letakkan bola yang berat di tengah kain dan menjalakan bola kecil, maka bola kecil akan bergerak melengkung. Percobaan ini menyimulasikan berkas cahaya pada ruang yang melengkung akibat adanya gravitasi. Seberapa besar lengkungan yang ditempuh bola bergantung pada seberapa dekat cahaya melewati benda yang bermassa besar tersebut dan bergantung dengan massa benda tersebut. Sudut belok ini sebanding dengan massa dan berbanding terbalik dengan jarak. Jika kita melonggarkan kainnya, maka hal ini akan menyimulasikan sumur gravitasi yang lebih dalam, hingga membuat bolanya semakin sulit untuk lepas. Hal ini dapat menggambarkan model dari lubang hitam.

PUSTAKA

- Broman, L., Estalella, R. Ros. R.M, *Experimentos en Astronomía*. Editorial Alhambra Longman, Madrid, 1993.
- Dale, A.O., Carroll, B.W, *Modern Stellar Astrophysics*, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
- Moreno, R, *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp. Madrid, 2008.
- Pasachoff, J.M, *Astronomy: From the Earth to the Universe*, 6th Edition, Cengage, USA, 2002.
- Rybicki, G.B., Lightman, A.P, *Radiative Processes in Astrophysics*, John Wiley & Sons, EUA, 1979.
- Zeilik, M, *Astronomy-The Evolving Universe*, 8th Ed., John Wiley & Sons, USA, 1997.

ASTRONOMI DI LUAR PENGAMATAN

Beatriz García, Ricardo Moreno

International Astronomical Union, National Technological University (Mendoza, Argentina), Retamar School (Madrid, Spain)

Penerjemah: Elsa Rizkiy Kencana

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Benda-benda luar angkasa memancarkan berbagai panjang gelombang dari spektrum elektromagnetik, tetapi mata manusia hanya dapat membedakan sebagian kecil darinya yang disebut: daerah tampak (*the visible region*). Terdapat beberapa metode percobaan sederhana yang dapat menunjukkan keberadaan radiasi elektromagnetik yang tidak terlihat dengan mata telanjang. Pada lokakarya kali ini, kita akan berkenalan dengan observasi di luar pengamatan, dan dapat digunakan untuk siswa sekolah SD, SMP dan SMA.

TUJUAN

Aktivitas ini bertujuan untuk menunjukkan fenomena khusus di luar pengamatan yang dapat teramati dengan teleskop amatir seperti:

- Benda-benda luar angkasa yang dapat memancarkan energi elektromagnetik yang tidak dapat terdeteksi oleh mata kita. Para astronom tertarik pada panjang gelombang lainnya karena radiasi tampak tidak memberikan gambaran seutuhnya dari Alam Semesta.
- Emisi tampak pada daerah panjang gelombang radio, inframerah, UV (*ultraviolet*), mikro (*microwave*), sinar-X dan sinar gamma.

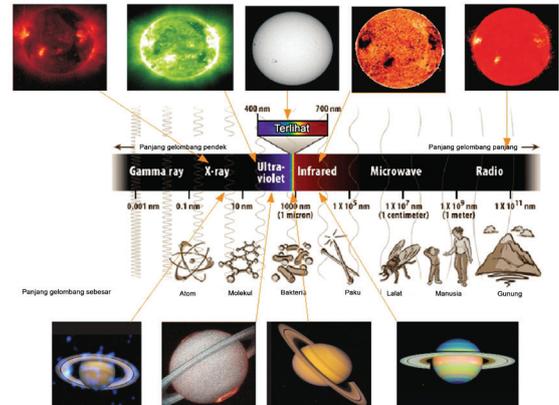
SPEKTRUM ELEKTROMAGNETIK

Panjang gelombang elektromagnetik mencakup frekuensi dan panjang gelombang dengan cakupan yang luas dan dapat dikategorikan sesuai dengan sumber utamanya. Kategori ini tidak memiliki batasan yang saksama. Kumpulan dari semua panjang gelombang tersebut dinamakan spektrum elektromagnetik.

Gambar 1 memperlihatkan daerah berbeda pada spektrum dengan wilayahnya masing-masing. Di bagian bawah diberikan pula gambaran antara panjang gelombang tertinggi setiap daerah (panjang gelombang) dengan beberapa objek yang dapat merepresentasikannya: atom, lalat, gunung... sehingga diharapkan dapat memberikan ide seberapa besar panjang gelombangnya. Pada gambar yang sama, kita dapat memahami bagaimana kita "melihat" Matahari dan Saturnus jika melakukan pengamatan pada panjang gelombang yang tidak tampak oleh mata kita. Citra tersebut diperoleh dengan

alat pendeteksi khusus yang sensitif terhadap panjang gelombang yang bersesuaian.

Di Alam Semesta, terdapat materi yang temperaturnya lebih rendah dari bintang, contohnya awan materi antar-bintang (*interstellar cloud*). Awan ini tidak memancarkan radiasi cahaya tampak, tetapi dapat terdeteksi pada panjang gelombang panjang seperti inframerah, mikro (*microwave*) dan radio.



Gambar 1: Spektrum elektromagnetik, dengan ukuran objek dan panjang gelombangnya. Matahari (atas) dan Saturnus (bawah) diamati dari panjang gelombang yang berbeda (warna yang disimulasikan).



Gambar 2. Citra pusat Galaksi Bima Sakti dengan beberapa panjang gelombang

Pengamatan Alam Semesta dari seluruh daerah spektrum elektromagnetik, dimana para ahli astronomi menyebutnya sebagai "pengamatan multi-panjang gelombang" atau "*multi-wavelength observation*", memberikan gambaran lebih jelas mengenai struktur, suhu dan energi alam semesta dan membuat model yang lebih realistis yang bersesuaian dengan evolusi.

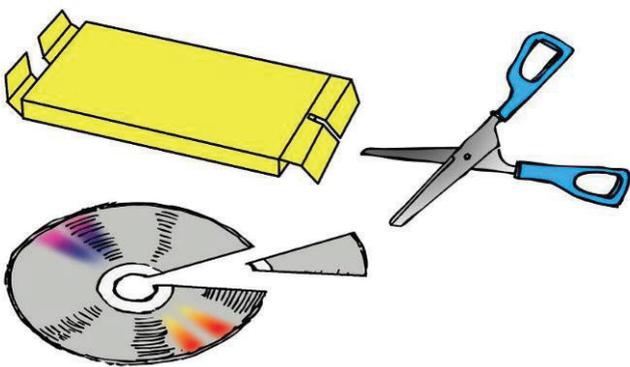
Gambar 2 menunjukkan citra pusat Galaksi Bima Sakti oleh teleskop ruang angkasa Spitzer (inframerah), Hubble (cahaya tampak) dan Chandra (Sinar-X). Di setiap hasil citra tersebut, kita dapat mengamati objek dan detail yang tidak terlihat pada citra panjang gelombang lainnya.

AKTIVITAS 2: MEMBUAT SPEKTROMETER

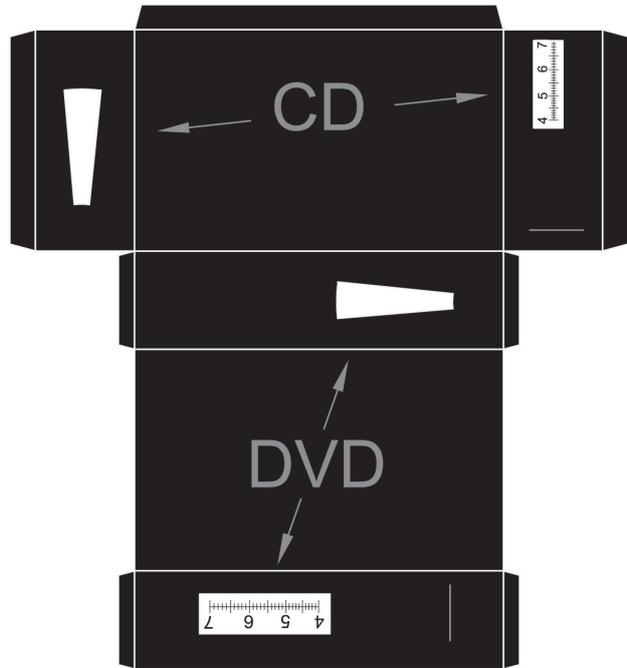
Cahaya putih dari lampu pijar terdiri dari semua warna sedangkan cahaya lampu yang dari gas (lampu neon, lampu hemat energi, atau lampu jalan) terdiri dari hanya beberapa warna. Jika kita memisahkan warna cahaya, kita akan memperoleh spektrumnya, dimana jika gas terdiri dari satu kumpulan garis warna. Tiap-tiap tipe gas memiliki spektrumnya sendiri, perbedaan ini dapat dikatakan sebagai "barcode" materi di dalam gas tersebut. Jika kita meninjau cahaya dari galaksi jauh dengan bantuan spektroskop, maka karakteristik garis dari hidrogen dan gas lainnya bergeser ke arah warna merah (dikenal dengan pergeseran merah, "redshift"), dengan semakin besar perpindahannya, semakin jauh pula jarak galaksi tersebut dengan kita.

Dengan gunting, potonglah bagian dari CD atau DVD (gambar 10a), pastikan tidak ada label yang menutupi. Jika menggunakan DVD, pisahkan lapisan atas dan bawah dengan potongan plastik (kita mungkin membutuhkan gunting atau obeng untuk mempermudah) dan kita harus menyiapkan kisi difraksi (*diffraction grating*). Sedangkan jika kita menggunakan CD, CD hanya memiliki satu lapisan plastik, dan kita harus melepaskan lapisan metalnya dengan hati-hati. Gunakan selotip bening, letakkan di lapisan metal CD, lalu tariklah secara hati-hati sehingga lapisan metal dapat terlepas. Penggunaan cutter atau silet tidak dianjurkan karena dapat merusak kisi difraksi pada CD.

Fotokopi pola spektroskopi sesuai gambar 4. Jika menggunakan kertas A3, itu akan lebih akurat. Gunting pola, termasuk bagian putihnya (jika menggunakan CD hanya gunting pola putih yang ditunjukkan oleh CD, begitu juga dengan DVD), bagian berlekuk, dan buat potongan tipis pada garis dekat skala. Kita tidak perlu menggunting skalanya. Rakit kotaknya, bagian hitam harus berada di dalam, tempel penutup-penutup kotak. Pada lubang bagian putih yang sudah digunting, tempel bagian CD atau DVD yang sudah dipotong tadi.



Gambar 3a: Bahan-bahan yang dibutuhkan: DVD, gunting dan kertas kotak.



Gambar 5: Pola Spektrometer

Lihat dari potongan CD atau DVD dan arahkan potongan tipis (slit) dari kotak tadi (bukan skala) pada lampu rendah energi atau lampu neon (gambar 4). Kita dapat melihat garis emisi dari lampu gas pada skalanya. Jika kita tidak bisa melihatnya, geser slit sampai garis warna terlihat. Skala tersebut dibaca dengan ukuran ratusan nanometer, contoh, jika di skala menunjukkan 5 maka dibacanya 500nm ($500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$). Semakin sempit slit yang dibuat, semakin akurat ukuran panjang gelombang dari garis yang terbentuk.

Kita juga dapat membuat kotak dari kertas konkord hitam (kertas lebih tebal), tetapi kita harus menggunting bagian skala dan menempelkan di belakangnya dengan kertas putih sehingga kita dapat melihat garisnya.

Kita juga dapat mengamati lampu jalan, yang berwarna kuning (sodium) dan putih (merkuri), keduanya akan berhasil. Lampu pijar kuning menghasilkan spektrum kontinu.

Untuk siswa yang berumur lebih muda (TK atau SD) dapat melakukan percobaan membuat pelangi. Gunakan selang air dengan *diffuser* atau pembaur, dan nyalakan pancuran air membelakangi matahari (gambar 6).



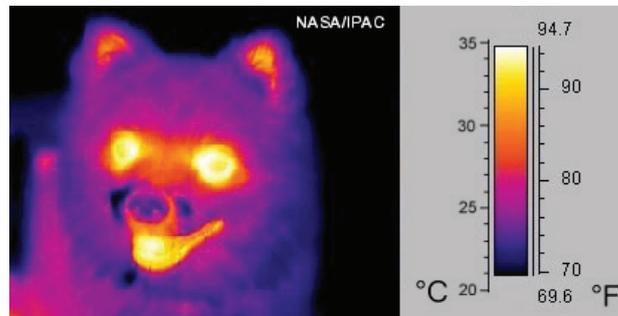
Gambar 6: Percobaan membuat pelangi.

Inframerah (IR)

Daerah inframerah dari spektrum elektromagnetik ditemukan oleh William Herschel (penemu planet Uranus) pada tahun 1800 menggunakan sebuah prisma dan termometer. Dia menghasilkan spektrum dengan melewati cahaya putih matahari melalui prisma dan menempatkan beberapa termometer, satu pada daerah biru, dan lainnya pada daerah merah (kedua warna dapat dilihat oleh mata) dan termometer ketiga ditempatkan pada warna di atas merah, dan seterusnya. Dengan termometer ke empat untuk mengukur suhu lingkungan dan menemukan bahwa suhu pada termometer di area “di bawah” merah (oleh karena itu dinamakan “infra”merah) lebih besar dari suhu lingkungan sekitar.

Herschel melakukan eksperimen lain dengan “heat rays” (dia menyebutnya begitu), daerah yang ada di atas daerah cahaya merah dari spektrum menunjukkan bahwa daerah tersebut memantulkan, membelokkan, menyerap dan memancarkan cahaya layaknya daerah cahaya tampak. “Heat rays” ini disebut sinar inframerah atau radiasi inframerah. Penemuan ini dilanjutkan dengan yang lain yang menghasilkan beberapa aplikasi teknologi lain.

Objek yang memiliki suhu rendah tidak memancarkan radiasi pada daerah cahaya tampak, tetapi pada daerah panjang gelombang yang lebih panjang, sehingga energi yang terbuang lebih rendah. Contohnya adalah tubuh kita dan binatang memancarkan radiasi inframerah yang tidak dapat kita deteksi dengan mata telanjang, radiasi ini merupakan pancaran panas tubuh. Semua objek yang ada pada suhu tertentu memancarkan inframerah (gambar 7). Kacamata untuk melihat dalam gelap dapat mendeteksi radiasi tersebut yang tidak bisa dilihat oleh mata kita.



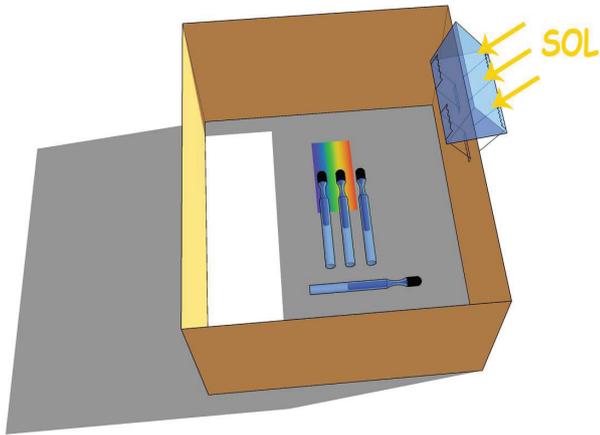
Gambar 7: Citra Inframerah (IR). Kita dapat memvisualisasikan dengan warna dari area panas ke dingin.

AKTIVITAS 3: PERCOBAAN HERSCHEL PADA PITA IR

Tujuan dari aktivitas ini adalah untuk mengulang percobaan yang dilakukan pada tahun 1800 oleh ahli astronomi terkenal Sir William Herschel yang menemukan bentuk dari radiasi lain selain cahaya tampak. Kita akan membutuhkan sebuah prisma, 4 termometer, spidol hitam permanen, gunting, selotip, kotak kardus, dan kertas putih. Rekatkan selotip pada ujung termometer dan warnai selotip tersebut dengan spidol hitam untuk menyerap matahari lebih baik.

Percobaan ini harus dilakukan di luar ruangan, dengan cuaca yang sangat cerah. Jika berangin, percobaan dapat dilakukan di dalam ruangan, dengan menempatkan alat di dekat jendela yang dapat memancarkan sinar matahari masuk ke ruangan secara langsung. Letakkan kertas putih pada bawah kardus. Letakkan prisma secara hati-hati pada ujung atas kardus, arahkan prisma ke sisi matahari. Di dalam kardus harus atau hampir semuanya tertutup tertutup bayangan (gambar 8 ke 9c). Putar prisma sampai spektrum terlihat selebar mungkin pada kertas di bawah kotak.

Setelah mendapatkan posisi prisma, letakkan 3 termometer pada cahaya spektrum sehingga tiap ujung termometer terletak pada satu warna: satu pada daerah biru, yang lain di kuning dan yang ketiga ada pada sedikit ke daerah warna merah. Agar dapat membantu kita melihat ukuran skala, jangan geser termometer ketika sedang melakukan pengamatan (gambar 8 ke 9c).

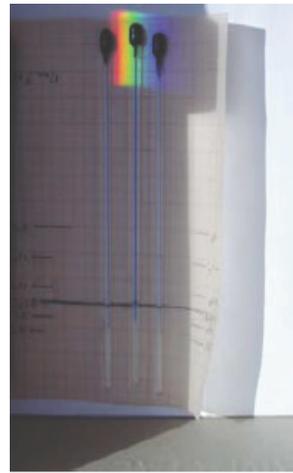


Gambar 8: Alat Herschel. 3 termometer pada spektrum menandakan suhu lebih tinggi dari suhu lingkungan sekitar.

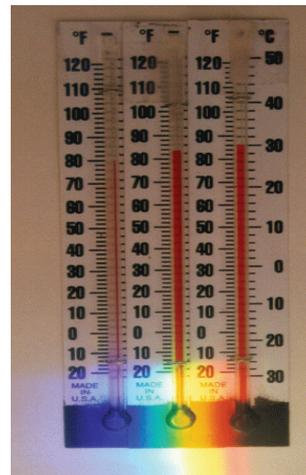
Dibutuhkan waktu berkisar 5 menit agar mencapai temperatur akhir. Catat temperatur tiap menit pada tabel untuk setiap 3 daerah warna spektrum dan juga suhu lingkungan sekitar. Kita tidak boleh menggeser posisi termometer pada spektrumnya atau menutupi cahaya.



Gambar 9a: Letakkan 3 termometer, dengan ujung hitam, dan spektrum pada sisi bayangan.



Gambar 9b: Termometer pada biru, kuning dan merah.



Gambar 9c: Contoh pengukuran dalam 3 menit (www.spitzer.caltech.edu)

Tabel 1: Tabel data percobaan

	Termometer n° 1 di warna biru	Termometer n° 2 di warna kuning	Termometer n° 3 di warna merah	Termometer n° 4 di bayangan
Setelah 1 menit				
Setelah 2 menit				
Setelah 3 menit				
Setelah 4 menit				
Setelah 5 menit				

Termometer pada daerah kuning (gambar 16c) akan menunjukkan suhu yang lebih tinggi dari daerah biru, dan termometer daerah dekat merah suhunya akan lebih tinggi sedikit, sehingga masuk akal bahwa pada termometer di dekat merah terdapat semacam radiasi dari matahari, yang tidak terlihat oleh mata kita.

AKTIVITAS 4: MENDETEKSI IR DENGAN ALAT TEKNOLOGI MODERN

Jika kita ingin mendeteksi inframerah dengan teknologi modern, mungkin yang pertama kali terfikirkan adalah mode malam, yang dapat melihat inframerah terpancar dari tubuh kita. Tetapi alat ini bukan alat yang mudah didapatkan oleh siapa-pun. Kita harus mempertimbangkan alat yang lebih ekonomis dan mudah didapat.

Remot kontrol untuk menyalakan TV, radio dan *microwave* menggunakan inframerah (jangan gunakan alat yang juga memiliki lampu pijar merah). Adakan cara untuk melihat radiasi yang tidak-terlihat dan tiba-tiba menjadi sesuatu yang terdeteksi?

Untuk itu kita harus mencari alat pendeteksi (*detector*) yang sensitif terhadap inframerah. Ada beberapa produk teknologi, karena perkembangan studi untuk cahaya pada Astronomi, disebut CCD (singkatan dari: *Charged Coupled Device*). Alat ini dapat menangkap dan mengumpulkan foton untuk beberapa waktu, lalu kita dapat "melihat" objek yang memancarkan refleksi cahaya. CCD lebih sensitif pada daerah merah dan pada beberapa persoalan cakupan efisiensinya mendekati cakupan inframerah. Kamera atau *camcorder* memiliki CCD untuk akuisisi gambar. Alat ini dapat mengambil gambar pada kondisi level iluminasi yang sangat rendah. Alat yang paling gampang, yang selalu kita gunakan, dan memiliki kamera yang ada alat pendeteksi CCD adalah telepon genggam.



Gambar 10a: Remot dilihat dengan mata telanjang.



Gambar 10b: Remot dilihat dari telepon genggam.

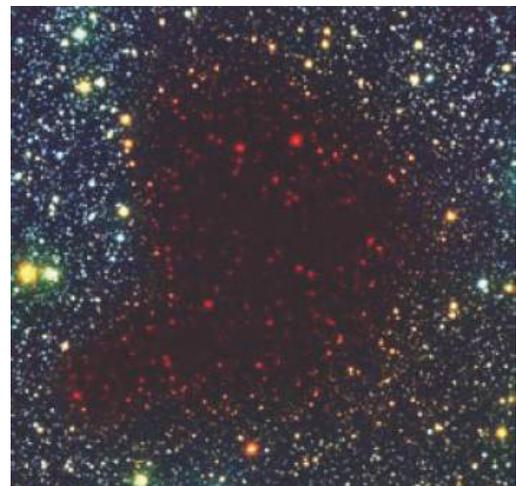
Lihat remot kontrol dengan mata telanjang, kita tidak bisa membedakan antara hidup atau mati, tinjau gambar 10a. Tetapi jika kita mengambil foto dengan telepon genggam yang sama, dan remot kontrol aktif (tinjau gambar 10b)...Kejutan! Alat yang kita gunakan untuk memberikan sinyal untuk menghidupkan TV atau alat elektronik lainnya memiliki cahaya inframerah yang mata telanjang kita tidak terlihat tetapi di kamera bisa.

AKTIVITAS 5: MENDETEKSI IR PADA BOLA LAMPU

Kebanyakan benda-benda langit memancarkan banyak panjang gelombang. Jika diantara mereka dan kita terdapat debu atau gas, beberapa panjang gelombang dapat terhalang, tetapi tidak yang lainnya. Contohnya adalah debu di pusat galaksi akan mencegah kita untuk melihat cahaya terlihat berintensitasnya tinggi yang dihasilkan dari konsentrasi jutaan bintang di sana. Tetapi debu itu transparan pada cahaya inframerah yang dapat menembusnya dan sampai terlihat oleh kita. Hal ini juga berlaku pada awan debu gelap lain pada galaksi kita (gambar 11a dan 11b).



Gambar 11a: Awan debu pada cahaya tampak



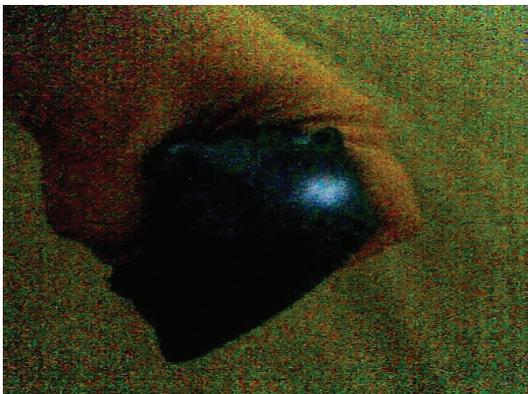
Gambar 11b: Ditumpuk dengan citra inframerah

Pada pemancaran dari bola lampu pijar, hampir semua energi memancarkan pada daerah cahaya tampak, tetapi juga memancarkan inframerah. Radiasi inframerah dapat melewati walaupun pada benda yang tak tembus cahaya atau buram.

Mari kita mengambil senter dan kain (gambar 12a dan 12b). Bahan kainnya yang tidak terlalu tipis dan dapat menghalangi cahaya yang terlihat. Mari kita lihat di ruang yang gelap dan hidupkan senter. Lalu kita tutup dengan kain dan terbukti bahwa kita tidak dapat melihat cahayanya. Jika tidak, tutup lagi hingga 2-3 lapis. Jangan gunakan berlebihan, karena radiasi inframerah juga dapat terhalang jika terlalu banyak lapisan kain. Pada ruangan yang cukup gelap, jika kita mengamatinya dengan kamera telepon genggam, yang dapat menangkap radiasi inframerah, kita dapat melihat sinar cahayanya (gambar 12a dan 12b).



12a



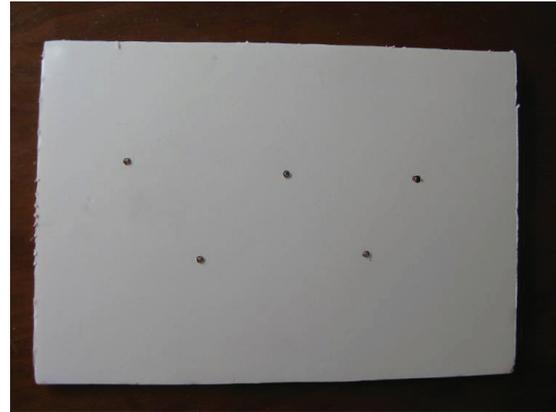
12b

Gambar 12a dan 12b. Cahaya terlihat terhalang seluruhnya tetapi tidak pada inframerah.

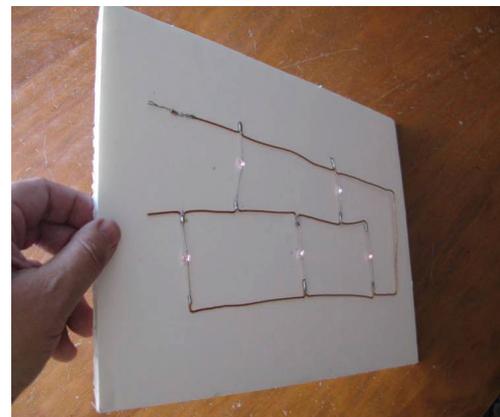
ACTIVITY 6: RASI BINTANG DENGAN INFRAMERAH

Dengan bantuan toko elektronik atau toko *online*, kita dapat membeli lampu LED inframerah, persis seperti lampu yang digunakan pada remot TV, alat musik, dll. Harganya sangat murah (sekitar 0.2 *euro* atau *dollar* atau 3.000 rupiah). Lampu tersebut bekerja pada baterai 3 atau 9V, atau dengan sumber

tenaga DC. Lampu tersebut tersambung secara paralel dengan hambatan antara 100 dan 500 Ω .



13a



13b

Gambar 13a dan 13b: *Cassiopea* terbuat dari lampu LED inframerah. Mereka tersambung secara paralel.

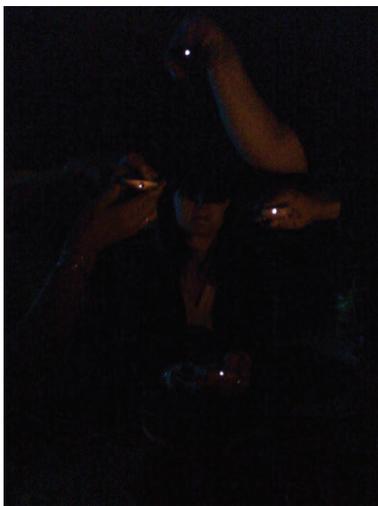
Kita dapat membuat sirkuit kecil dengan beberapa LED, membentuk bintang yang cukup dikenal, contohnya adalah rasi *Cassiopea* (gambar 13a dan 13b), *Orion*, *Crux* atau *Ursa Mayor* (tergantung pada rasi bintang yang kita lihat pada tempat kita tinggal). Amati menggunakan kamera telepon genggam, kita bisa melihat inframerahnya.

AKTIVITAS 7. RASI BINTANG DENGAN REMOT KONTROL

Demonstrasi untuk membuat "rasi bintang" yang lebih mudah dari percobaan sebelumnya yaitu menggunakan beberapa remot kontrol inframerah. Jika remot kontrol digambarkan pada keadaan gelap dengan kamera *digital*, kita dapat melihat rasi bintangnya (gambar 14a dan 14b).



14a



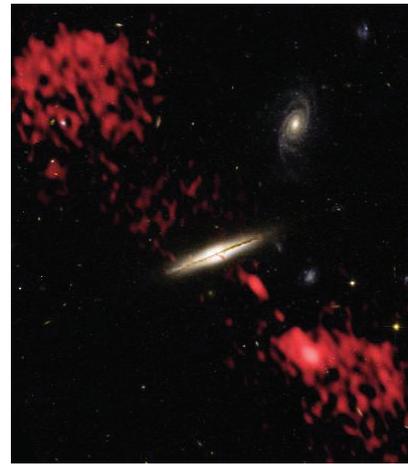
14b

Gambar 14a dan 14b: Membuat rasi salib selatan (*Crux*) dengan remot kontrol

ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA DAERAH RADIO

Radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang dari meter ke kilometer disebut gelombang radio. Mereka digunakan untuk stasiun komersial, tetapi juga dapat berasal dari luar angkasa. Citra radio menunjukkan morfologi khusus, dimana morfologi ini tidak terlihat pada citra dengan panjang gelombang lain (gambar 15a, 15b dan 15c).

Pada Alam Semesta, terdapat banyak sumber radio yang kuat seperti pusat galaksi, bintang *neutron* yang berotasi cepat, atau bahkan beberapa planet seperti planet Jupiter.



Gambar 15a. Galaksi ini memancarkan pancaran yang hanya dapat terdeteksi pada radio (kemerah-merahan).



Gambar 15b: Foto dari galaksi NGC 4261 pada cahaya tampak.

AKTIVITAS 8: MENGHASILKAN GELOMBANG RADIO

Ketika kita membuka dan menutup sambungan listrik, akan terdapat gelombang radio, mirip dengan siaran komersial. Kita dapat menangkap pada radio AM dan diubah ke suara, tipe gelombang yang lain. Daya dari pancaran radio ini berkurang ketika penerima bergerak menjauh. Gelombang radio dapat melewati beberapa halangan termasuk dinding.

Untuk melakukan percobaan ini, kita memerlukan 2 buah kabel masing-masing sepanjang 20 cm. Kita buang plastik pada 2 ujung tiap kabel. Pada kabel yang lain, buang juga plastik pada salah satu ujung dan sisakan sepanjang 10cm dengan plastiknya; buang sisa plastik yang lain. Sisa kabel yang lainnya digulung bulat. Steker ujung lain ke baterai 9V. Kita gunakan pensil lancip di ujung-ujungnya. Kita akan gunakan isi pensil sebagai sumber dari radiasi gelombang. Pada ujung satunya, sambungkan ujung pensil ke potongan kabel pertama, lem dengan selotip. Ujung lainnya tersambung dengan terminal kedua dari baterai (gambar 16).

Nyalakan radio dan atur ke radio AM (bukan FM). Kita ketuk gulungan kabel dengan ujung pensil. Pindahkan garis radio sampai kita mendengar ketukan pada radio. Kita juga dapat mencoba menjauhkan radio, untuk menaruh halangan lain seperti kardus, kayu, dll. Kita juga dapat memindahkan radio ke ruangan lain untuk membuktikan kita dapat mendengar atau tidak.



Gambar 16. Percobaan gelombang radio.

SINAR ULTRAVIOLET (UV)

Foton ultraviolet memiliki energi lebih daripada cahaya tampak. Radiasi pada intensitas tinggi dapat menghancurkan ikatan kimia pada molekul organik, dan ini mematikan untuk kita. Pada kenyataannya, sinar ini digunakan untuk mensterilkan alat-alat bedah atau operasi.

Matahari memancarkan radiasi ini, tetapi untungnya atmosfer kita (khususnya ozon) menyaring hampir seluruh sinar ini dan beberapa sinar UV berguna bagi kehidupan. Radiasi ini membuat kulit kita menjadi hitam (walaupun kebanyakan radiasi ini menyebabkan kanker kulit), diserap oleh tumbuhan untuk fotosintesis dan seterusnya. Tetapi jika lapisan ozon berkurang ketebalannya, Bumi akan menerima intensitas yang terlalu tinggi dan penyakit kanker akan meningkat.

AKTIVITAS 9: LAMPU HITAM (UV)

Ada lampu bohlam yang disebut lampu hitam yang sebagian besar memancarkan sinar ultraviolet (UV) dan sering digunakan untuk pertumbuhan tanaman pada rumah kaca atau pada area yang sinar matahari sedikit. Kaca dari lampu ini hampir semuanya warna hitam, dan memancarkan sedikit cahaya biru gelap. Beberapa kain sintetik pada kaos putih (terutama baju yang dicuci dengan pemutih) akan berpendar pada panjang gelombang ini, dan memantulkan cahaya berwarna ungu cerah. Itulah mengapa tipe pencahayaan ini digunakan pada tempat diskoteka, dimana tisu berwarna putih berubah menjadi warna redup.

Alat ini juga digunakan untuk membuktikan uang dari berbagai negara: memeriksa garis-garis kecil pada bahan berpendar yang dapat dilihat dengan bantuan iluminasi dari sinar UV (gambar 17). Oleh karena itu dapat membuktikan bahwa uang tersebut bukan uang palsu. Lampu ini dibuat sebagai alat pen-

deteksi uang palsu (gambar 18). Banyak kartu ATM memiliki tanda yang dapat dilihat hanya dengan sinar UV.



Gambar 17: Uang pecahan 50 euro yang dilihat dengan bantuan sinar UV menunjukkan garis berpendar yang ditandai dengan garis panah.



Gambar 18: Alat Pendeteksi Uang Palsu, yang menggunakan sinar UV

SINAR-X

Energi lebih besar dari UV adalah radiasi sinar-X. Sinar ini digunakan untuk keperluan kesehatan pada radiografi dan bentuk diagnosa radiologi lainnya (gambar 19a).



19a



19b

Gambar 19a: Sinar-X digunakan pada kesehatan. Gambar 19b: Galaksi M81 dengan citra pusatnya pada sinar-X, diperkirakan keberadaan lubang hitam yang sangat besar

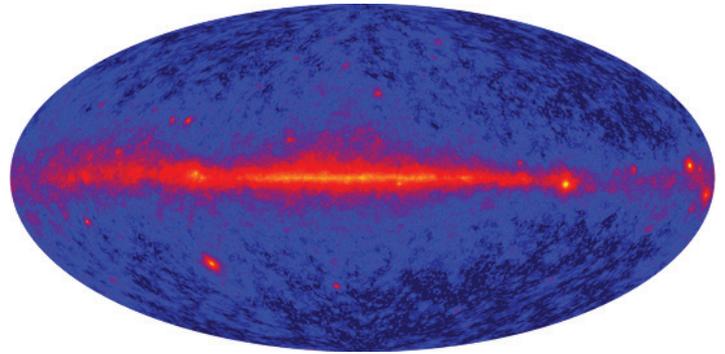
Pada Alam Semesta, Sinar-X dikategorikan sebagai fenomena dan benda yang sangat besar energinya: *black holes* atau lubang hitam, *quasars*, *supernova*, dll. Misi teleskop luar angkasa Chandra adalah untuk mendeteksi dan memonitor benda-benda tersebut. (gambar 19b).

SINAR GAMMA

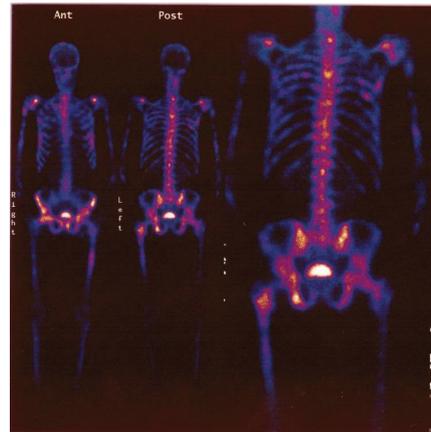
Pada spektrum terakhir, dengan panjang gelombangnya lebih pendek dari sinar-X adalah radiasi sinar gamma. Radiasi ini merupakan radiasi yang paling besar energinya dan diperoleh ketika materi (elektron) bereaksi dengan antimateri (positron). Pada Alam Semesta, terdapat beberapa sumber (gambar 20a), dan biasanya dapat terdeteksi kejadian erupsi hebat yang memancarkan ledakan yang sangat kuat pada daerah sinar gamma untuk beberapa menit atau jam.

Dikarenakan panjang gelombang sinar gamma sangat pendek, permasalahannya berfokus pada bagaimana cara untuk mendeteksi dan mendefinisikan lokasi pasti sumber sinar gamma, selanjutnya dapat dilakukan penelitian objek apakah yang menghasilkan radiasi ini. Objek seperti *Active Galactic Nuclei*, *pulsars* dan *supernova* telah diidentifikasi sebagai sumber sinar gamma.

Pada Bumi, radiasi ini dipancarkan kebanyakan oleh elemen-elemen radioaktif. Layaknya sinar-X, sinar gamma juga digunakan pada citra medis (gambar 20b) dan terapi untuk menyembuhkan penyakit kanker.



20a



20b

Gambar 20a: Peta Alam Semesta yang dilihat dari "Teleskop Luar Angkasa Sinar-Fermi Gamma". Garis pusat tersebut adalah galaksi kita. Gambar 20b: Gambar tulang hasil peninjauan dengan sinar gamma pada tubuh manusia

DAFTAR PUSTAKA

- **Mignone, C., Barnes, R.,** More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Euro Forum, 2014
- Moreno, R, *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp. Madrid 2008.

SUMBER INTERNET

- Spitzer Telescope, Education, California Institute of Technology.
- <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>
- <http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM-Astronomy>
- <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light>
- Chandra X-ray Observatory <http://chandra.harvard.edu/about/>
- The Fermi Gamma-ray Space Telescope <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

PENGEMBANGAN ALAM SEMESTA

Ricardo Moreno, Susana Deustua, Rosa M. Ros

International Astronomical Union, Retamar School (Spain), Space Telescope Science Institute (USA), Technical University of Barcelona, (Spain)

Penerjemah: Elsa Rizkiya Kencana

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RINGKASAN

Lokakarya ini terdiri dari enam aktivitas sederhana yang akan kita kerjakan dengan konsep utama Pengembangan Alam Semesta. Pada aktivitas pertama, kita akan membuat spektroskop untuk mengamati spektrum gas. Pada percobaan kedua, ketiga dan keempat, kita akan melakukan percobaan analisa kualitatif dengan peregangan karet, pemuai balon, dan pembesaran permukaan titik-titik, secara berurutan. Pada aktivitas kelima, kita akan melakukan percobaan analisa kuantitatif dengan pengembangan permukaan dan perhitungan konstanta Hubble. Pada aktivitas keenam, kita akan mende-teksti radiasi latar belakang.

TUJUAN

- Memahami tentang pengembangan Alam Semesta
- Memahami bahwa tidak ada pusat Alam Semesta
- Memahami Hukum Hubble
- Memahami makna materi gelap dan mensimulasikan lensa gravitasi

ASAL MULA ALAM SEMESTA

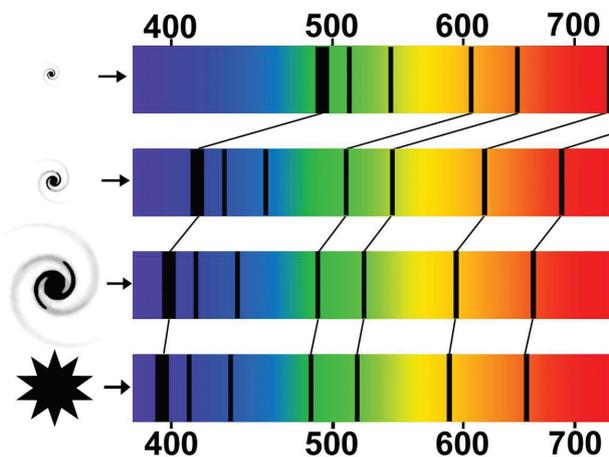
Teori asal mula alam semesta yang paling banyak disetujui dikenal dengan *Big Bang*, ledakan besar yang bermula dari pengembangan ruang itu sendiri. Tidak ada galaksi yang berpindah melalui ruang angkasa, tetapi ruangnya yang berada di antara mereka yang berekspansi, menarik galaksi. Oleh karena itu, kita tidak dapat menyebut pusat dari Alam Semesta, layaknya kita tidak bisa mengatakan negara mana yang menjadi pusat dari permukaan bumi.

Penurunan kecepatan pada galaksi sebanding dengan jaraknya ke kita. Konstanta yang berhubungan dengan hal ini adalah konstanta Hubble. Hukum Hubble menyatakan hubungan secara linier antara jarak galaksi dengan kecepatannya pada saat bergerak.

Big Bang pertama kali diverifikasi dengan adanya pengamatan dari *redshift* pada spektrum galaksi, dan bukti terakhir teori *Big Bang* adalah terdeteksinya CMB (*Cosmic Microwave Background*).

PERGESERAN MERAH (*REDSHIFT*)

Jika pada laboratorium, untuk cahaya yang datang dari gas panas, contohnya hidrogen, kita akan melihat dengan spektroskop beberapa garis berwarna yang sama pada gas tersebut di panjang gelombang tertentu. Jika kita melakukan hal yang sama dengan cahaya datang dari galaksi yang jauh, kita akan melihat garis ini akan sedikit bergeser (gambar 1). Hal ini yang dinamakan pergeseran merah (*redshift*), karena pada sebagian besar galaksi, garis spektrum ini bergerak ke warna merah.



Gambar 1: Makin jauh galaksinya, spektrumnya makin ke arah merah, artinya bahwa galaksi berpindah ke arah kita dengan cepat.

Cahaya *redshift* terjadi dikarenakan perjalanan galaksi menuju kita, sama seperti lokomotif yang bunyi peluitnya berubah kalau mendekati atau menjauhi kita, dan semakin besar pergeserannya, semakin cepat pula kecepatannya.

Studi mengenai spektrum dari Grup Lokal Galaksi, kita menemukan bahwa *Large Magellanic Cloud* atau Awan Besar Magellan menjauhi kita dengan kecepatan 13 km/s sedangkan yang Kecil (*Small Magellanic Cloud*) menjauhi kita dengan kecepatan sekitar 30 km/s. Andromeda bergerak dengan kecepatan 60 km/s ke arah kita, dimana Galaksi M32 menjauh pada kecepatan 21 km/s. Dengan kata lain, galaksi terdekat memiliki perpindahan yang kecil dan relatif tidak teratur.

Tetapi jika kita melihat pada kluster Virgo, pada sekitar jarak 50 juta tahun cahaya, kita dapat melihat semua menjauh dari kita pada kecepatan antara 1.000 dan 2.000 km/s. Dan pada supercluster Coma Berneices yang jaraknya 300 juta tahun cahaya, kecepatannya berkisar antara 7.000 dan 85.000 km/s. Tetapi jika kita lihat dari arah sebaliknya, kita temukan bahwa M74 menjauh dari kita dengan kecepatan 800 km/jam dan M77 dengan kecepatan 1.130 km/s. Dan jika kita lihat galaksi lebih jauh, kecepatan menjauh dari kita lebih besar: NGC 375 bergerak pada kecepatan 6.200 km/s, NGC 562 pada 10.500 km/s, dan NGC 326 pada 14.500 km/s. Semua kecuali galaksi yang sangat dekat dengan kita bergerak menjauh dari kita. Apakah mereka marah dengan kita?

AKTIVITAS 1: EFEK DOPPLER (DOPPLER EFFECT)

Pada efek Doppler, panjang gelombang sangat bervariasi saat sumbernya bergerak. Kita pernah mengalaminya saat suara motor atau mobil pada lintasan balap: suaranya akan berbeda saat mendekat dan menjauh dari kita. Contoh lain yang familiar yaitu saat mobil pemadam kebakaran yang lewat, peluit dari kereta yang bergerak, dll.

Kita dapat menghasilkan suara yang sama dengan cara memutar benda berbunyi seperti jam alarm. Kita tempatkan benda berbunyi tersebut pada tas kain (gambar 2a) dan mengikatkannya. Ketika memutarannya di atas kepala kita (gambar 2b), kita dapat mendengar suara tersebut saat mendekat ke pengamat: λ memendek dan suara yang terdengar lebih kencang. Ketika benda menjauh dari pengamat: λ merenggang dan suaranya terdengar lebih bass dan lebih samar. Sedangkan untuk pengamat yang berada ditengah sebagai pusat rotasi tidak merasakan hal itu.



Gambar 2a: Jam Alarm, Tas dan Tali.



Gambar 2b: Kita putar di atas kepala kita. Pengamat di sekelilingnya tahu perbedaan suara yang dihasilkan.

Ini merupakan efek Doppler dikarenakan perpindahan. Tetapi ini bukan sesuatu yang mempengaruhi galaksi dengan ekspansi/pengembangan. Galaksi tidak bergerak melalui ruang, ruang lah yang mengembang.

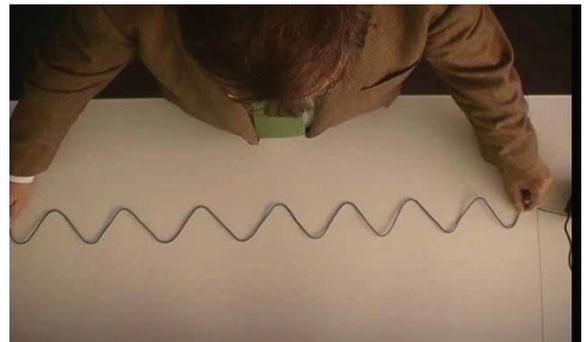
AKTIVITAS 2: “PERENGGANGAN” FOTON

Alam Semesta, ketika mengembang, “merenggangkan” foton di dalamnya. Semakin lama durasi foton tersebut bergerak, semakin merenggang foton tersebut.

Kita dapat membuat model perenggangan dengan kabel semi-kaku, yang biasa digunakan pada instalasi listrik pada rumah. Potong kabel sepanjang satu meter, lalu lekukan dengan tangan dan buat lekukan seperti gelombang sinusoidal, yang menggambarkan macam-macam gelombang (gambar 3a).



Gambar 3a: Membuat gelombang dari kabel rigid



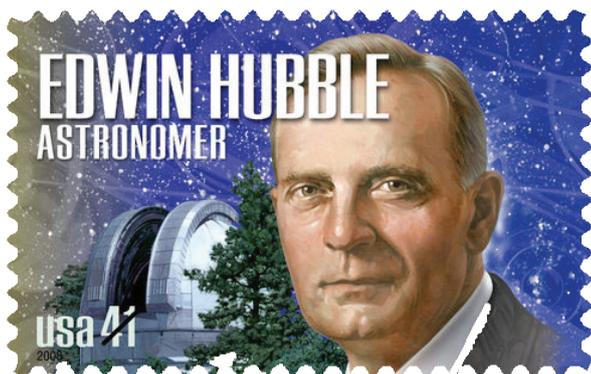
Gambar 3b: Membuat gelombang dari kabel rigid.

Ambil kabel dengan kedua tangan dan renggangkan (gambar 3b) dan amati panjang gelombang yang bertambah, hal yang sama terjadi juga pada radiasi yang datang dari galaksi. Bagian yang jauh dari kita memiliki waktu yang lebih panjang untuk merenggang dan bergeser lebih jauh ke warna merah (λ lebih besar).

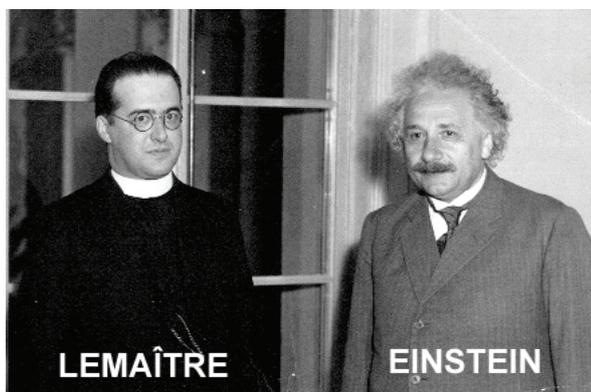
HUKUM HUBBLE

Edwin Hubble (gambar 4) adalah ilmuwan yang mempelajari mengenai data perenggangan tersebut, dan pada 1930 merancang suatu hukum yang kemudian dinyatakan sebagai Hukum Hubble, bahwa semakin jauh jarak galaksi, semakin cepat pula perpindahannya menjauhi kita. Hal ini mengindikasikan bahwa alam semesta mengembang ke segala arah, sehingga semua benda/objek pada posisinya akan menjauhi satu sama lain. Pergerakan menjauh dari kita yang dapat kita lihat pada semua galaksi, bukan berarti bahwa kita berada di tengah mereka: alien juga akan melihat hal yang sama dari manapun di alam semesta ini, sama seperti yang terjadi pada ledakan

kembang api: semua partikel cahaya akan bergerak menjauh karena ledakan bubuk kembang api tersebut.



Gambar 4: Edwin Hubble.

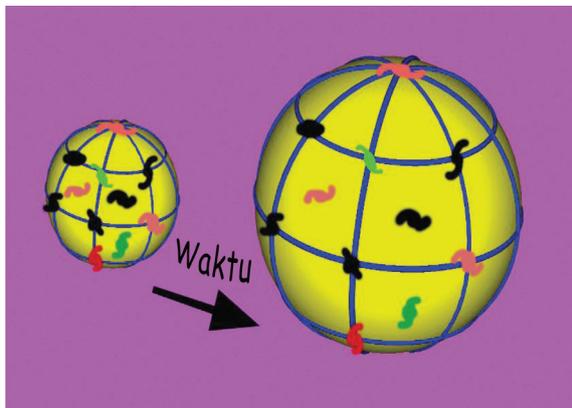


Gambar 5: George Lemaitre dan Albert Einstein.

Perlu ditekankan, hal sebenarnya yang terjadi, bukan galaksi yang bergerak melalui ruang, tetapi ruang di antaranya yang berkembang, yang mengakibatkan pergeseran galaksi.

Jika pengembangan ruang terjadi pada semua arah, maka jika waktu diputar kembali, permasalahan utama berfokus pada momen awal dari semuanya bermula.

Itulah bagaimana pastur Belgia dan ahli astronomi Georges Lemaitre (gambar 5) menemukan model alam semesta sekarang yang dapat diterima: terdapat ledakan besar, dan hingga sekarang teori inilah yang masih kita pegang. Pada teori pengembangan ini, ruang itu sendiri yang mengembang. Untuk memahami hal ini, bayangkan balon karet dengan banyak titik-titik digambar pada permukaannya, anggap titik tersebut sebagai galaksi (gambar 6). Semakin membesar/mengembang, ruang yang elastis antara titik bertambah jauh. Demikian juga, seiring waktu yang berjalan, ruang akan mengembang dan benda yang di dalamnya semakin menjauh.



Gambar 6: Seiring berjalannya waktu, ruang mengembang, & material di dalamnya menjauh satu sama lain

Oleh karena itu, kecepatan menjauh galaksi akan sebanding dengan jaraknya dari kita. Konstanta yang berhubungan disebut konstanta Hubble. Hukum Hubble berhubungan dengan jarak galaksi dan kecepatan dinyatakan dengan rumus:

$$v = H \cdot d$$

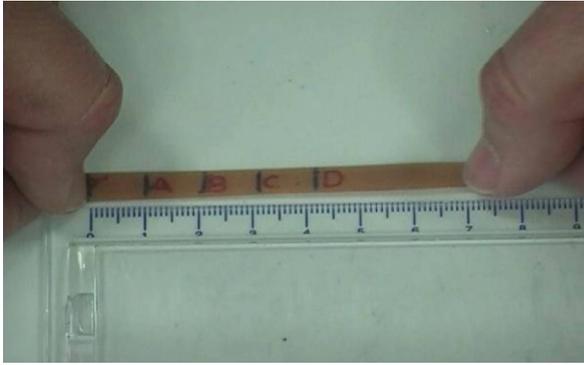
Secara sederhana nilai konstanta ini dapat diperoleh dengan mengetahui kecepatan dan jarak dari beberapa galaksi. Kisaran kecepatan galaksi bergerak menjauh dapat dengan mudah dihitung secara akurat melalui *redshift*, tetapi untuk mengukur jarak, terutama pada kasus galaksi yang sangat jauh, nilai ini sangat susah didapatkan. Peneliti tidak setuju dengan hasil perolehan konstanta Hubble. Dengan penggunaan satu metode atau lainnya, hasil yang muncul secara umum berkisar antara 50 hingga 100 km/s per megaparsec. Hasil yang disetujui saat ini yaitu mendekati 70, dan mengindikasikan umur alam semesta yaitu 13.700 juta tahun.

AKTIVITAS 3: ALAM SEMESTA PADA KARET KAIN

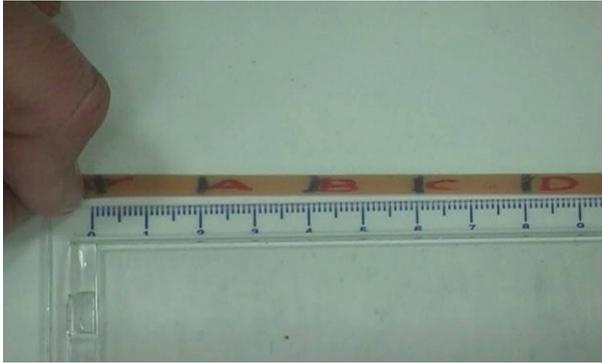
Edwin Hubble menemukan bahwa semua galaksi menjauh dari kita. Semakin jauh mereka, semakin cepat mereka berpindah menjauhi kita. Hukum Hubble mengatakan bahwa kecepatan menjauh dari galaksi relatif sebanding dengan jaraknya. Hal ini tentu saja merupakan konsekuensi logis akibat pengembangan alam semesta. Dan walaupun semua galaksi menjauh dari kita, bukan berarti kita adalah pusat dari alam semesta

Dengan spidol, tandai setiap satu sentimeter pada karet kain. Setiap tanda menggambarkan galaksi (A, B, C,...). Galaksi kita adalah yang pertama. Letakkan karet di sebelah penggaris (gambar 7a), dan galaksi kita terdapat pada tanda di 0 cm. Galaksi yang lain, B, C, ditandai pada 1, 2, 3, 4, ... cm

Renggangkan karet kain (gambar 7b) dan galaksi kita tetap pada tanda 0 cm dan galaksi yang lain (A) terdapat pada titik 2 cm. Jarak galaksi ini terhadap kita menjadi lebih jauh sebanyak 2 kali lipat. Apa yang terjadi dengan jarak antara galaksi lain B, C, D dan kita sendiri? Apakah menjauh sebanyak 2 kali lipat juga?



Gambar 7a: Karet kain awal.



Gambar 7b: Karet kain yang diregangkan.

Asumsikan waktu yang diperlukan dalam perenggangan karet tersebut adalah 1 detik. Apakah kecepatan menjauh dari galaksi lain semua sama? Atau beberapa ada yang lebih cepat dari lainnya? Bagaimana galaksi selanjutnya yang tidak berpenghuni melihat galaksi kita dan galaksi lainnya? Apakah mereka juga melihat yang lainnya bergerak menjauh?

AKTIVITAS 4: ALAM SEMESTA PADA BALON

Dengan pengembangan alam semesta, terdapat ruang antar galaksi yang mengembang. Galaksi itu sendiri tidak mengembang, tidak juga rumah kita. Benda yang terikat dengan gravitasi, ukuran benda tersebut tidak akan menjadi lebih besar.

Terdapat percobaan mudah yang dapat mendemonstrasikan hal ini, yaitu dengan menggunakan balon yang awalnya mengembang sedikit. Lalu tempel beberapa kapas atau styrofoam kecil pada permukaannya. Lalu tiup balon sampai balon mengembang cukup besar. Kapas tersebut akan menjauh dari yang lainnya (gambar 8a dan 8b). Beberapa ada yang lebih menjauh dari lainnya, tetapi tidak ada yang mendekat. Ini adalah contoh sederhana dari pengembangan alam semesta.



Gambar 8a: Kapas yang dilem pada balon yang mengembang sedikit balloon



Gambar 8b: Kapas tersebut menjauh ketika balon mengembang lebih besar

AKTIVITAS 5: MENGHITUNG KONSTANTA HUBBLE

Hukum Hubble berbunyi bahwa kecepatan (v) galaksi sebanding dengan jarak dengan kita: $v = H \cdot d$. Konstanta H disebut konstanta Hubble, dan kita dapat menghitung menggunakan jarak dan kecepatan pada beberapa galaksi. Dengan rumus di atas:

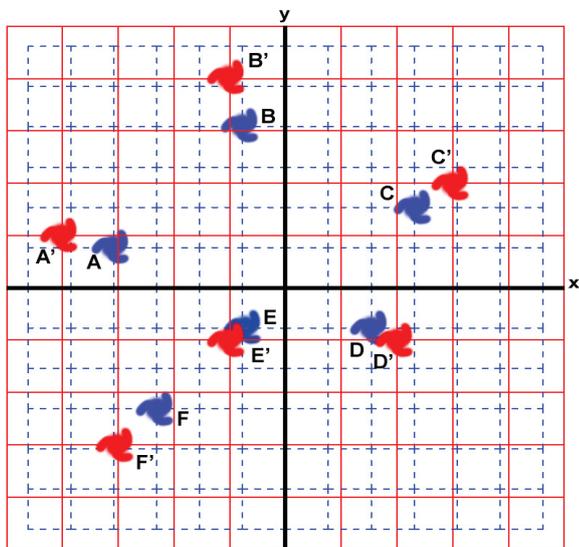
$$H = v/d$$

Diagram dari gambar 9 menunjukkan ruang, digambarkan dengan garis putus-putus biru, dengan kita sebagai pusat dan beberapa galaksi berwarna biru di sekitar kita. Setelah beberapa waktu, katakanlah 10 detik, dan semua garis (garis utuh) dan galaksi digambarkan dengan warna merah.

Isi tabel 1 di bawah gambar. Pada tiap baris, masukan data dari tiap galaksi. Contohnya, koordinat yang dihitung dengan kotak biru (garis putus-putus) atau merah (garis utuh) dengan A atau A' secara berurutan, dan jarak d dihasilkan dengan menghitung panjang dengan penggaris dengan satuan sentimeter, dimulai dari pusat galaksi kita. Data kolom Δd didapatkan dari pengurangan jarak dari A' dan A. Pada kolom terakhir kita gunakan jarak sebelum mengembang (A bukan A') pada penyebut.

Perhatikan bahwa:

- a. Koordinat tiap galaksi tidak berubah pada pengembangan (galaksi tidak pindah pada ruang).
- b. Hasil H hampir konstan untuk semua galaksi.



Gambar 9: Garis utuh (merah) sama dengan garis putus-putus (biru) tetapi mengembang. Galaksi nya terletak pada koordinat yang bersesuaian.

Tabel 1: Dengan koordinat galaksi sebagai contoh

Galaksi	Koordinat x,y	$d = \text{jarak dari titik awal}$	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4,1)				
A'	(-4,1)				
B	(-1,4)				
B'	(-1,4)				
C	(3,2)				
C'	(3,2)				
D	(2,-1)				
D'	(2,-1)				
E	(-1,-1)				
E'	(-1,-1)				
F	(-3,-3)				
F'	(-3,-3)				

Tabel 2: Lengkapi data dari gambar 9.

Galaksi	Koordinat x,y	$d = \text{jarak dari titik awal}$	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

BIG BANG

Saat ini, teori awal mula alam semesta dari ledakan besar diterima dengan baik oleh komunitas peneliti, walaupun ada beberapa yang ragu dan merasa bahwa masih ada beberapa detail yang tidak bisa dijelaskan. Pada tahun 1994, majalah Amerika Sky and Telescope memiliki kontes untuk pembaharuan istilah teori ini. 12.000 pendaftar diterima tetapi tidak ada yang dapat menggantikan istilah yang sudah ada: teori Big Bang. Istilah tersebut dipilih oleh ahli astronomi Fred Hoy-

le yang bermaksud menggunakan istilah ini secara peyoratif, Hoyle merupakan tokoh anti-agama, walaupun teori yang dicetuskan terlihat terlalu konsisten dengan ide adanya Sang Pencipta.

Dengan mengamati pengembangan alam semesta, menunjukkan bahwa dalam masa lampau, saat ledakan besar ini terjadi, akan mengakibatkan mengembangnya ruang dan waktu seperti yang kita ketahui sekarang. Kita mungkin bisa bertanya bagaimana itu bisa terjadi dan mengapa terjadi. Sains tidak memiliki jawabannya karena sains hanya bekerja pada materi yang sudah ada. Sains dapat mencoba menjelaskan bagaimana perilaku materi setelah Big Bang, tetapi tidak dapat menjelaskan mengapa materi itu ada. Pertanyaan seperti ini diperuntukkan untuk filosofe, seseorang yang belajar mengenai metafisika (tingkatan lebih tinggi dari fisika).

Beberapa percobaan dilakukan untuk menjelaskan hal ini dengan beberapa konsep fisika seperti fluktuasi kuantum dari kekosongan (*quantum fluctuations of vacuum*), akan tetapi konsep ini akan meragukan konsep ketiadaan (*vacuum with nothing*): teori kuantum ini benar ada, dimana teori ini memiliki ruang dan beberapa energi. Konsep ketiadaan, berarti ketidakhadiran dari semua materi yang ada, termasuk ruang dan energi, sehingga teori ini bukan lagi dalam ranah saintifik, tapi metafisik. Pada kekosongan/ketiadaan, semuanya tidak dapat muncul dan berfluktuasi. Teori lain mengatakan adanya multi-universe tetapi secara definisinya tidak mungkin untuk diverifikasi (jika kita bisa mengamati alam semesta lain, maka mereka juga termasuk bagian dari kita, karena alam semesta kita adalah seluruh materi yang dapat kita teliti dan pelajari). Oleh karena itu, teori tersebut sangat tidak saintifik.

Kembali ke sains. Awal mulanya, semua materi dan energi sangatlah kecil dan padat. Big Bang adalah ledakan ruang yang memulainya waktu, dan dari saat tersebutlah, semuanya menjadi beroperasi, dengan hukum yang berlaku (sesuai dengan yang kita pelajari selama ini), dan mengawali alam semesta hingga saat ini.

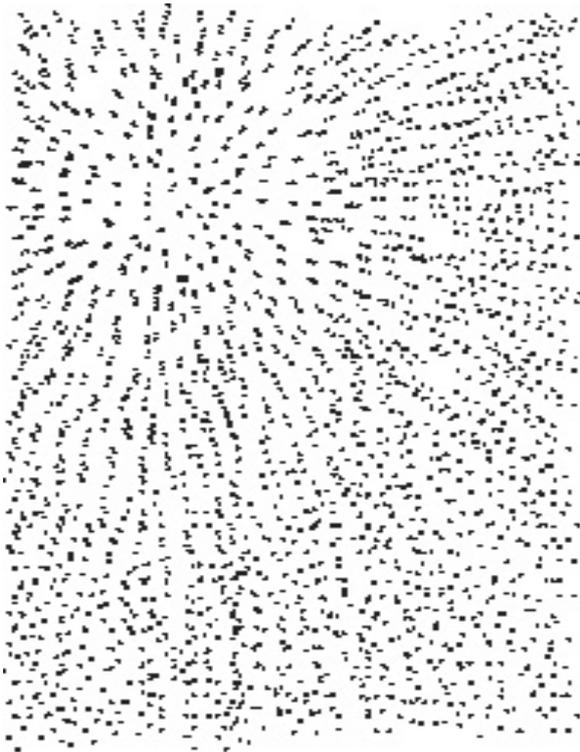
AKTIVITAS 6: TIDAK ADA PUSAT PENGEMBANGAN

Pada halaman selanjutnya terdapat gambar (gambar 10) dengan banyak titik yang mensimulasikan galaksi kita pada waktu tertentu. Pertama, gandakanlah gambar tersebut pada kertas transparan (kertas mika bening, cetak dengan bantuan *digital printing*) dan yang lainnya di kertas berbeda dengan diperbesar sedikit (contoh diperbesar 105%).

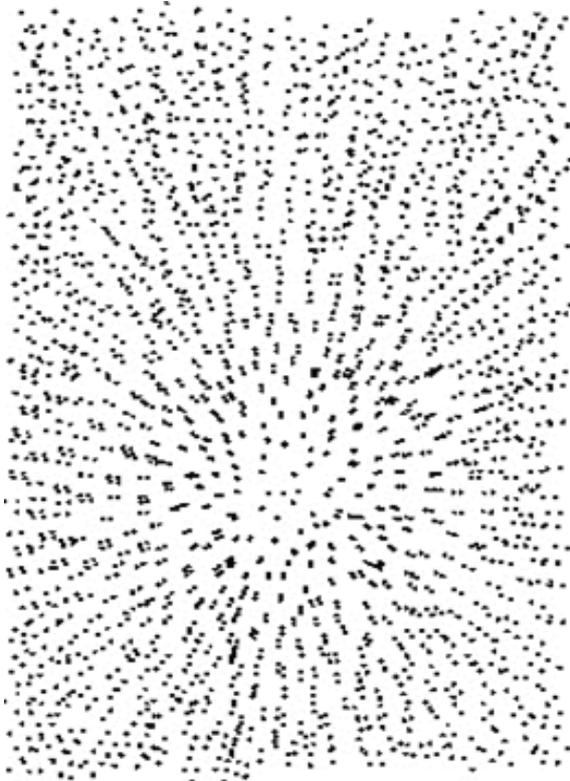
Jika ditumpuk kedua kertas ini (gambar 11a), maka kita akan mendapatkan gambaran pengembangan ruang terhadap waktu: cocokkan gambar pada satu titik, dan kita dapat mengamati pergerakan dari semua titik radial secara jelas, dimana lebih besar lebih jauh dari titik yang ditunjuk. Terlihat bahwa titik akan bergerak lebih cepat untuk titik yang berada lebih jauh dari titik yang ditunjuk.

Tetapi jika dicocokkan pada titik lain (gambar 11b), akan terjadi hal yang sama. Jadi itu terjadi pada alam semesta: dari galaksi kita, kita melihat semua bergerak menjauh, dan bergerak cepat menjauhi pengamat. Kita mengira kita lah pusat dari alam semesta, tetapi bukan, pengamat dari galaksi lain akan meli-

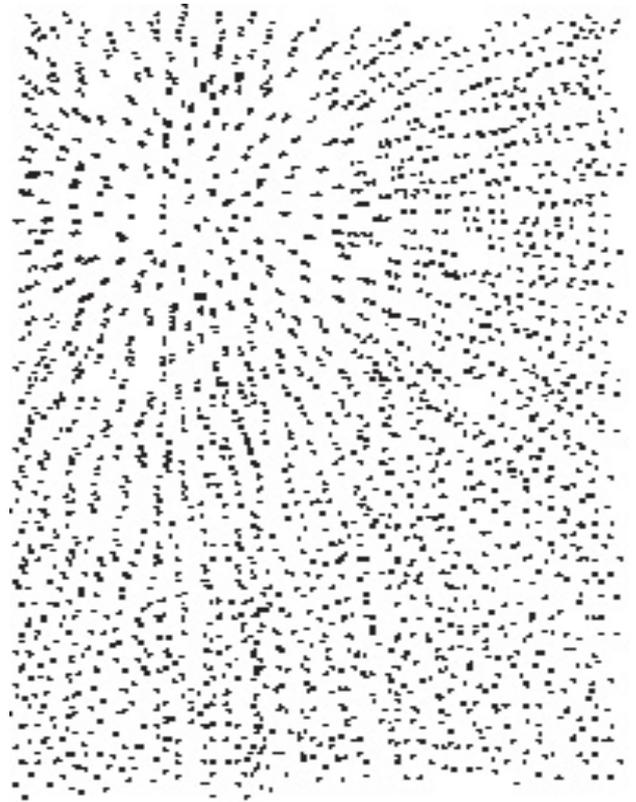
hal yang sama dan seolah-olah menjadi pusatnya. Sehingga kesimpulannya tidak ada pusat alam semesta.



Gambar 11b: Pengamat mengambil titik lain, juga terlihat bahwa semuanya bergerak menuju titik itu: tidak terdapat pusat pada alam semesta .



Gambar 11a: Superposisi dari 2 gambar, salah satunya diperbesar 105%.

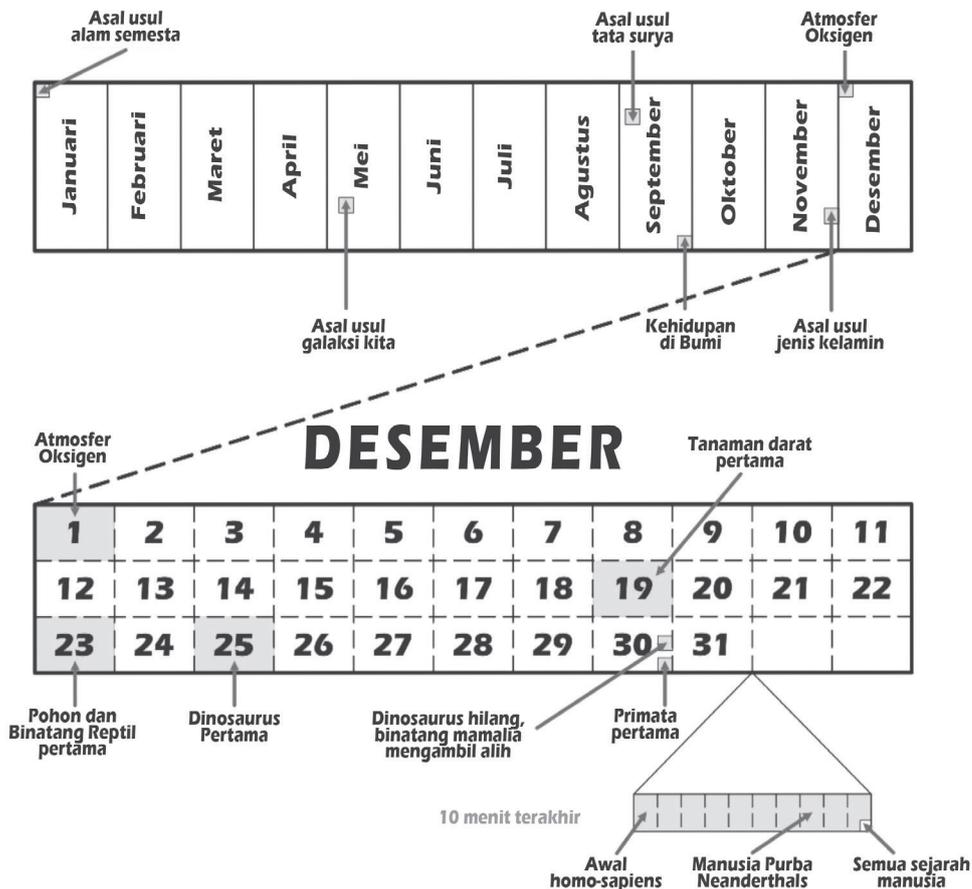


Gambar 10: Fotokopi halaman ini di kertas transparan dan diperbesar 105%

PENGEMBANGAN ALAM SEMESTA

Untuk mengetahui sejarah lebih lanjut tentang alam semesta, asumsikan waktu yang terjadi sejak Big Bang hingga saat ini dimampatkan menjadi satu tahun dari 1 Januari ke 31 Desember (tinjau gambar 12).

Pada bulan April, Galaksi Bima Sakti terbentuk. Pada bulan Agustus, Matahari terbentuk, dan Bumi berbentuk bulat pada akhir bulan. Menjelang bulan Oktober, oksigen muncul di atmosfer. Meskipun makhluk hidup sederhana muncul sesaat setelahnya di Bumi, sel inti muncul pada 2 Desember, dan pada 12 Desember, organisme multiseluler pertama hadir. Pada tanggal 19 Desember, ikan pertama muncul, begitu juga tanaman, serangga, dan hewan amfibi pada tanggal 21 dan 22. Tanggal 25, Dinosaurus muncul, dan punah pada tanggal 28. Pada tanggal 30, mamalia pertama hidup di Bumi, kemudian tidak sampai tanggal 31 Desember pukul 11 malam, manusia pertama muncul. Pada pukul 11.57 malam, saat manusia primata (*Neanderthal man*) hidup, dan gambar pada gua Altamira terjadi di menit akhir. 5 detik sebelum pukul 12 malam ketika Yesus lahir. Abad terakhir ada pada akhir 2/10 detik.



Kalender Kosmik - sejarah alam semesta yang disingkat dalam satu tahun. Semua sejarah yang tercatat (peradaban manusia) terjadi pada 21 detik terakhir.

Gambar 12: Sejarah Alam Semesta yang dianalogikan dalam jangka satu tahun (Kalender Kosmik). Kalender Kosmik merupakan Sejarah Alam Semesta yang dianalogikan dalam satu tahun. Semua pencatatan sejarah (peradaban manusia) terjadi pada 21 detik terakhir.

RADIASI LATAR BELAKANG (MICROWAVE BACKGROUND RADIATION)

Pada mulanya, saat suhu yang sangat tinggi, 4 gaya yang kita ketahui bersatu. Gaya Gravitasi, gaya elektromagnetik, gaya nuklir kuat dan lemah (dua gaya terakhir berkerja pada atom) bersatu. Lalu mereka berpisah dan membentuk foton, elektron, proton dan elemen partikel lainnya. Saat alam semesta mengembang, lingkungan menjadi lebih dingin. Setelah 300.000 tahun, suhu menurun dan atom mulai membentuk formasi, paling banyak hidrogen dan helium. Kepadatan menurun, dan foton bebas bergerak ke segala arah: muncullah cahaya. Peneliti mengatakan bahwa alam semesta menjadi transparan. Foton bergerak melalui ruang, walaupun keadaan semakin dingin, sehingga panjang gelombangnya naik secara cepat (gambar 13), kemudian mereka menjadi foton yang

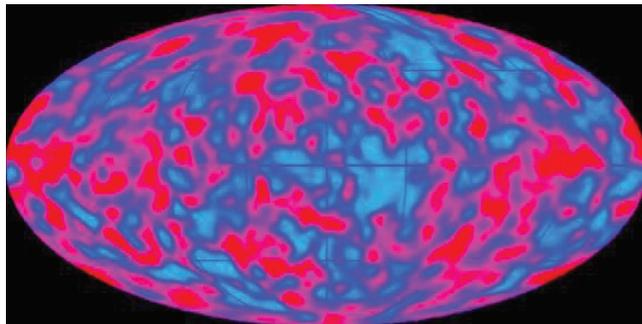
lebih dingin, yang mengantarkan energi hanya 2,7 derajat Kelvin. Foton ini dinamakan *Cosmic Microwave Background* atau CMB.

Radiasi ini pertama dideteksi pada tahun 1964 oleh Penzias dan Wilson di Amerika. Mereka mencoba mereduksi semua gangguan (*noise*) pada teleskop radio, dikarenakan teleskop selalu menangkap pancaran panjang gelombang sepanjang 7,35 cm dimanapun antena teleskop tersebut mengarah. Mereka meninjau semua rasi bintang dan bahkan berasumsi jika beberapa sarang burung di antena sebagai penyebabnya, tetapi mereka tetap tidak dapat menghilangkan gangguan tersebut. Mereka menyimpulkan bahwa gangguan berasal dari badan pemancar, yang memiliki suhu 2,7 derajat Kelvin - temperatur alam semesta saat ini - dan tidak berada pada tempat tertentu. Alam semesta itu sendiri yang pada dasarnya memancarkan radiasi, sebuah peninggalan *Big Bang*. Kita juga dapat mendeteksinya dengan menyalakan TV di siaran apapun: sekitar 1 dari 10 titik yang kita lihat pada layar merupakan hasil dari radiasi latar belakang. Pancaran radiasi ini terletak pada daerah gelombang mikro (*microwave wavelength*), layaknya oven yang digunakan di rumah, tetapi dengan energi yang lebih sedikit: hanya dapat menghangatkan makanan sampai 2,7 derajat Kelvin.

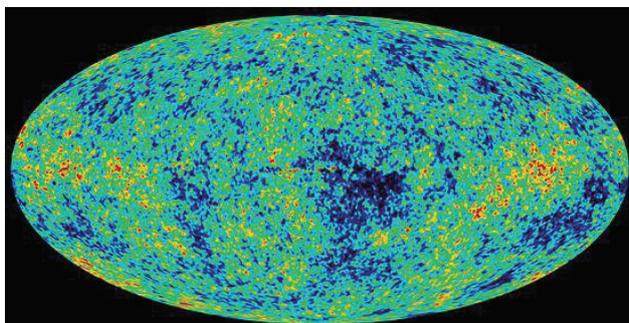


Gambar 13: Waktu selama ruang mengembang, foton mengembang pada panjang gelombangnya. Inilah yang disebut sebagai radiasi latar belakang .

Walaupun radiasi ini terlihat sangat seragam di alam semesta, G. Smoot, R. Mather dan tim dapat melihat sedikit variasi pada hasil pengamatan oleh satelit COBE (gambar 14a), hingga ketelitian seperjuta derajat. Fluktuasi ini dideteksi pula secara serempak pada percobaan Tenerife di Canary Islands Institute of Astrophysics. Dan pada tahun 2001, NASA meluncurkan teleskop WMAP untuk mempelajari radiasi latar belakang dengan tingkat resolusi lebih tinggi. (gambar 14b).



Gambar 14a: Foto dari COBE .



Gambar 14b: Foto dari WMAP .

Walaupun kecil, variasi ini merupakan jejak dari kumpulan materi darimana galaksi terbentuk. Kita tidak tahu apa yang menyebabkan fluktuasi kepadatan ini. Yang dapat kita katakan ialah "kerutan" muncul pada area pembentukan, dan kondensasi mulai terjadi pada proto-galaksi yang terjadi hanya

beberapa ratus juta tahun setelah Big Bang. Semua bintang pertama terbentuk hampir secara bersamaan pada awal pembentukan galaksi.

AKTIVITAS 7: DETEKSI RADIASI LATAR BELAKANG

Berkisar 300.000 tahun setelah *Big Bang*, foton terpisah dan mulai bergerak bebas di alam semesta. Ketika ruang mengembang, foton ini juga merenggangkan panjang gelombangnya. Saat ini kita estimasikan bahwa panjang gelombang foton berkisar 2 mm yang cocok dengan daerah mikro (*microwave*), dan ekuivalen terhadap pancaran benda hitam (*black body*) pada suhu 2,7 derajat Kelvin.

Penzias dan Wilson, pada tahun 1964 pertama kalinya mendeteksi radiasi latar belakang, radiasi yang datang bersamaan dari segala arah. Satelit COBE (gambar 14a) dan selanjutnya WMAP (gambar 14b) membuat perhitungan yang sangat akurat dari radiasi ini pada segala arah, mendeteksi variasi kecil dari satu area ke area lainnya, menunjukkan apa yang telah terjadi di area tersebut pada waktu lampau hingga munculnya cluster galaksi.

Kita juga dapat mendeteksi dasar radiasi dengan TV sederhana (gambar 15). Untuk melakukan ini, hidupkan TV ke siaran analog kosong. Terlihat muncul titik-titik yang berubah secara konstan. Paling tidak 10%, sepersepuluhnya dari titik-titik tersebut berasal dari radiasi latar belakang alam semesta.



Gambar 15: Beberapa titik-titik dari layar TV analog yang tidak bersiaran datang dari radiasi latar belakang.

MENGAPA LANGIT GELAP DI MALAM HARI?

Pertanyaan ini adalah judul yang menarik dari sebuah artikel yang diterbitkan German Heinrich Olbers pada tahun 1823. Sebelumnya, di tahun 1610, Kepler mempertimbangkan ini sebagai bukti bahwa alam semesta tidak tak terhingga. Edmund Halley, ratusan tahun setelahnya, memperhatikan beberapa area cerah di langit dan menyarankan bahwa langit tidak cerah seutuhnya selama malam, dikarenakan walaupun

alam semesta itu tak terhingga, bintang tidak terdistribusi secara merata. Bahkan penulis Edgar Allan Poe (1809-49), menulis tulisan terkait topik ini⁵. Lebih lanjut, topik ini tercatat dalam sejarah sebagai *Olbers's Paradox*.



Gambar 16a Johannes Kepler



Gambar 16b Edmund Halley



Gambar 16c Heinrich Olbers



Gambar 16d Edgar Allan Poe

Jawabannya terlihat sepele, tapi tidak setelah membaca artikel Olbers. Alasan Olbers mengacu pada paradoks bahwa langit malam harusnya cerah seperti biasanya. Mari kita lihat alasannya.

Alasan Olbers berdasarkan dari prinsip di bawah ini:

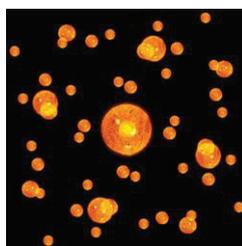
1. Alam semesta tidak terhingga
2. Bintang terdistribusi kurang lebih merata di alam semesta
3. Semua bintang memiliki tingkat kecerahan yang sama sepanjang alam semesta

Tinjau alam semesta dari Bumi. Asumsikan cangkang bulat tempat bintang berada di malam hari dengan jarak R_1 . Jumlah bintang yang ada yaitu N_1 . Lalu cangkang bulat bintang selanjutnya berada pada jarak yang lebih jauh R_2 . Masing – masing bintang memiliki kecerahan yang hampir sama, namun setiap lapisan lebih besar dari sebelumnya dan terdiri lebih banyak bintang, sesuai dengan prinsip No.2 (intensitas cahaya menurun dengan perbandingan $1/R^2$, sehingga jumlah bintang meningkat sebanyak R^2). Kesimpulannya adalah bahwa lapisan kedua menerangi Bumi seperti lapisan pertama. Dan menurut prinsip No.1, terdapat lapisan yang sangat banyak tak terhingga,

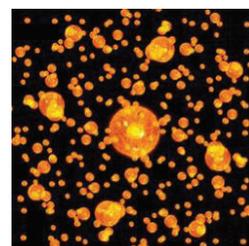
jadi kesimpulannya bahwa langit harusnya terlihat cerah pada malam hari.

Dengan kata lain: jika kita mengamati langit malam, dimana terdapat tak hingga banyaknya bintang, mata kita seharusnya selalu bisa melihat permukaan bintang, dan oleh karena itu kita melihat area bercahaya di sana. Dan jika itu terjadi di langit, akan terlihat sangat terang.

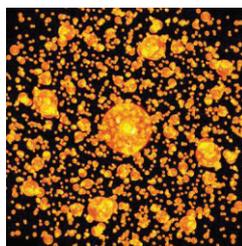
Tentu saja bahwa hal ini tidak benar. Paradoks Olbers menyebabkan banyak kontroversi dan tidak dapat dipecahkan dengan memuaskan hingga awal abad ke 20 dengan teori *Big Bang*. Argumen itu sendiri benar, namun tidak didukung dengan prinsipnya. Memang dalam pengembangan alam semesta, cahaya yang berasal dari bintang jauh berada pada *red-shift* yang lebih besar dan jauh sekali. Secara tidak langsung itu akan melemahkan intensitas radiasinya, jadi prinsip No.3 tidak benar. Kita juga mengetahui bahwa semakin jauh bintang, semakin lama cahaya akan sampai ke kita, sehingga kita melihat bintang tersebut pada masa lampunya. Bintang yang berada sangat jauh cenderung terbentuk tidak lama setelah *Big Bang*, tetapi kita tidak dapat mengamatinya lebih jauh, sehingga lapisan bintang berhingga banyaknya – prinsip No.1 juga salah.



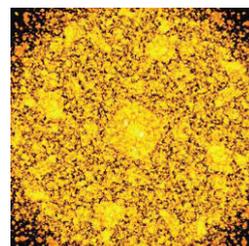
Cahaya yang datang dari bintang yang dekat



Tetapi terdapat juga bintang jauh yang mengirim cahayanya ke kita



Makin jauh, makin banyak bintang



Dari titik manapun di langit, kita pasti bisa melihat cahaya bintang

Gambar 17: Gambaran umum dari Wikimedia

Pada abad ke 20, solusi Paradoks Olber terselesaikan dengan pemahaman dari pengembangan dan terutama dengan umur alam semesta, dimana umurnya tidak tak terhingga. Untungnya, malam hari masih gelap!

5 Pada "Eureka", sebuah esai ilmiah terbitan Februari 1848, Edgar memberikan penjelasan tentang kegelapan "kosong" ("empty" dark) di antara bintang-bintang yang diamati: "Kita dapat memahami kekosongan (*void*) yang ditemukan teleskop kita dalam segala arah dengan asumsi bahwa jarak dasar tak terlihat sangat besar sehingga tidak ada cahaya yang sampai ke kita"

GRAVITATIONAL LENSES (LENSA GRAVITASI)

Cahaya selalu mengikuti jarak terdekat antara dua titik. Tetapi jika ada massa, lalu ruang tersebut melengkung, maka jarak terdekatnya adalah lengkungan tersebut seperti pada gambar 18a. Gambaran ini mudah dipahami oleh siswa. Kita dapat dengan mudah menunjukkan pada bola dunia (gambar 18c). Mereka dapat dengan mudah mengerti bahwa pada permukaan bumi, jarak dari satu titik ke titik lain selalu berbentuk lengkungan.

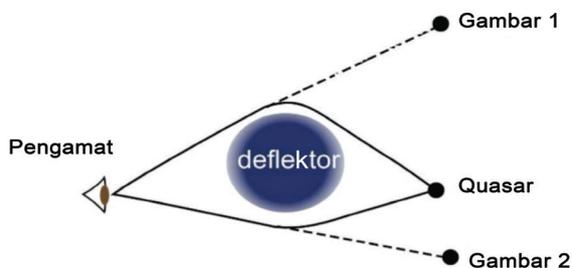


Gambar 18a dan 18b: Jika ruang melengkung, maka jarak antara 2 titik berupa lengkungan

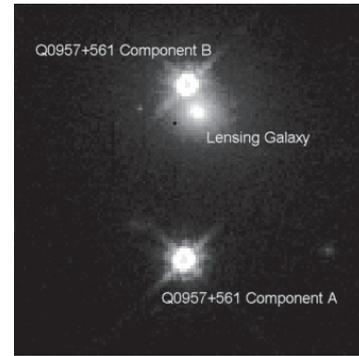


Gambar 18c: Jarak terdekat di atas permukaan globe bukan garis lurus .

Pada umumnya, kita dapat membayangkan lensa gravitasi seperti lensa biasa, tetapi berfokus pada defleksi cahaya pada lintasan cahaya yang dikeluarkan dari massa yang besar, disebut *deflector* atau pembelok (gambar 19a).



Gambar 19a: Pengamat melihat 2 citra, citra itu muncul seolah-olah cahaya datang dari dua tempat yang berbeda.



Gambar 19b: Potret dari quasar ganda Q0957+561. Deflektornya adalah galaksi terdekat ke komponen B.

Lensa gravitasi menghasilkan lengkungan pada sinar cahaya yang dipancarkan oleh objek astronomi. Jika objek-objek tersebut adalah sumber cahaya (bintang atau *quasar*), mereka terlihat berada pada tempat yang berbeda dari tempat mereka sebenarnya, atau terkadang menghasilkan beberapa gambar dari objek tersebut (gambar 19b). Jika objek-objek yang dapat memancarkan ini cukup lebar (contoh: galaksi), gambarnya terlihat terdistorsi seperti busur cahaya (gambar 20a, 20b dan 20c).

AKTIVITAS 8: SIMULASI LENS GRAVITASI MENGGUNAKAN GELAS ANGGUR (WINE).

Kita dapat mensimulasikan lensa gravitasi dengan menggunakan gelas anggur. Eksperimen ini menunjukkan bagaimana mengenalkan distorsi pada hasil pengamatan.

Sangat mudah untuk meninjau bahwa simulasi ini mengarah pada "distorsi ruang" yang teramati. Secara sederhana letakkan gelas pada kertas milimeter blok dan lihat melalui anggur putih (atau jus apel). Kita dapat melihat distorsi garis milimeter blok (gambar 21a dan 21b).

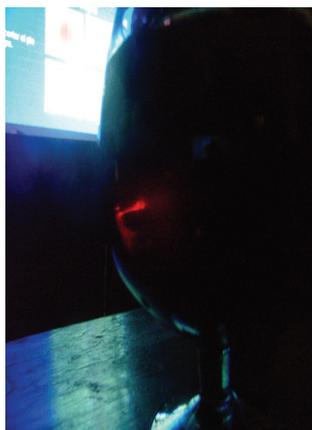


Gambar 21a dan 21b: Kita hanya dapat melihat distorsi dari garis milimeter blok jika gelas terisi penuh.

Sekarang mari kita simulasikan cincin Einstein atau citra berganda. Ambil senter, letakkan senter pada sisi lain dari gelas yang terisi penuh jus atau anggur merah, dan amati sinar cahaya yang melewati isi gelas tersebut.

Lihat pada sinar cahayanya, kita pindahkan dari kanan ke kiri dan dari atas ke bawah. Dapat kita perhatikan bahwa cahaya menghasilkan citra berulang dan pada beberapa kasus terdapat lengkungan cahaya. Hal ini terjadi akibat dari gelas yang

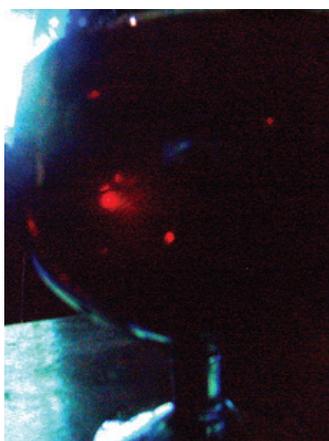
berperan sebagai lensa, yang akan membelokkan lintasan cahaya. Secara khusus, kita akan melihat citra yang tak berbentuk, atau cahaya terang titik merah, empat titik merah atau busur merah di antara titik-titik (gambar 22a, 22b dan 22c).



Gambar 22a: Cahaya senter terdistorsi sebagai busur di antara cahaya terang titik merah.



Gambar 22b: Seperti persegi panjang yang tak berbentuk



Gambar 22c: *Einstein cross*.

Kita juga dapat mensimulasikan lensa gravitasi dengan melihat melalui kaki gelas anggur. Jika kita menaruh kaki gelas pada kertas milimeter blok dan mengamatinya, kita dapat lihat deformasi dari garis-garis milimeter blok (gambar 23).

Pindahkan kaki gelas secara perlahan dari kanan ke kiri di atas objek (contoh: lingkaran merah berukuran 3cm), kita dapat menghasilkan bentuk yang diamati dari lensa gravitasi (gambar 24a, 24b dan 24c).



Gambar 23: Deformasi garis-garis.



Gambar 24a, 24b dan 24c: Kaki gelas dapat mensimulasikan beberapa bentuk yang teramati oleh lensa gravitasi; ruas busur (*arc segments*), citra beberapa titik, dan cincin Einstein.

DAFTAR PUSTAKA

- Moreno, R. *Experimentos para todas las edades*. Ed. Rialp., Madrid. 2008.
- Moreno, R. *Taller de Astrofísica*. Cuadernos ApEA. Antares, Barcelona. 2007.
- Moreno, R. *Historia Breve del Universo*. Ed. Rialp., Madrid. 1998.
- Moreno, A, Moreno, R. *Taller de Astronomía*. Ediciones AKAL, Madrid. 1996.
- Riaza, E, Moreno, R. *Historia del comienzo: George Lemaitre, padre del Big Bang*. Ediciones Encuentro, Madrid, 2010.
- Ros, R.M, *Experiments and exercises involving gravitational lenses*, Proceedings 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School, Barcelona, 2007.
- Ros, R.M, *Gravitational lenses in th classroom*, Physics Education, 43, 5, 506, 514, Oxford, 2008.

SUMBER INTERNET

- <http://www.dsi.uni-stuttgart.de>
- <http://georgeslemaitre.blogspot.com/>
- <http://www-ra.phys.utas.edu.au/~jlovell/simlens>
- <http://leo.astronomy.cz/grlens/grl0.html>

PLANET DAN EKSOPLANET

Rosa M. Ros, Hans Deeg

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia (Spain), Instituto de Astrofísica de Canarias and University of La Laguna (Spain)

Penerjemah: Riska Wahyu Romadhonia

Observatorium Astronomi ITERA Lampung (Indonesia)

RANGKUMAN

Lokakarya ini terdiri dari serangkaian kegiatan perbandingan banyak karakteristik planet yang teramati (seperti ukuran, jarak, kecepatan orbit, dan kecepatan lepas) di Tata Surya. Setiap kegiatan akan menghadirkan konteks untuk berbagai tabel data dari setiap planet dengan cara melakukan demonstrasi atau perhitungan numerik untuk membedakan sifat-sifat planet, sehingga diharapkan siswa dapat membayangkan atau memahami secara langsung maksud dari tabel data yang diberikan.

Saat ini, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menemukan eksoplanet, kurang lebih merupakan metode yang bersifat tidak langsung. Hingga saat ini mungkin telah dideteksi hampir 4000 planet, dan sekitar 500 sistem keplanetan luar Tata Surya dengan planet lebih dari satu.

TUJUAN

- Memahami arti nilai-nilai numerik yang terdapat pada tabel data tentang planet-planet di Tata Surya.
- Memahami karakteristik utama sistem planet ekstrasurya melalui perbandingan karakteristik dengan sistem orbit Jupiter dan satelit Galileannya.

TATA SURYA

Dengan menciptakan model skala Tata Surya, diharapkan siswa dapat membandingkan berbagai parameter planet. Tabel 1 akan digunakan sebagai data utama untuk setiap aktivitas yang dilakukan pada lokakarya ini.

Tabel 1. Data Planet di Tata Surya

Planet	Diameter (km)	Jarak ke Matahari (km)
Matahari	1 392 000	
Mercurius	4 878	57,9 10 ⁶
Venus	12 180	108,3 10 ⁶
Bumi	12 756	149,7 10 ⁶
Mars	6 760	228,1 10 ⁶
Jupiter	142 800	778,7 10 ⁶
Saturnus	120 000	1 430,1 10 ⁶

Planet	Diameter (km)	Jarak ke Matahari (km)
Uranus	50 000	2 876,5 10 ⁶
Neptunus	49 000	4 506,6 10 ⁶

Dalam semua kegiatan pada lokakarya ini, tujuan utama setiap model adalah untuk membuat data numerik setiap planet dapat dimengerti oleh siswa. Jutaan kilometer bukan jarak yang mudah dipahami. Namun, jika diterjemahkan ke jarak dan ukuran berskala, siswa cenderung akan lebih mudah memahami dan membayangkannya.

MODEL TATA SURYA

Aktivitas 1: Models Diameter

Dengan menggunakan potongan besar (atau beberapa bagian kecil yang digabungkan jika perlu) kertas kuning. Potong kertas kuning tersebut berbentuk lingkaran dengan diameter 139 yang akan mewakili Matahari, dimana skala 1 sebanding dengan 10.000 pada ukuran sebenarnya. Buatlah setiap planet pada kertas yang berbeda, disarankan dengan menggunakan kertas karton polos atau kertas origami, dan gambarkan karakteristik morfologis untuk setiap planet (contoh: Cincin planet, warna planet, dkk). Tempelkan setiap planet yang telah dibuat pada piringan Matahari, sehingga siswa dapat memahami perbedaan ukuran antara Matahari dan setiap planet.

Dengan skala 1 cm per 10.000 km, maka skala diameter setiap planet adalah: Matahari 139, Merkurius 0,5, Venus 1,2, Bumi 1,3, Mars 0,7, Jupiter 14,3, Saturnus 12, Uranus 5, dan Neptunus 4,9.

Saran: Dapat pula dilakukan pada baju/kaos. Lukislah dengan menggunakan cat untuk setiap planet dengan skala diameter yang telah diberikan, tetapi hanya lukis sebagian kecil dari Matahari (tinjau gambar 1 dan 2).





Gambar 1 dan 2: Contoh baju yang memberikan perbandingan skala diameter Solar dan planet.

Aktivitas 2: Model Jarak

Dengan membandingkan jarak antara planet dan Matahari, kita dapat menghasilkan model lain yang mudah dipasang atau mudah diletakkan pada lorong sekolah atau tempat manapun di dalam sekolah yang memungkinkan. Pertama, potong beberapa karton dengan lebar 10 cm, hubungkan karton-karton tersebut hingga mendapatkan strip panjang beberapa meter (tinjau gambar 3). Pada kertas yang berbeda, potong setiap planet (potongan planet pada model sebelumnya dapat digunakan kembali). Kemudian pada strip panjang yang telah dibuat, letakkan potongan planet sesuai dengan jaraknya dengan benar.

Mohon ingatkan siswa bahwa dalam model jarak ini skala yang digunakan berbeda dengan model diameter yang sebelumnya dibuat. Pada model ini, skala yang digunakan akan lebih kecil, planet-planet akan seribu kali lebih kecil dibandingkan model sebelumnya, dimana 1 cm sebanding dengan 10.000.000 km sementara pada model sebelumnya skala yang digunakan adalah 1 cm per 10.000 km.

Dengan skala 1 cm per 10 juta km, maka skala jarak setiap planet dari Matahari adalah: Merkurius 6 cm, Venus 11 cm, Bumi 15 cm, Mars 23 cm, Jupiter 78 cm, Saturnus 143 cm, Uranus 288 cm, dan Neptunus 450 cm.



Gambar 3: Model jarak.

Saran: Untuk mempermudah dalam pemodelan dapat menggunakan tissue toilet, dimana setiap lembar digunakan sebagai perhitungan skala. Sebagai contoh: satu lembar tissue toilet sebanding dengan 20 juta km pada jarak sebenarnya.

Aktivitas 3: Model Diameter dan Jarak

Tantangan selanjutnya adalah cara menggabungkan antara kedua aktivitas di atas dan membuat model baru yang dapat mewakili ukuran diameternya serta jarak yang sesuai. Pada prakteknya, penggabungan dua model sebelumnya tidaklah mudah, dengan menentukan perbandingan skala yang memungkinkan kita untuk mewakili planet-planet dengan benda yang tidak terlalu kecil dan masih memiliki jarak yang tidak terlalu besar, jika pada kasus ukuran dan jarak tidak bisa untuk digabungkan, maka model menjadi kurang bermanfaat bagi siswa. Sehingga sebagai saran, mungkin ide yang bagus untuk menggunakan halaman sekolah saat membuat model dan menggunakan bola sebagai planet-planet dengan diameter yang berbeda sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4: Matahari dan planet-planet model diameter dan jarak.

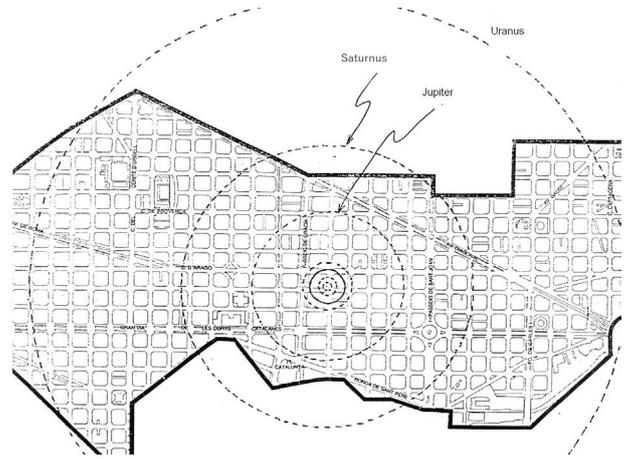
Sebagai contoh, akan diberikan solusi yang memungkinkan untuk dilakukan. Di salah satu ujung halaman sekolah, letakkan bola basket dengan diameter berkisar 25 cm yang mewakili Matahari. Merkurius dimisalkan dengan kepala jarum

berdiameter 1 mm dan terletak 10 m dari Matahari (dapat pula dimisalkan setiap langkah siswa sebanding dengan 1 m , sehingga Merkurius berjarak 10 langkah dari Matahari). Kepala jarum sedikit lebih besar (diameter 2 mm) akan mewakili Venus dengan jarak 19 m dari Matahari, sementara Bumi akan dimisalkan dengan kepala jarum lain yang serupa dengan Venus (diameter 2 mm) dengan jarak 27 m dari Matahari. Mars akan diwakili oleh kepala jarum yang lebih kecil dengan Bumi, dan seukuran dengan Merkurius dengan diameter kepala jarum 1 mm terletak sejauh 41 m dari Matahari. Normalnya, halaman sekolah akan berakhir di sini, atau mungkin telah berakhir pada Bumi. Untuk planet Jovian haruslah diletakkan pada tempat lain di luar halaman sekolah, tetapi disarankan pada tempat di sekitar sekolah dimana para siswa familiar dengan jaraknya. Bola pingpong (berdiameter 2,5 cm) mewakili Jupiter dengan jarak 140 m dari Matahari. Bola pingpong dengan ukuran yang lebih kecil (diameter 2 cm) akan menjadi Saturnus pada jarak 250 m dari Matahari. Bola kelereng dengan diameter 1 cm akan menjadi Uranus pada 500 m dari Matahari, dan bola kelereng lainnya (diameter 1 cm) akan mewakili Neptunus berjarak 800 m dari Matahari.

Perlu ditekankan bahwa sistem planet ini tidak akan memungkinkan untuk berada dalam satu area sekolah. Namun, jika skala kita diperkecil dengan harapan jarak antar planet dan Matahari akan semakin kecil dan dapat dimuat dalam satu sekolah, hal ini akan berimbas pada ukuran planet terutama untuk planet dalam, planet Merkurius hingga planet Mars akan menjadi lebih kecil dari kepala jarum dan hampir akan mustahil untuk divisualisasikan. Sebagai tugas akhir, anda dipersilahkan untuk menghitung besar skala yang digunakan untuk mengembangkan model ini.

Aktivitas 4: Model pada Peta Kota

Ide dari model ini adalah cukup sederhana – menggunakan peta kota untuk menentukan posisi setiap planet dengan asumsi bahwa Matahari terletak pada gerbang pintu masuk sekolah. Sebagai contoh, pada gambar 5 adalah peta kota Barcelona lengkap dengan posisi setiap planet. Tersedia pula data model objek yang akan mewakili setiap planet (buah atau jenis sayuran tertentu) yang akan terletak sesuai dengan posisi setiap planet, sehingga diharapkan perbandingan ukuran akan terbayang dengan lebih baik. Sebagai latihan, sangat disarankan untuk melakukan aktivitas yang sama pada kota anda sendiri.



Gambar 5: Peta “Ensanche de Barcelona” dengan beberapa planet.

Dengan menggunakan peta kota pada gambar 5, Merkurius akan diwakili oleh telur ikan, Venus dan Bumi oleh kacang polong, Mars oleh butiran lada, Jupiter jeruk, Saturnus jeruk keprok, sedangkan untuk Uranus dan Neptunus diwakili oleh sepasang walnut. Untuk Matahari, karena tidak ada jenis sayuran maupun buah-buahan dengan ukuran yang sangat besar, maka sebaiknya siswa dapat membayangkan sebuah bola dengan ukuran sebesar mesin cuci. Instruktur dapat melakukan hal yang sama dengan menggunakan peta kota masing-masing.



6a



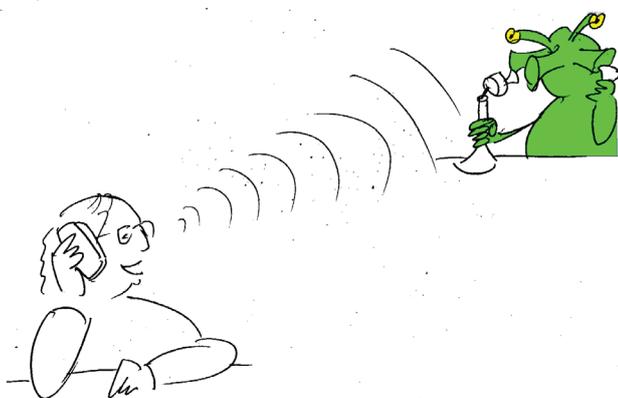
6b

Gambar 6a dan 6b: Foto kota Metz.

Di kota Metz (Perancis), terdapat model Tata Surya yang tersebar di jalan maupun alun-alun kota, dengan model planet-planet yang bersesuaian dan dilengkapi dengan panel informasi planet terkait untuk masyarakat umum.

Aktivitas 5: Model Waktu

Dalam perhitungan astronomi, satuan jarak yang umum digunakan adalah tahun cahaya, akan tetapi hal ini seringkali disalahartikan sebagai satuan waktu. Konsep ini dapat diilustrasikan menggunakan model Tata Surya. Dengan kecepatan cahaya sebesar $= 300.000 \text{ km/s}$, maka dalam 1 detik, cahaya dapat menempuh jarak sejauh 300.000 km . Sebagai contoh, untuk melakukan perjalanan dari Bulan ke Bumi, dimana diketahui jarak Bumi-Bulan 384.000 km , cahaya hanya memerlukan waktu sebesar $1,3 \text{ detik}$.



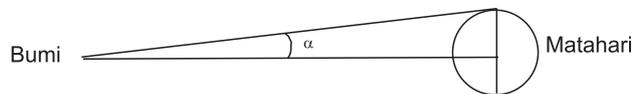
Gambar 7: Contoh lain

Dengan menggunakan contoh sebagai acuan, silahkan untuk mengintruksikan siswa untuk menghitung waktu yang dibutuhkan oleh cahaya matahari untuk mencapai permukaan setiap planet. (Berikut adalah data waktu yang dibutuhkan oleh cahaya matahari ke permukaan setiap planet: Merkurius 3,3 menit, Venus 6 menit, Bumi 8,3 menit, Mars 12,7 menit, Jupiter 43,2 menit, Saturnus 1,32 jam, Uranus 2,66 jam dan Neptunus 4,16 jam). Anda juga dapat meminta siswa untuk membayangkan seperti apa atau bagaimana jika sebuah video konferensi dilakukan antara Matahari dan salah satu planet.

Pada kegiatan ini, diperkenalkan pula jarak ke bintang terdekat, dengan tujuan agar dapat memvisualisasikan jarak yang sangat jauh ke bintang lainnya, dan merupakan alasan mengapa sistem planet ekstrasurya sangat sulit untuk ditemukan. Bintang yang terdekat dari Tata Surya adalah bintang Alpha Centauri dengan jarak $4,37 \text{ tahun cahaya}$ atau $4,13 \times 10^{13} \text{ km}$ dari Matahari. Anda dapat meminta siswa untuk menghitung jarak bintang Alpha Centauri ke salah satu planet ataupun pada model jarak dan diameter sebelumnya. Dalam model "halaman sekolah" dengan skala $1 \text{ cm per } 56.000 \text{ km}$, bintang Alpha Centauri akan berada pada jarak 7375 km dari Matahari, anda dipersilahkan untuk memberikan gambaran sejauh apa dengan menyebutkan tempat sekiranya dimanakah jarak 7375 km berada dari kota anda

Aktivitas 6: Matahari dilihat dari planet-planet

Dari salah satu planet, contohnya Bumi, Matahari dapat dinyatakan dengan sudut α (tinjau gambar 8). Untuk nilai yang sangat kecil, gunakan $\tan \alpha \approx \alpha$ (dalam satuan radian).



Gambar 8: Dari Bumi, Matahari membentuk sudut α .

Diketahui diameter Matahari adalah $1,4 \times 10^6 \text{ km}$, sehingga radius Matahari sebesar $0,7 \times 10^6 \text{ km}$, dan jarak Bumi-Matahari adalah $150 \times 10^6 \text{ km}$, maka:

$$a = \tan \alpha = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radians}$$

Dalam derajat:

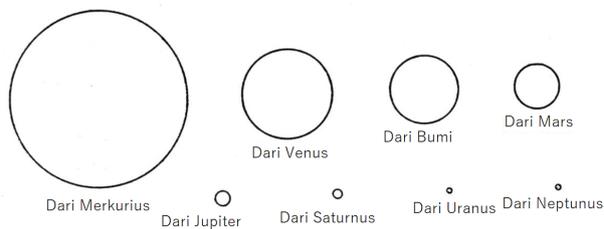
$$\frac{0,0045 \cdot 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

Dapat disimpulkan bahwa dari Bumi, ukuran Matahari akan sebesar $2 \times 0,255^\circ = 0,51^\circ$, atau sekitar setengah derajat. Dengan melakukan perhitungan yang sama pada setiap planet, akan diperoleh ukuran Matahari dilihat dari masing – masing planet. Ukuran Matahari ini dapat dilihat pada tabel 2 dan pada gambar 9 akan diperlihatkan ukuran relatif untuk setiap planet.

Planet	$2 \tan \alpha$	2α (°)	2α (°) aproksimasi
Merkurius	0,024	1,383	1,4

Venus	0,0129	0,743	0,7
Mars	0,006	0,352	0,4
Jupiter	0,0018	0,1031	0,1
Saturnus	0,000979	0,057	0,06
Uranus	0,00048	0,02786	0,03
Neptunus	0,0003	0,0178	0,02

Tabel 2. Data ukuran Matahari untuk setiap planet.



Gambar 9: Matahari terlihat dari setiap planet: Merkurius, Venus, Bumi, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, dan Neptunus.

Aktivitas 7: Model Densitas

Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk mencari sampel bahan atau material yang mudah untuk dimanipulasi dan memiliki densitas atau kerapatan yang mirip dengan setiap objek di Tata Surya, agar kita seolah-olah merasakan Tata Surya dalam genggaman.

	Density (g/cm ³)
Matahari	1,41
Merkurius	5,41
Venus	5,25
Bumi	5,52
Bulan	3,33
Mars	3,9
Jupiter	1,33
Saturnus	0,71
Uranus	1,3
Neptunus	1,7

Tabel 3. Densitas Matahari dan setiap planet



Gambar 10: Model kepadatan

Mineral	Kerapatan	Mineral lain	Kerapatan
Plaster	2,3	Gliserin	1,3
Orthoclase	2,6	Gabus	0,24
Sulfur	1,1-2,2	Aluminium	2,7
Alite	2	Besi	7,86
Kuarsa	2,65	Semen	2,7 - 3,1
Boraks	1,7	Kaca	2,4 - 2,8
Blende	4	Tin	7,3
Pirit	5,2	Tanah liat	1,8 - 2,5
Eritrosit	5,4	Bakelite	1,25
Kalsit	2,7	Oak	0,90
Galena	7,5	Kayu pinus	0,55

Tabel 4: Contoh densitas beberapa material

Data densitas Matahari dan planet-planet terdapat pada tabel 3. Dari tabel 3, cukup bandingkan nilai kerapatan dengan densitas berbagai mineral (pada setiap sekolah biasanya mempunyai beberapa koleksi mineral) atau dengan sampel bahan / material lain yang mudah ditemukan, seperti kaca, keramik, kayu, plastik, dll. Pada tabel 4 menyajikan beberapa contoh material lengkap dengan densitasnya dalam satuan g/cm³.

Dapat pula menggunakan bahan yang tidak tercantum pada tabel 4. Perhitungan densitas atau kerapatan pun cukup mudah dilakukan. Pertama, ambil sebagian bahan, lalu timbang untuk mengetahui massanya, disimbolkan m . Selanjutnya letakkan bahan tersebut pada gelas ukur yang berisi air (catat terlebih dahulu volume air mula-mula), ketika gelas ukur telah diisi oleh bahan, hitunglah kenaikan air dan catat sebagai volume dari bahan, V . Densitas ρ bahan tersebut dapat dihitung dengan:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Perlu diperhatikan juga bahwa berdasarkan tabel 4, pastikan siswa mengetahui bahwa Saturnus akan terapung dalam air, dikarenakan densitas Saturnus kurang dari 1

Aktivitas 8: Model Perataan Planet

Untuk memvisualisasikan deformasi (perataan) gas planet karena gaya sentrifugal yang dihasilkan akibat gerak rotasi planet, pada aktivitas ini akan dibuat model perataan planet secara sederhana

Seperti pada gambar 11, dengan tongkat dan beberapa strip kardus, model dapat dengan mudah dibuat dan dapat mempresentasikan perataan planet akibat oleh gerak rotasi planet itu sendiri.

Cara pembuatan model:

1. Potong beberapa potongan karton dengan ukuran lebar 1 cm dan panjang 35 cm, banyak potongan karton menyesuaikan dengan diameter stick yang digunakan.
2. Pasang kedua ujung potongan karton ke tongkat dengan panjang sekitar 50 cm. Pasang ujung atas karton ke tongkat secara permanen sehingga ujung atas karton tidak akan bergerak, tetapi pada ujung bawah karton,

keratkan ujung sedemikian rupa agar karton dapat bergerak bebas sepanjang tongkat (longgar).

- Putar tongkat dengan menempatkannya di antara dua telapak tangan, lalu putar dengan cepat dalam satu arah. Akan terlihat bagaimana gaya sentrifugal akan mendeformasi pita karton, proses yang sama terjadi pada deformasi planet.



Gambar 11: Model untuk mensimulasikan perataan karena rotasi

Aktivitas 9: Model Periode Orbital Planet

Planet mengorbit Matahari dengan kecepatan yang berbeda dan periode orbit yang berbeda pula (tinjau tabel 5). Dengan mengetahui periode dan jarak rata-rata dari Matahari, maka kecepatan orbital rata-rata setiap planet dapat dihitung. Akan diberikan cara perhitungan kecepatan orbital rata-rata Bumi sebagai contoh. Langkah yang sama dapat pula digunakan untuk mengetahui besar kecepatan orbital rata-rata planet lain.

Panjang revolusi orbital adalah $L = 2 \pi R$, sehingga kecepatan orbital rata-rata adalah $v = L / T = 2 \pi R / T$. Untuk Bumi, periode adalah 365 hari, kemudian $v = 2.582.750 \text{ km} / \text{hari} = 107.740 \text{ km} / \text{h} = 29,9 \text{ km} / \text{s}$, di mana jarak dari Bumi ke Matahari $R = 150 \times 10^6 \text{ km}$. Perlu ditekankan bahwa Matahari juga berputar di sekitar pusat galaksi dengan kecepatan 220 km/s, atau sekitar 800.000 km/jam.

Planet	Periode orbit (hari)	Jarak dari Matahari (km)	Kecepatan rata-rata orbit (km/s)	Kecepatan rata-rata orbit (km/h)
Merkurius	87,97	$57,9 \cdot 10^6$	47,90	172440
Venus	224,70	$108,3 \cdot 10^6$	35,02	126072
Bumi	365,26	$149,7 \cdot 10^6$	29,78	107208
Mars	686,97	$228,1 \cdot 10^6$	24,08	86688
Jupiter	4331,57	$778,7 \cdot 10^6$	13,07	47052
Saturnus	10759,22	$1\,430,1 \cdot 10^6$	9,69	34884
Uranus	30,799,10	$2\,876,5 \cdot 10^6$	6,81	24876
Neptunus	60190,00	$4\,506,6 \cdot 10^6$	5,43	19558

Tabel 5: Data orbital dari planet di Tata Surya

Merkurius merupakan planet yang memiliki kecepatan orbital rata-rata paling besar, sebaliknya planet terjauh, Neptunus

sebagai planet terlambat. Bangsa Romawi telah mengetahui bahwa Merkurius merupakan planet tercepat di antara planet lain, dan Merkurius diidentifikasi sebagai utusan para dewa dan disimbolkan dengan kaki bersayap (*winged feet*). Periode revolusi atau setahun Merkurius hanya berlangsung selama 88 hari. Bahkan jika mengamati dengan mata telanjang dari Bumi selama beberapa minggu, akan terlihat bahwa Jupiter dan Saturnus bergerak jauh lebih lambat melintasi rasi bintang zodiak daripada Venus dan Mars.



Gambar 12a, 12b dan 12c: Mensimulasikan gerakan melingkar planet-planet.

Terdapat cara sederhana untuk mengetahui secara langsung hubungan antara jarak dan periode orbital. Sediakan benda dengan massa sedang, seperti spidol, dan seutas tali. Lekatkan benda pada salah satu ujung tali, pastikan tali terikat dengan kuat. Pegang tali pada ujung yang lain. Putarlah tali dengan gerakan melingkar di atas kepala. Kemudian cobalah untuk mengendurkan atau menarik tali saat benda berputar. Jika tali dipanjangkan, terlihat bahwa kecepatan objek semakin lambat dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan satu periode orbit. Sebaliknya jika tali dipendekkan, terlihat bahwa kecepatan objek akan bertambah, dan membutuhkan waktu yang lebih sedikit untuk menyelesaikan satu periode orbit.

Model di atas dapat dikembangkan dan disesuaikan dengan data orbit planet di Tata Surya. Benda dan panjang tali dapat dipilih secara proporsional berdasarkan jari-jari orbit planet (dengan asumsi planet bergerak dalam orbit lingkaran). Sebaiknya potong tali sepanjang 20 cm, dibandingkan jika memotong tali secara terpisah untuk setiap planet. Pada tali 20 cm, dengan menggunakan skala yang sesuai, ukur dan tandai jarak dari benda untuk setiap planet atau secara sederhana buat simpul sebagai tanda. Kemudian, tali dapat dipegang sesuai lokasi simpul ketika memutar benda, dan lakukan transisi dari planet Merkurius hingga Neptunus.

Dalam menggunakan model ini, pegang tali pada lokasi simpul dan putar di atas kepala kita, usahakan bidang putaran benda sejajar lantai dengan kecepatan seminimum mungkin yang akan membuat benda tetap berputar pada orbitnya. Hasil dari percobaan ini adalah kecepatan yang kita butuhkan untuk menjaga benda tetap berputar semakin besar untuk radius yang semakin kecil. Hal inilah yang menyebabkan Merkurius sebagai planet terdekat merupakan planet tercepat, sebaliknya Neptunus sebagai planet terjauh merupakan planet terlambat.

Aktivitas 10: Model Gravitasi Permukaan

Persamaan untuk gaya gravitasi,

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

memungkinkan kita untuk menghitung gravitasi permukaan g yang bekerja pada permukaan planet dengan massa M . Mempertimbangkan satuan satuan ($m = 1$) pada permukaan planet ($d = R$, jari-jari planet), kita mendapatkan gravitasi permukaan

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

di mana $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ adalah konstanta gravitasi universal. Jika memasukkan massa planet dengan $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$, di mana ρ adalah kepadatan planet dan jari-jarinya R , kita menemukan:

$$g = \frac{4}{3} \pi G \rho R$$

Dengan menggunakan data pada tabel 6 (setelah mengkonversi radius ke meter dan kepadatan menjadi kg/m^3 , dengan $1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$), kita dapat menghitung nilai gravitasi permukaan g untuk semua planet

Planet	Radius ekuator R (km)	Kepadatan ρ (g/cm ³)	Gravitasi Permukaan g (m·s ⁻²)
Bulan	1738	3,3	1,62
Merkurius	2439	5,4	3,70
Venus	6052	5,3	8,87
Bumi	6378	5,5	9,81
Mars	3397	3,9	3,71
Jupiter	71492	1,3	24,8
Saturnus	60268	0,7	8,96
Uranus	25559	1,2	8,69
Neptunus	25269	1,7	11,00

Tabel 6: Ukuran, kepadatan dan gravitasi permukaan planet di Tata Surya.

Mari kita lihat beberapa contoh:

$$g_{\text{Merkurius}} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5400 \text{ kg}/\text{m}^3 = 3,7 \text{ m}/\text{s}^2,$$

$$g_{\text{Venus}} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 6052 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5300 \text{ kg}/\text{m}^3 = 8,9 \text{ m}/\text{s}^2.$$

Dengan menggunakan langkah dan perhitungan yang sama, g untuk setiap planet dapat diketahui. Pada tabel 7, setiap besar gravitasi permukaan pada planet lain akan dibandingkan dengan gravitasi Bumi dan dinyatakan dalam g ,

MODEL TIMBANGAN MANUAL

Tujuan utama dari aktivitas pemodelan ini adalah untuk mengembangkan sembilan set timbangan manual yang akan mempresentasikan besar gravitasi permukaan ke-delapan planet dan juga Bulan, sehingga siswa dapat mensimulasikan penimbangan berat badan di setiap planet dan juga Bulan, diharapkan dengan aktivitas ini siswa akan lebih memahami arti dari setiap nilai numerik yang mereka dapatkan pada aktivitas sebelumnya.

Dikarenakan proses pembuatan yang sama untuk setiap planet, dalam subbab ini hanya akan dideskripsikan satu contoh.

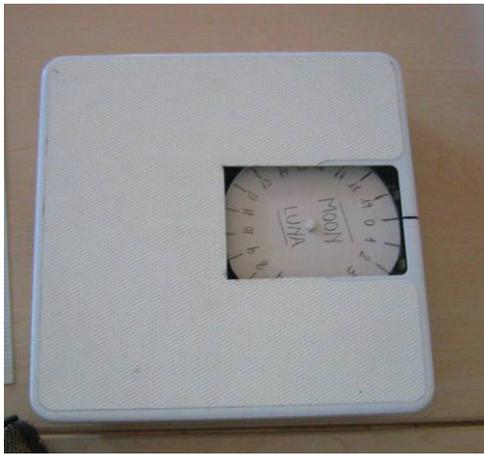
Ide dasar dari aktivitas ini adalah membuka skala yang ada pada timbangan manual dan menggantinya dengan skala replika yang baru dengan bobot yang sudah terkalibrasi untuk planet tertentu.

Cara pembuatan model:

1. Buka timbangan. Pada umumnya, terdapat dua pegas sebagai penyangga dasar timbangan. Pastikan kedua pegas tidak akan hilang karena akan digunakan kembali ketika penyusunan akhir (tinjau gambar 13)
2. Ketika telah terbuka, ambillah disk skala timbangan yang ada, anda dapat menggantinya dengan disk baru atau ditulis ulang pada disk yang lama sesuai dengan bobot skala yang seharusnya untuk planet tertentu.
3. Pada tabel 7, terdapat data gravitasi permukaan untuk Bulan dan setiap planet di Tata Surya, dan pada kolom kedua, disajikan pula data setiap gravitasi permukaan relatif terhadap gravitasi Bumi. Nilai ini akan menjadi acuan konversi nilai disk skala baru terhadap nilai disk skala lama. Sederhananya lakukan perkalian berdasarkan data pada kolom ke dua tabel 7, contoh: untuk skala Bulan, terlihat bahwa gravitasi permukaan Bulan 0,16 relatif terhadap gravitasi Bumi, sehingga disk skala yang baru haruslah mempunyai skala 0,16 relatif terhadap gravitasi Bumi. Hal ini berarti untuk skala 10 kg disk lama harus digantikan menjadi 1,6 kg.
4. Langkah terakhir, susun timbangan seperti semula dengan disk skala baru. Mintalah setiap siswa untuk melakukan percobaan menimbang diri mereka sendiri pada setiap timbangan (tinjau gambar 14). Anda juga dapat meminta siswa untuk mencatat hasilnya, dan kemudian tanyakan hal apa yang dapat mereka simpulkan dari percobaan ini. Pastikan siswa memahami bahwa berat badan akan semakin besar pada planet Jupiter dan Neptunus.

	Gravitasi permukaan g (m·detik ⁻²)	Gravitasi permukaan g (relatif terhadap Bumi)
Bulan	1,62	0,16
Merkurius	3,70	0,37
Venus	8,87	0,86
Bumi	9,81	1,00
Mars	3,71	0,38
Jupiter	24,79	2,53
Saturnus	8,96	0,91
Uranus	8,69	0,88
Neptunus	11,00	1,12

Tabel 7. Gravitasi permukaan relatif terhadap gravitasi Bumi.



13a



13b

Gambar 13a dan 13b: Timbangan manual yang telah diganti skala timbangannya.



Gambar 14: Model Tata Surya dengan timbangan manual.

Aktivitas 12: Model Dampak Kawah

Sebagian besar kawah yang terdapat di Tata Surya bukanlah kawah vulkanik akan tetapi merupakan hasil dari meteoroid yang jatuh ke permukaan planet maupun satelit alami planet.

Langkah percobaan:

Tutupi lantai dengan kertas koran untuk mencegah lantai menjadi kotor,

Dalam suatu kotak, buatlah lapisan tepung setebal 1 atau 2 cm dengan saringan untuk membuat permukaan yang sangat halus,

1. Buatlah lapisan beberapa milimeter menggunakan bubuk cocoa (coklat) di atas tepung dengan saringan,
2. Dari ketinggian sekitar 2 m, jatuhkan sesendok makan bubuk cocoa untuk membuat tanda seperti kawah (tinjau gambar 15),
3. Dipersilahkan jika memungkinkan untuk melakukan percobaan dengan perbedaan ketinggian, ataupun jumlah cocoa yang akan dijatuhkan. Dalam beberapa kasus anda mungkin akan mendapatkan kawah dengan puncak di tengahnya.
4. Tepung yang digunakan dapat di daur ulang untuk percobaan baru.

Saran: Bubuk cocoa dapat diganti dengan bubuk lainnya, akan tetapi pastikan bubuk tersebut memiliki kerapatan hampir sama dengan bubuk cocoa, dan tidak mudah larut dalam air. Jika bubuk yang dipilih memiliki kerapatan lebih rendah dari bubuk cocoa, maka saat dijatuhkan bubuk tersebut akan jatuh terlalu menyebar, sehingga bentuk kawah tidak akan didapatkan.



Gbr 15a: Simulasi kawah



Gambar 15b: Kawah yang dihasilkan.

Aktivitas 12: Model Kecepatan Lepas

Jika kecepatan peluncuran roket tidak terlalu besar, maka gaya gravitasi planet akan menarik roket dan mengakibatkan roket jatuh kembali ke permukaan. Jika kecepatan peluncurannya

cukup besar, maka roket dapat lolos dari medan gravitasi planet. Pada aktivitas ini, akan diberikan pengenalan cara menghitung kecepatan lepas dimana dengan minimal kecepatan tersebut maka roket dapat lepas dari medan gravitasi planet.

Dengan persamaan gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan tetap, dimana e adalah jarak tempuh dan a percepatan:

$$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0$$

Jika kita mengganti akselerasi dengan g dan menetapkan kecepatan awal v_0 sama dengan nol (asumsi roket diam pada keadaan mula-mula), akan diperoleh bahwa pada permukaan planet, $R = \frac{1}{2} g t^2$ dan, lebih lanjut, $v = gt$. Setelah menghilangkan variabel waktu, maka akan diperoleh:

$$v = \sqrt{2gR}$$

di mana kita dapat mengganti nilai g dan R dengan nilai-nilai yang tercantum dalam tabel 6 untuk menghitung kecepatan lepas untuk setiap planet.

Tetapi persamaan ini juga dapat ditentukan dengan cara lain. Kecepatan lepas tergantung pada potensial gravitasi di mana roket berada. Oleh karena itu, pada permukaan benda langit, kecepatan lepas hanya bergantung pada ketinggian titik peluncuran. Kecepatan lepas tidak bergantung pada massa roket atau arah peluncuran, dan persamaan dapat diperoleh dengan melihat perubahan energinya.

Untuk menghitung kecepatan lepas, persamaan energi potensial (E_p) dan energi kinetik (E_c) berikut yang akan digunakan:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = -G\frac{Mm}{R}$$

Mempertimbangkan prinsip konservasi energi, jika kita menetapkan kondisi bahwa objek bergerak ke jarak tak terbatas dan tetap diam, hasilnya:

$$\frac{1}{2}mv_e^2 - G\frac{Mm}{R} = 0$$

dan akan menghasilkan bentuk kecepatan:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}$$

di mana: v_e adalah kecepatan lepas, G adalah konstanta gravitasi universal ($6,672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$), M adalah massa bintang, m adalah massa roket, R adalah jari-jari bintang (dengan asumsi bentuk bulat), g adalah percepatan gravitasi pada permukaan planet. Di Bumi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Sebagai contoh, mari menghitung kecepatan lepas beberapa planet. Untuk Bumi,

$$v_{Bumi} = v = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 6378 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 11186 \text{ m/s} \approx 11,2 \text{ km/s}.$$

Serupa, untuk planet terkecil, Merkurius,

$$v_{Merkurius} = (2 \cdot 3,78 \text{ m s}^{-2} \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 4294 \text{ m/s} \approx 4,3 \text{ km/s}.$$

Dan untuk planet terbesar, Jupiter,

$$v_{Jupiter} = (2 \cdot 23,1 \text{ m s}^{-2} \cdot 71492 \times 10^3 \text{ m})^{1/2} = 57471 \text{ m/s} \approx 57 \text{ km/s}.$$

Dengan perhitungan di atas, terlihat bahwa lebih mudah untuk meluncurkan roket dari Merkurius dibandingkan Bumi, akan tetapi akan sangat susah meluncurkan roket pada Jupiter, dikarenakan kecepatan lepas Jupiter cukup besar, hampir 60 km/s.

(Sebagai pertimbangan, kecepatan lepas untuk setiap planet di Tata Surya adalah sebagai berikut: Merkurius 4,3 km/s, Venus 10,3 km/s, Bumi 11,2 km/s, Mars 5,0 km/s, Jupiter 59,5 km/s, Saturnus 35,6 km/s, Uranus 21,2 km/s, Neptunus 23,6 km/s. Seperti yang terlihat, perhitungan sederhana yang telah dilakukan menghasilkan hasil yang kurang lebih mendekati nilai sebenarnya.)

MODEL ROKET

Pada kegiatan ini, akan diberikan contoh roket yang dapat diluncurkan secara aman di dalam kelas, yaitu dengan menggunakan tablet *effervescent* (seperti tablet vitamin C yang dilarutkan di air dan mengeluarkan gelembung gas) sebagai bahan pelontar roket. Silahkan untuk memotong model roket yang telah diberikan, kemudian oleskan lem pada daerah yang dibatasi garis putus-putus pada pola, kemudian rekatkan pola hingga membentuk roket dengan sempurna

Pada bagian bawah roket, akan digunakan tabung tempat film atau tabung obat plastik atau tempat makan ikan sebagai tempat tablet *effervescent*. Pastikan tabung obat tersebut dapat masuk tabung roket, dan diameter tabung roket tidak terlalu berbeda jauh dengan diameter tabung obat sehingga roket dapat diluncurkan dengan maksimal. Pastikan tiga segitiga, sebagai alat penyangga roket, telah terpasang dengan kuat dan jangan lupa rekatkan kerucut pada bagian atas roket (Gbr 16a, 16b, 16c, 16d, 17d, 17, 18, 19a, 19b, 19c)



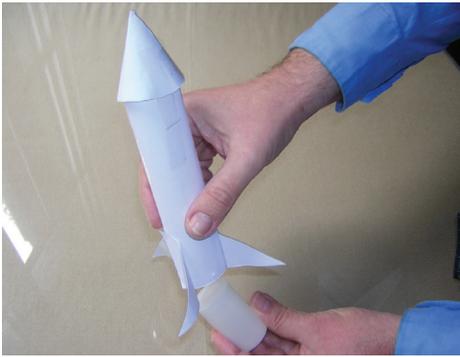
16a



16b



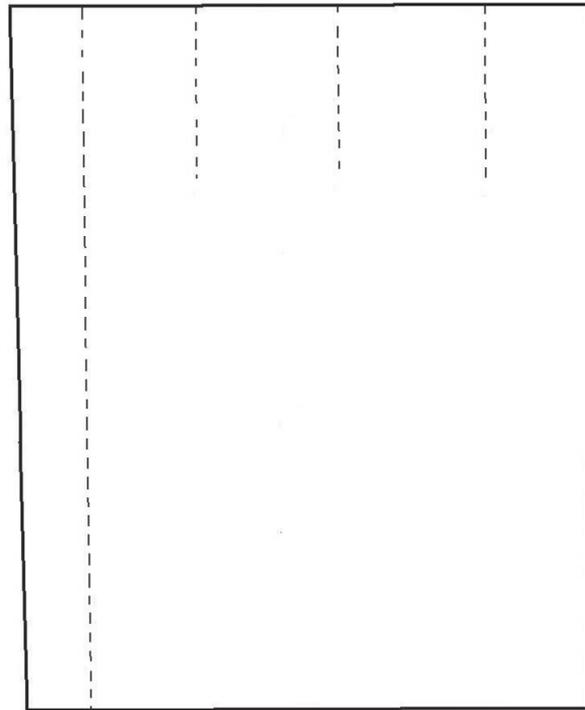
16c



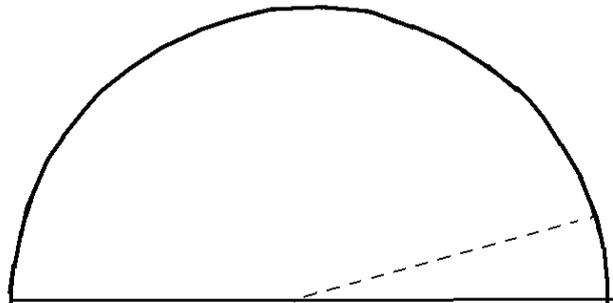
16d

Gambar 16a, 16b, 16c, dan 16d: Proses dalam empat gambar.

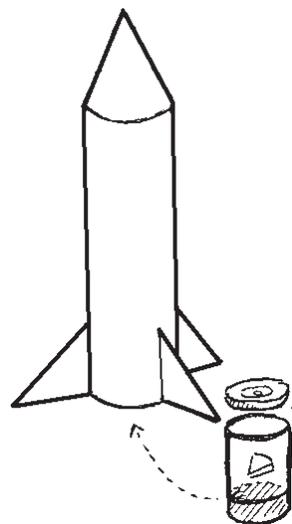
Setelah roket tersusun sempurna, langkah selanjutnya adalah proses peluncuran roket. Untuk meluncurkan roket, pada tabung plastik isi air kurang lebih hingga mencapai ketinggian $\frac{1}{3}$ dari ketinggian tabung plastik (sekitar 1 cm). Masukkan $\frac{1}{4}$ potongan tablet *effervescent* ke dalam tabung. Tutup tablet dengan penutup dan letakkan roket di atasnya. Tunggu kurang lebih 1 menit, dan roket akan meluncur ke atas. Tentu percobaan ini dapat dilakukan berulang kali, setidaknya akan ada sisa $\frac{3}{4}$ tablet *effervescent* yang siap digunakan. Pastikan siswa mendapatkan giliran untuk meluncurkan roketnya. Anda juga dapat mencoba untuk meluncurkan roket dengan perpaduan minuman soda-permen mint atau cuka-soda kue.



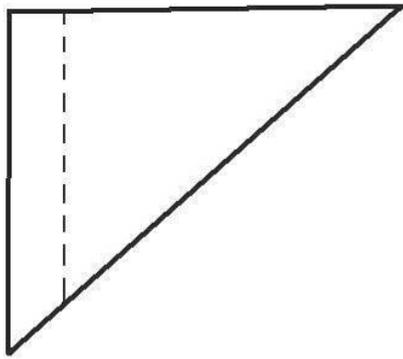
Gbr. 17a: Pola badan roket. Rekatkan pola pada di zona titik putus-putus.



Gambar 17b: Pola kerucut atas roket.



Gambar 17c: Tiga segitiga penyangga.



Gambar 18: Ilustrasi Sederhana

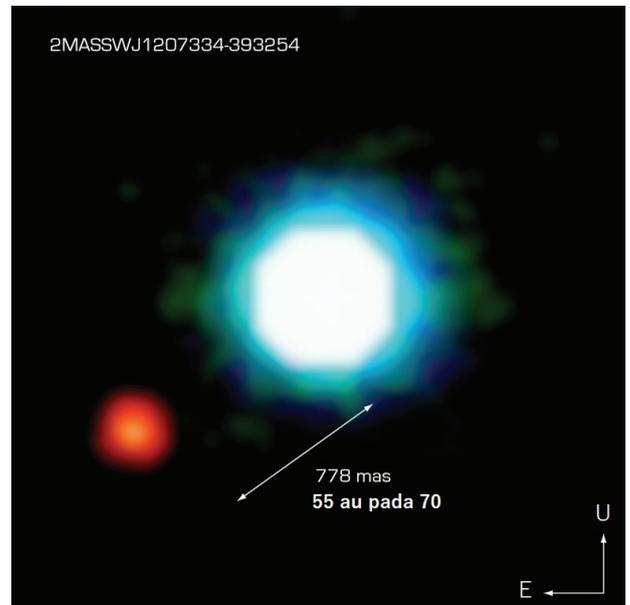


Gambar 19: Beberapa roket.

EKSOPLANET

Sejauh ini, para astronom telah mendeteksi sekitar 4000 planet dan 500 sistem planet dengan planet lebih dari satu. Contoh dari salah satu planet pertama yang dipotret langsung ditunjukkan pada Gambar 20.

Semua topik dalam lokakarya ini adalah bagian dari evolusi teknologi yang memungkinkan adanya kemajuan pada bidang ini. Beberapa aspek pada bidang ini mungkin akan berubah di masa depan tetapi topik ini bagus untuk diperkenalkan di sekolah. Topik eksoplanet merupakan bidang yang perkembangannya sangat cepat dan beberapa konten atau aspek mungkin perlu diperbarui dalam kurun waktu dekat.

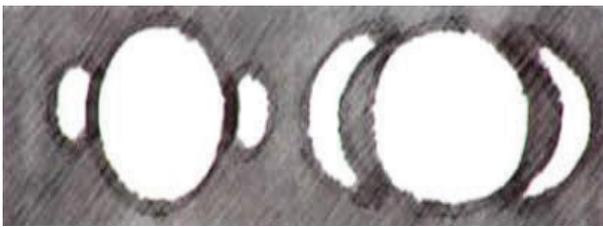


Gambar 20: Planet pertama (2M1207b) diamati secara langsung, pada tanggal 16 Maret 2003 dengan salah satu teleskop VLT 8 m ESO. Planet ini bermassa 3-10 kali Jupiter dan mengorbit pada 41 AU dari bintang pusatnya yang merupakan katai coklat. Pada tahun 2006, sebuah cakram debu ditemukan di sekitar bintang pusat, memberikan bukti kelanjutan pembentukan planet dalam sistem muda ini (Sumber: ESO).

Mari kita telaah contoh dari sejarah astronomi. Pada 1610 Galileo mengamati Saturnus untuk pertama kalinya. Galileo tidak mengetahui bahwa benda itu adalah sebuah planet yang dikelilingi oleh cincin yang bagus. Sebaliknya ia menafsirkannya sebagai gugus bintang dengan tiga komponen. Namun setelah pengamatan Huygens dengan teleskop yang lebih baik, maka diketahui bahwa Saturnus merupakan planet dan memiliki sistem cincin. Selama beberapa tahun, para ilmuwan salah menafsirkan struktur Saturnus. Contoh dari ini terlihat dalam lukisan Rubens 1636 - 1638, yang menggambarkan Saturnus sebagai tiga bintang setelah penemuan terbaru oleh Galileo.



21a



21b

Gambar 21a dan 21b: Saturnus menurut Rubens (1636-1638) dan gambar yang dibuat oleh Galileo pada tahun 1610.

Selain itu, perlu untuk diingat bahwa Ceres dianggap sebagai planet pada abad ke-19 (dari 1801 hingga 1850), tetapi kemudian diklasifikasikan sebagai asteroid. Dengan cara yang sama ketika Pluto ditemukan pada tahun 1930 diklasifikasikan sebagai planet. Namun, pada tahun 2006 dilakukan reklasifikasi sebagai planet kecil seperti Ceres. Sehingga tentunya beberapa pemahaman tentang eksoplanet saat ini mungkin perlu dipertimbangkan kembali di masa depan, tetapi hal ini seharusnya tidak menghentikan kita untuk memperkenalkan topik ini kepada para siswa di sekolah.

NOMENKLATUR EKSOPLANET

Eksoplanet atau planet ekstrasurya dianggap sebagai planet yang mengorbit bintang selain Matahari dan, karenanya, bukan merupakan anggota tata surya kita. NASA memiliki katalog (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>) dengan lebih dari 4000 eksoplanet yang dikonfirmasi pada tahun 2019. Nomenklatur dari eksoplanet cukup sederhana dan idenya berasal dari penamaan dalam bintang ganda. Huruf kecil ditempatkan setelah nama bintang dari huruf "b" untuk planet

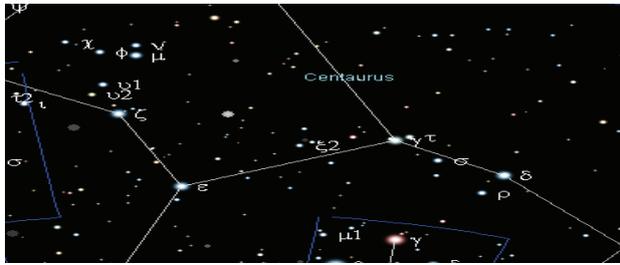
pertama yang ditemukan dalam sistem (misalnya: 51 Pegasi b). Planet berikutnya yang terdeteksi dalam sistem diberi label dengan huruf alfabet c, d, e, f, dll. (Misalnya: 51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e atau 51 Pegasi f). Dengan demikian, urutan huruf tidak ada hubungannya dengan periode orbit planet-planet, atau dengan parameter lainnya. Selain itu, pada 2015 International Astronomical Union (IAU) menetapkan nama untuk 19 sistem ekstrasurya pertama yang ditemukan. Sebagai contoh, dalam sistem bintang Upsilon Andromedae (lihat Tabel 8), bintang utama (Ups And) memiliki nama alternatif *Titawin*, dan planet b, c dan d akan disebut *Saffar*, *Samh* dan *Makriti*. Namun saat ini, nama-nama ini belum digunakan baik di komunitas astronom profesional maupun amatir.

DETEKSI SISTEM KEPLANETAN EKSOPLANET

Jarak ke Alpha Centauri atau Proxima Centauri, bintang terdekat dengan kita hanya 4,5 tahun cahaya, merupakan jarak yang sangat besar dibandingkan dengan jarak planet-planet di tata surya kita. Faktanya, bintang Alpha Centauri berjarak 10000 kali lebih jauh dari Neptunus, planet terjauh di Tata Surya. Jarak yang sangat jauh ini mengakibatkan pendeteksian sistem planet pada bintang lain sulit dilakukan, hingga teknik pengamatan canggih dikembangkan, mendekati akhir abad terakhir.

Bintang paling terang ketiga di langit malam adalah Alpha Centauri. Alpha Centauri, pada kenyataannya, adalah sistem tiga bintang. Terdiri dari pasangan bintang ganda, Alpha Centauri A dan B, dan bintang kerdil yang paling dekat dengan kita, yang disebut Proxima Centauri. Di sekitar bintang ketiganya, yang merupakan bintang "katai merah", sebuah planet berbatu telah terdeteksi yang mungkin memiliki beberapa kesamaan dengan Bumi: Proxima b, yang merupakan sebutan bagi planet ekstrasurya baru ini, merupakan sistem ekstrasurya terdekat dengan Bumi yang telah diketahui tetapi belum diamati secara langsung. Ilmuwan yang mempublikasikan penemuan ini mengungkapkan kehadiran eksoplanet ini dengan mengamati anomali kecil di orbit bintang, yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi planet. Gangguan ini berfungsi untuk menyimpulkan keberadaan planet dan beberapa karakteristiknya. Planet ini mengelilingi bintangnya hanya dalam waktu 11 hari, berukuran sedikit lebih besar dari Bumi dan mungkin memiliki permukaan yang padat.

Karakteristik penting dari planet ekstrasurya ini adalah jaraknya yang dekat dengan bintang utama, Proxima Centauri. Jarak diantara keduanya adalah 5% dari jarak Bumi – Matahari, yaitu sekitar 0,05 AU. Kedekatan ini akan membuatnya menjadi planet yang sangat panas jika bintang utamanya seperti Matahari. Namun bintang utamanya adalah katai merah sehingga planet ini berada di zona layak huni. Hal ini karena katai merah seperti Proxima Centauri, dengan 12% massa matahari, memiliki kecerahan hanya 0,1% dari Matahari. Dengan karakteristik ini, planet baru akan memiliki suhu 40 derajat di bawah nol tanpa efek rumah kaca dari atmosfer, efek rumah kaca mungkin dapat menaikkan suhu planet beberapa derajat di atas titik beku air.

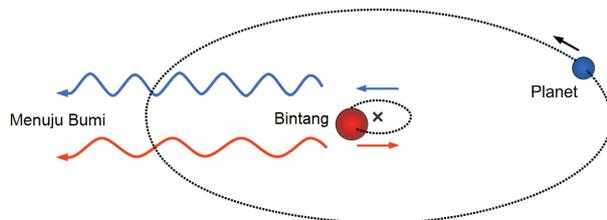


Gambar 22: Alpha Centauri dekat bintang Salib Selatan (Crux).

Salah satu alasan mengapa keberadaan kehidupan di sistem planet di sekitar katai merah ini sulit ditemukan adalah jarak planet harus sangat dekat dengan bintang utamanya agar planet tersebut memiliki suhu dimana air dapat berwujud cair. Namun ketika hal ini terjadi, dalam banyak kasus akan muncul fenomena yang disebut rotasi sinkron, dimana fenomena ini dapat kita tinjau pada Bulan. Waktu orbital dan waktu rotasi sama besar dan planet akan selalu menunjukkan wajah yang sama terhadap bintang. Hal ini akan menyebabkan adanya belahan yang hangus dimana atmosfer akan menguap, sedangkan sisi belahan lain akan menjadi beku. Namun, dengan atmosfer yang lebih padat daripada atmosfer Bumi memungkinkan suhu ekstrim ini dapat diperlemah melalui sirkulasi atmosfer dan redistribusi panas.

METODE KECEPATAN RADIAL

Hingga saat ini, terdapat dua metode yang mendominasi untuk mencari eksoplanet. Kedua metode ini adalah metode secara tidak langsung, dimana penemuan sistem planet merupakan hasil pengolahan dari data pengamatan pada bintang utamanya.



Gambar 23: Metode kecepatan radial untuk mendeteksi planet.

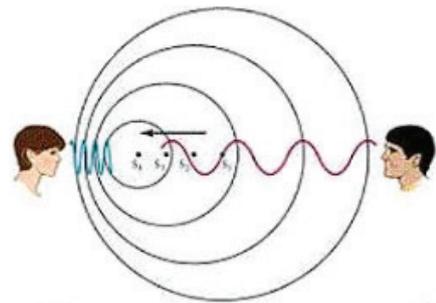
Metode *Radial Velocity (RV)* atau kecepatan radial adalah metode pertama yang menemukan sebuah eksoplanet di sekitar bintang normal, yaitu penemuan eksoplanet 51 Pegasus b pada tahun 1995. Dengan metode ini, "goyangan" bintang pusat akibat gerakanya di sekitar pusat massa (*barycenter*) bintang-planet akan diamati dan diukur. Gerakan bintang pusat akan menyebabkan perbedaan yang sangat kecil pada data pengamatan spektrumnya, bergerak lebih ke panjang gelombang biru atau ke panjang gelombang merah (tinjau gambar 20a), hal ini sering disebut sebagai pergeseran Doppler. Pada aplikasinya, metode ini dapat memberikan informasi terkait massa planet relatif terhadap massa bintang pusat. Namun, pada praktiknya, dengan metode *RV* ini orientasi sistem planet ekstrasolar tidak dapat diketahui, dan massa planet

yang diperoleh adalah massa minimum (yang berarti bahwa massa planet sebenarnya bisa lebih besar dari perhitungan).

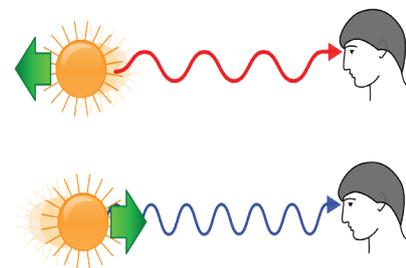
Aktivitas 13: Efek Doppler

Seperti yang telah dijelaskan pada lokakarya 8, Ekspansi Alam Semesta, Efek Doppler merupakan alasan mengapa panjang gelombang suara bervariasi saat sumber suara bergerak. Hal ini dapat dijelaskan dengan meletakkan jam weker ke dalam tas kain, kemudian kain tersebut diikat lalu diputar. Ketika putaran tersebut mendekati pendengar maka panjang gelombang suara diperkecil dan suara akan menjadi lebih tinggi. Sedangkan saat putaran menjauhi pendengar, maka panjang gelombang suara diperbesar dan suara akan menjadi lebih rendah. Tetapi perlu diingat untuk pendengar yang berada di tengah-tengah rotasi (tepat di jari-jari) tidak akan mendeteksi adanya variasi suara.

Pada kasus eksoplanet dan bintang, gelombang cahaya dari bintang juga akan bervariasi. Ketika bintang bergerak mendekati, maka panjang gelombang cahaya tampak dari radasinya akan berkurang, sehingga panjang gelombangnya akan bergerak ke arah biru pada spektrum cahaya tampak. Ketika bintang bergerak menjauhi, panjang gelombang cahaya tampak meningkat, dan panjang gelombangnya akan bergeser ke arah merah pada spektrum cahaya tampak.



Gambar 24: Ketika sumber mendekati, panjang gelombang berkurang dan ketika sumber menjauh, panjang gelombang meningkat.



Gambar 25: Ketika sumber mendekati itu tampak lebih biru dan ketika sumber menjauh tampak lebih merah

Hal ini merupakan akibat dari efek Doppler akibat gerak relatif dan hal ini juga membantu kita untuk menemukan eksoplanet. Ketika eksoplanet bergerak menjauhi bintang utama maka spektrum cahayanya akan bergerak ke arah merah, dan

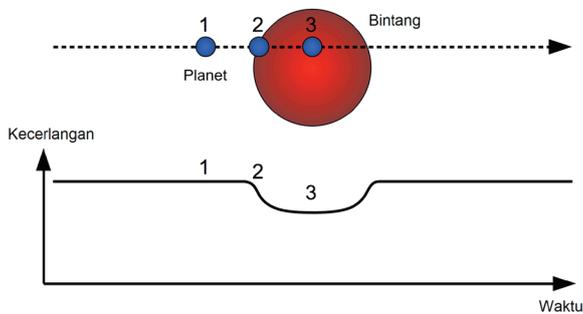
ketika bergerak mendekati bintang utama maka spektrum cahaya akan bergerak ke arah biru.

METODE TRANSIT

Metode penting lainnya, yang disebut “metode transit” didasarkan pada pengamatan perubahan kecerahan bintang ketika salah satu planetnya lewat (“transit”) di depan bintang, dengan demikian maka planet akan menutupi sebagian kecil dari piringan bintang (gambar 26). Dengan metode transit, ukuran planet, R_p , dapat diukur relatif terhadap ukuran R_* bintang pusatnya, dan dinyatakan oleh:

$$R_p/R_* = \sqrt{dF/F}$$

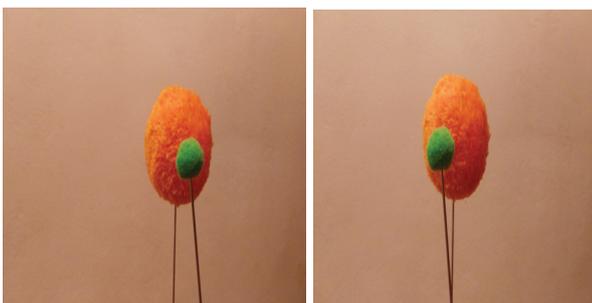
di mana dF/F adalah perubahan relatif tingkat kecerahan bintang utama yang diamati selama transit sebuah planet (misalnya, $dF/F = 0,01$ menunjukkan kecerahan bintang turun 1% dalam kecerahan bintang selama transit).



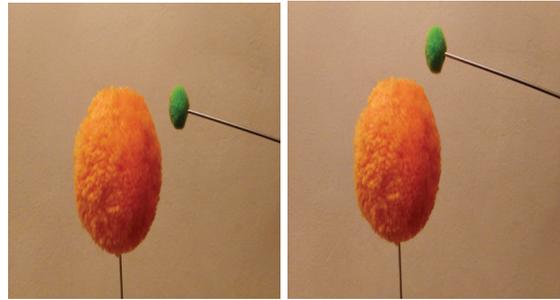
Gambar 26: Metode transit untuk mendeteksi planet.

Aktivitas 14: Simulasi transit

Transit dapat disimulasikan dengan menggunakan dua bola: bola besar yang mewakili bintang pusat dan bola kecil yang mewakili planet yang mengorbit bintang pusat. Jika pengamat berada di bidang yang sama dengan orbit planet dan mengamati pada saat itu, mereka akan tahu kapan planet melewati di depan bintang pusat pada saat penurunan dan kenaikan pada kurva luminositas bintang (gambar 27). Tetapi jelas bahwa jika pengamat tidak berada di bidang rotasi yang sama, tidak ada perubahan dalam kurva kecerahan yang akan diamati (gambar 28).



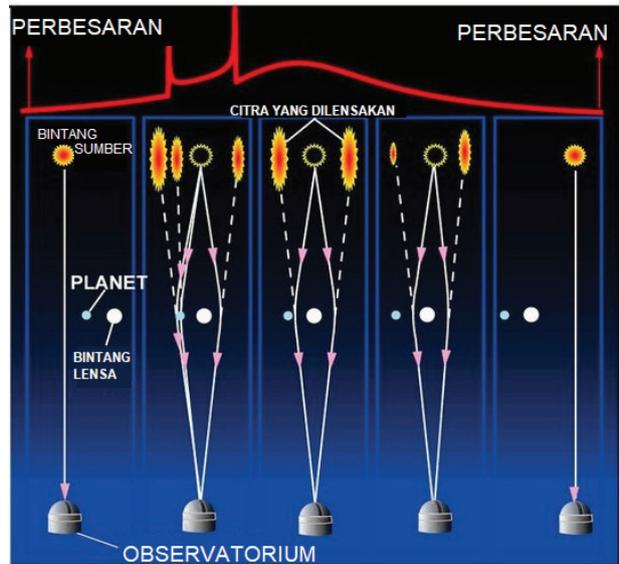
Gambar 27: Pengamat di bidang rotasi dapat melihat transit planet ini dan mendeteksi perubahan dalam kurva kecerahan



Gambar 28: Pengamat di luar bidang rotasi, tidak dapat melihat perubahan kurva kecerahan.

METODE LENSA MIKROGRAVITASI

Metode lain dari deteksi planet ekstrasurya juga cukup terkenal, meskipun jarang digunakan. Metode lensa mikro-gravitasi merupakan pengamatan dalam peningkatan kecerahan bintang latar belakang, akibat penyelarasan bintang latar belakang dengan bintang induk eksoplanet. Sistem ekstrasurya bertindak sebagai lensa gravitasi dan akan menghasilkan ekstensi kecerahan yang sangat khas (garis merah pada gambar 29). Agar metode ini dapat berfungsi, harus ada keselarasan visual yang lengkap antara tiga bagian (bintang latar belakang, bintang dengan planet ekstrasurya dan Bumi).



Gambar 29: Metode microlensing untuk mendeteksi planet.

Aktivitas 15: Simulasi microlenses

Simulasi pendeteksian planet ekstrasurya di sekitar bintang utama dapat dilakukan dengan sepasang dudukan gelas anggur, seperti yang digunakan dalam lokakarya Ekspansi Semesta. Pertama gunakan hanya satu dudukan gelas dan perhatikan bahwa tidak ada yang terlihat. Lalu gerakan dudukan gelas kedua melewati dudukan pertama dan perhatikan akan

terlihat satu titik muncul atau mungkin bahkan dua titik terlihat.



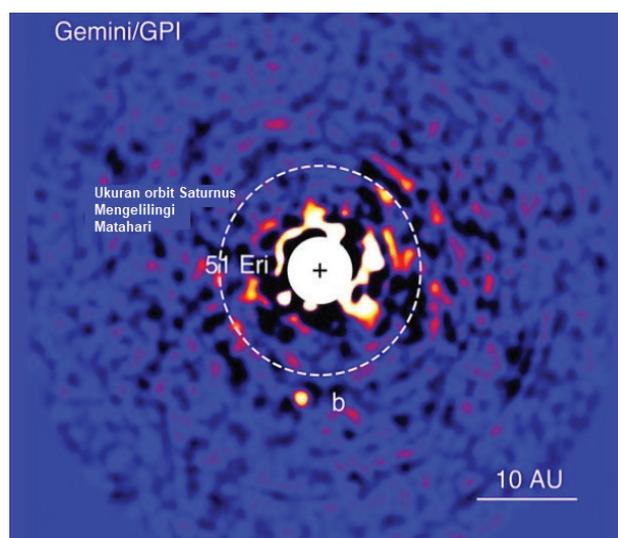
Gambar 30: Pertama dengan hanya satu dudukan.



Gambar 31: Memindahkan dudukan kedua dari yang pertama, sebuah titik muncul dan kemudian dua, perlu diingat semuanya dilakukan tanpa menggerakkan dudukan pertama.

METODE DETEKSI LANGSUNG

Dan metode terakhir merupakan metode deteksi langsung berhubungan dengan perolehan dan analisis gambar yang beresolusi sangat tinggi dari bintang tersebut, untuk menentukan keberadaan planet-planet di sekitarnya. Dikarenakan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sebuah bintang, metode ini hanya berhasil untuk mendeteksi planet-planet yang sangat jauh dari bintang pusatnya dan pada saat yang sama masih sangat muda, sehingga mereka masih memancarkan cahaya karena panas yang dihasilkan selama pembentukannya (Gbr. 32).



Gambar 32: Metode deteksi langsung untuk mendeteksi planet.

CONTOH SISTEM EKSTRASURYA

Sebagian besar planet yang telah dikonfirmasi memiliki massa sebanding dengan Jupiter, planet terbesar di Tata Surya. Oleh karena itu, massa dan radius eksoplanet sering dinyatakan dalam massa Jupiter MJ ($1,90 \times 10^{27}$ kg) dan radius Jupiter RJ (71492 km). Hanya sedikit eksoplanet (berjumlah sekitar 20 planet) yang diketahui memiliki massa sebanding dengan Bumi. Namun ada banyak eksoplanet (sekitar 700 planet, 20% dari total eksoplanet yang diketahui) memiliki ukuran yang sama dengan ukuran Bumi, hingga $1.5 R_{\text{Bumi}}$. Banyak yang beranggapan bahwa hal ini adalah umum terjadi di eksoplanet, akan tetapi dengan teknik pengamatan saat ini telah berhasil menemukan eksoplanet dengan ukuran yang lebih besar dan lebih masif.

Nama Planet	Jarak rata-rata	Periode Orbit	Massa Minimum *	Penemuan	Radius
	Au		Hari		
Ups And b	0,059	4,617	0,69 Mj	1996	124000*
Ups And c	0,83	241,5	1,98 Mj	1999	176000*
Ups And d	2,51	1274,6	4,13 Mj	1999	221999*
Ups And e	5,24	3832,5	1,06 Mj	2010	70000*
Gl 581 e	0,030	3,149	1,9 Mt	2009	7600*
Gl 581 b	0,041	5,368	15,7 Mt	2005	16000*
Gl 581 c	0,073	12,932	5,7 Mt	2007	11000*
Kepler-62 b	0,0553	5,714	9 Mt	2013	8350
Kepler-62 c	0,0929	12,441	4 Mt	2013	3400
Kepler-62 d	0,120	18,164	14 Mt	2013	12400
Kepler-62 e	0,427	122,387	1,6 Mt	2013	10300
Kepler-62 f	0,718	267,291	2,8Mt	2013	9000
Trappist-1 b	0,012	1,5111	1,02 Mt	2016	7100
Trappist-1 c	0,016	2,422	1,16 Mt	2016	7000
Trappist-1 d	0,022	4,050	0,30 Mt	2016	5000
Trappist-1 e	0,030	6,099	0,77 Mt	2017	5800
Trappist-1 f	0,039	9,206	0,93 Mt	2017	6700
Trappist-1 g	0,047	12,354	1,15 Mt	2017	7300
Trappist-1 h	0,062	18,768	0,33 Mt	2017	4900

Tabel 8: Empat sistem ekstrasurya yang representatif dengan banyak planet. Data diperoleh dari *Extrasolar Planets Catalogue 2* (kecuali kolom terakhir). * Planet-planet ini telah ditemukan dengan metode kecepatan radial; itu sebabnya tidak ada kepastian ukurannya. Untuk planet raksasa, dengan massa 0,5-20 M_J , diketahui bahwa hampir semuanya memiliki jari-jari 0,7-1,4 kali dari Jupiter (50-100 ribu kilometer), perhitungan dengan korelasi massa-radius. Untuk planet terestrial GJ861, jari-jarinya telah dihitung dengan asumsi bahwa kepadatan planet ini sama dengan kepadatan Bumi (5520 kg/m^3).

Pada subbab ini, telah diberikan contoh sistem planet ekstrasolar yang terdiri dari tiga atau lebih planet yang telah diketahui. Pada tabel 8 menyajikan planet-planet yang berada di sekitar bintang Ups Andromeda, Gliese 581, Kepler-62 dan Trappist-1. Sistem planet bintang Ups Andromeda, dan Gliese 581 ditemukan dengan menggunakan metode kecepatan radial dan informasi massa minimum planet telah diketahui, tapi tidak untuk ukuran planet. Jari-jarinya diasumsikan antara 50.000 – 100.000 km (meskipun pada Tabel 8 telah ditunjukkan nilai yang paling mungkin). Untuk sistem Gliese 581, beberapa planet (d, f, g) telah diperkenalkan, tetapi bertentangan dengan publikasi yang lain, sehingga penemuan ketiga planet ini telah ditarik atau dianulir. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sinyal palsu dari sinyal marginal atau noise dari sumber lain dalam data pengamatan.

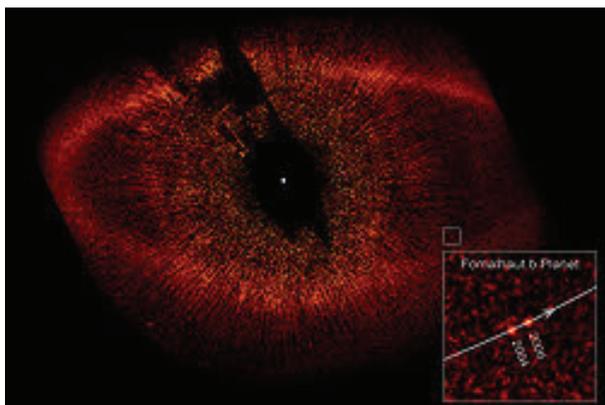
Sedangkan untuk sistem planet bintang Kepler-62 ditemukan dengan metode transit. Oleh karenanya, ukuran planet pada sistem ini diketahui, dan massa yang diketahui merupakan massa maksimum planet, dikarenakan planet-planet ini sangat kecil dan terlalu ringan untuk bisa terdeteksi menggunakan metode kecepatan radial. Selain contoh yang diberikan, terdapat banyak eksoplanet yang ditemukan dengan menggunakan gabungan kedua metode, baik itu menggunakan metode kecepatan radial dan metode transit, sehingga informasi massa dan ukuran dapat diketahui.

Banyak eksoplanet yang berjarak sangat dekat dengan bintang utama, (misal semua planet pada Gliese 876 memiliki orbit lebih dekat dengan bintang dibandingkan orbit Merkurius ke Matahari). Sedangkan ada juga yang memiliki planet dengan jarak yang sangat jauh, seperti sistem 2M1207b (Gbr. 20), dengan sebuah planet yang terletak pada jarak 41 AU atau 1.4 kali jarak Neptunus-Matahari. Metode sederhana untuk memvisualisasikan data jarak eksoplanet adalah dengan membuat model skala dari sistem planet yang dipilih. Hal ini memudahkan untuk dengan mudah membandingkan satu sama lain dan dengan Tata Surya.

Nama Planet	Jarak rata-rata	Periode Orbit	Massa, Massa Jupiter	Radius km
	Au			
Merkurius	0,3871	0,2409	0,0002	2439
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	6052
Bumi	1,0000	1,0000	0,0032	6378
Mars	1,5237	1,8809	0,0003	3397
Jupiter	5,2026	11,8631	1	71492
Saturnus	9,5549	29,4714	0,2994	60268
Uranus	19,2185	84,04	0,0456	25559
Neptunus	30,1104	164,80	0,0541	25269

Tabel 9: Planet Tata Surya.

Saat ini kita tahu bahwa ada juga eksoplanet di sekitar bintang yang sangat berbeda dari Matahari. Pada tahun 1992, para astronom radio mengumumkan penemuan eksoplanet pertama, di sekitar pulsar PSR 1257 + 12. Butuh waktu tiga tahun untuk menemukan planet ekstrasurya pertama di sekitar bintang tipe Matahari "normal", 51 Pegasi. Sejak penemuan ini, eksoplanet telah terdeteksi di orbit sekitar: bintang katai merah (misalnya Gliese 876 pada 1998), bintang raksasa (Iota Draconis pada 2001), bintang katai coklat (2M1207 pada 2004), bintang tipe A (Fomalhaut pada 2008, lihat gambar 33), bintang katai putih (WD1145-1017 pada 2015, dengan planet yang hancur), di sekitar sistem bintang ganda (Kepler-16b pada 2011), dan lainnya.



Gambar 33: Planet Fomalhaut b dalam awan debu antarplanet Fomalhaut dalam gambar Hubble Space Telescope, dengan posisi pada 2004 dan 2006 (lihat gambar kecil). (Foto: NASA).

Aktivitas 16: Model sistem eksoplanet

Pertama harus memilih skala model. Tentu tidaklah nyaman untuk menggunakan skala yang sama untuk diameter dan jarak karena masalah ukuran yang berbeda. Untuk jarak, skala yang dipertimbangkan adalah: 1 AU = 1 m. Dengan skala seperti ini, semua eksoplanet dapat dimodelkan dalam satu ruang kelas, layaknya 5 planet pertama pada model jarak Tata Surya sebelumnya. Sedangkan untuk model diameter, jari-jari planet 10.000 km bersesuaian dengan diameter model 0,5 cm. Dengan skala ini, Jupiter sebagai planet terbesar akan memiliki diameter 7 cm dan Merkurius sebagai planet terkecil akan berdiameter 0,2 cm. Jika aktivitas dilakukan di luar (misalnya, di halaman sekolah), model lengkap dapat dibangun dengan skala serupa untuk model diameter dan model jarak. Untuk bintang utama skala yang sama adalah, jari-jari bintang utama dari 10.000 km bersesuaian dengan diameter model 0,5 cm.

Tata Surya	Jarak	Radius km	Jarak Model	Diameter Model
Merkurius	0.39 AU	2439	40 cm	0.1 cm
Venus	0.72 AU	6052	70 cm	0.3 cm
Bumi	1 AU	6378	1.0 m	0.3 cm
Mars	1.5 AU	3397	1.5 m	0.1 cm
Jupiter	5.2 AU	71492	5.0 m	3.0 cm
Saturnus	9.55 AU	60268	10 m	2.5 cm
Uranus	19.22 AU	25559	19 m	1.0 cm
Neptunus	30.11 AU	25269	30 m	1.0 cm

Tabel 10: Tata Surya. Bintang utamanya, Matahari adalah G2V, dengan diameter dalam model 35 cm. Zona layak huni ditunjukkan dengan warna hijau.

Dengan memanfaatkan model skala tersebut, sistem Tata Surya, atau sistem ekstrasurya lain (pada tabel 8) dapat dimodelkan dengan baik. Untuk menyederhanakan proses, tabel 10, tabel 11, tabel 12, tabel 13 dan tabel 14 merupakan model skala yang bersesuaian untuk sistem Tata Surya, sistem Upsilon Andromeda, sistem Gliese 581, sistem Kepler 62 dan sistem Trappist-1.

Dengan penemuan sistem planet ekstrasurya pertama pada tahun 1999 dalam mendeteksi planet-planetnya dengan Efek Doppler yang diterapkan pada kecepatan radial bintang. Metode ini, karena tingkat teknologi, memungkinkan untuk mendeteksi eksoplanet yang sangat besar yang dekat dengan bintang utamanya. Selain itu metode deteksi juga menentukan karakteristik planet-planet yang ditemukan. Dengan metode deteksi ini, planet-planet gas seperti Jupiter atau bahkan lebih besar telah ditemukan. Untuk menemukan planet yang dapat mendukung kehidupan, perlu untuk mencoba mendeteksi planet terestrial yang lebih kecil seperti Bumi.

Upsilon Andromedae Titawin	Jarak au	Diameter km	Jarak Model	Diameter Model
Ups And b / Saffar	0,059 au	108000	6 cm	5,5 cm
Ups And c / Samh	0,830 au	200000	83 cm	10,0 cm
Ups And d / Majriti	2,510 au	188000	2,5 m	9,5 cm
Ups And e / Titawin e	5,24 au	140000	5,2 m	7,0 cm

Tabel 11: Bintang utama Upsilon Andromedae (Ups And) adalah bintang F8V pada 44 tahun cahaya di rasi Andromeda. Ini adalah bintang ganda yang terdiri dari Ups And A (bintang yang sangat mirip dengan Matahari tetapi agak lebih panas dan lebih terang, dengan jari-jari 1,28 R_{Matahari}) dan Ups And B (bintang katai merah kecil). Dalam model, bintang Ups And A memiliki diameter 45 cm.

Planet-planet gas dianggap tidak dapat mendukung kehidupan sesuai dengan pemahaman kehidupan yang kita kenal sehingga ada kecenderungan untuk mempelajari planet berbatu seperti tipe Bumi daripada planet Jupiter yang merupakan planet pertama yang ditemukan.

Gliese 581 adalah salah satu sistem pertama di mana dimungkinkan untuk mendeteksi eksoplanet dengan tipe terestrial. Meskipun sejak 2014 beberapa eksoplanet tersebut telah didiskusikan. Metode deteksi yang dipertimbangkan dalam kasus ini adalah kecepatan radial dikarenakan massa rendah dari bintang utama GL 581 yaitu berkisar $0,31 M_{\text{matahari}}$ sehingga memberikan kemungkinan untuk menemukan eksoplanet terestrial.

Gliese 581	Jarak au	Diameter / km	Jarak Model	Diameter Model
Gliese 581 e	0,030 au	15200	3 cm	0,8 cm
Gliese 581 b	0,041 au	32000	4 cm	1,6 cm
Gliese 581 c	0,073 au	22000	7 cm	1,1 cm

Tabel 12: Bintang utama Gliese 581 adalah M2.5V katai merah yang terletak di 20,5 tahun cahaya di rasi Libra. Bintang ini memiliki massa sepertiga dari massa Matahari dan kurang bercahaya dan lebih dingin. Jari-jarinya adalah $0,29 R_{\text{matahari}}$ dan dalam model bersesuaian dengan diameter 10 cm

Pada 2009, misi Kepler diluncurkan. Observatorium luar angkasa ini mengorbit Matahari dan mencari planet-planet luar surya, terutama yang ukurannya hampir sama dengan Bumi yang berada di zona layak huni bintang utamanya. Dalam 9 tahun misi itu berlangsung, sekitar 3000 eksoplanet terdeteksi dan masih ada ribuan kandidat yang menunggu untuk dikonfirmasi. Kepler mencakup 0,25 persen dari langit dan temuannya menunjukkan bahwa planet sangat umum di Bima Sakti. Pada tahun 2018, satelit TESS diluncurkan. Satelit ini dirancang untuk mengidentifikasi planet-planet terdekat dengan ukuran tidak lebih besar dari dua kali Bumi dan di area yang jauh lebih luas dari langit yang akan mencakup 85 persen dari kubah langit. Baik Kepler dan TESS telah dirancang untuk menjelajahi langit untuk mencari transit planet.

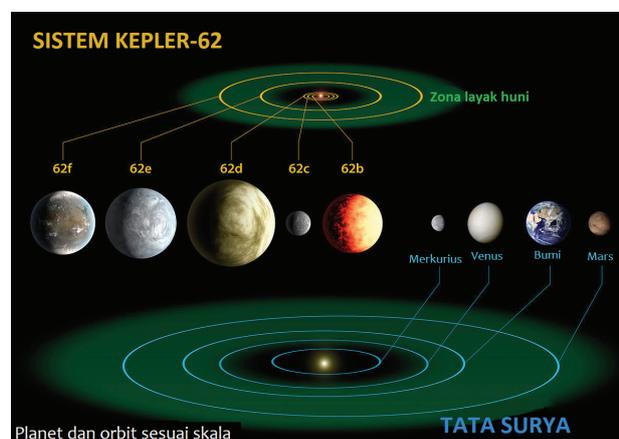
Kepler 62	Jarak AU	Diameter / km	Jarak Model	Diameter Model
Kepler 62 b	0,056 AU	33600	5,5 cm	1,7 cm
Kepler 62 c	0,093 AU	13600	9 cm	0,7 cm
Kepler 62 d	0,120 AU	48000	12 cm	2,4 cm
Kepler 62 e	0,427 AU	40000	43 cm	2,0 cm
Kepler 62 f	0,718 AU	36000	72 cm	1,8 cm

Tabel 13: Bintang utama Kepler 62 adalah bintang F2V, di rasi Lyra pada 1200 tahun cahaya. Bintang ini sedikit lebih dingin dan lebih kecil dari Matahari. Jari-jarinya adalah $0,64 R_{\text{matahari}}$ dan dalam model sesuai dengan diameter 22 cm.

Kepler-62 adalah salah satu contoh paling menarik dari sistem planet yang berpotensi layak huni. Yang menarik adalah planet e dan f, karena kedua planet ini adalah kandidat terbaik untuk planet padat yang terletak pada zona layak huni bintang utamanya. Dengan jarak orbit berturut-turut 1,61 dan 1,41 kali jarak orbit Bumi, mengakibatkan kedua planet diprediksikan merupakan planet terestrial yang solid. Di sisi lain, posisi kedua planet dalam sistem Kepler-62 ini berada dalam rentang zona layak huni, dimana dalam rentang ini setidaknya dengan beberapa kondisi atmosfer, kedua planet dapat memi-

liki air dalam bentuk cair di permukaannya. Untuk planet Kepler-62 e, dikarenakan planet ini terletak di dekat batas dalam zona layak huni, agar memungkinkan terjadinya kehidupan, maka dibutuhkan lapisan awan reflektif untuk mengurangi radiasi bintang yang dapat memanaskan permukaan planet. Di sisi lain, planet Kepler-62 f yang terletak pada di sekitar batas luar zona layak huni, layaknya planet Mars di Tata Surya. Pada planet f ini, dibutuhkan jumlah karbon dioksida yang cukup besar untuk menjaga agar suhu permukaan planet cukup hangat, sehingga air dapat berwujud cair di permukaannya.

Bintang katai merah terdekat, terdaftar sebagai 2MASS J23062928-0502285 ditemukan dalam posisi transit pada tahun 2015 dengan teleskop Trappist, awalnya ditemukan sekitar tiga planet ukuran terestrial, dinamakan Trappist-1b, c dan d. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh tim internasional menggunakan teleskop Hubble, Kepler, Spitzer, dan Teleskop di Chili, memungkinkan untuk ditemukannya tujuh planet secara total. Lima dari planet-planet ini (b, c, e, f dan g) memiliki ukuran yang mirip dengan Bumi, dan dua (d dan h) berukuran sedang antara Mars dan Bumi. Tiga planet (e, f dan g) mengorbit di dalam zona layak huni.



Gbr. 34: Perbandingan sistem planet Kepler-62 dengan sistem planet dalam tata Surya. Area hijau mendakan zona layak huni (*habitable zone*), zona dimana mungkin terdapat kehidupan di dalamnya. Sumber NASA Ames / JPL-Caltech.

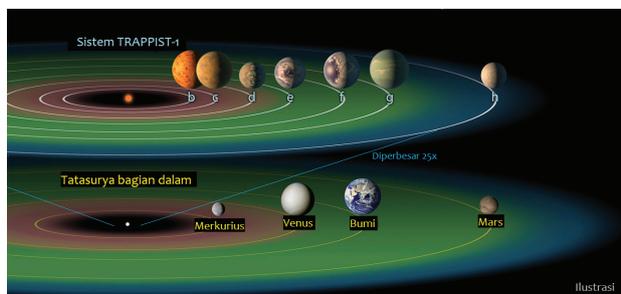
Planet pada sistem Trapisst-1 semuanya mengorbit sangat dekat dengan bintang utama dan saling melintas begitu dekat sehingga interaksi gravitasi sangat penting dan periode orbitnya hampir beresonansi sama dengan yang lain. Planet-planet ini akan tampak menonjol di langit objek sekitar mereka, dan dalam beberapa kasus, akan beberapa kali lebih besar dari Bulan yang tampak dari Bumi. Perlu diingat bahwa massa planet pada sistem ini belum dapat ditentukan dengan kecepatan radial, tetapi dengan penyimpangan dalam periodisitas orbitnya, atau metode yang disebut 'variasi waktu transit' (deviasi waktu transit), maka massa maksimum dapat ditentukan.

Massa semua planet dalam sistem Trappist-1 dapat diperoleh dengan rentang kesalahan yang sangat kecil, sehingga dapat dimungkinkan juga untuk menghitung densitas, gravitasi, dan komposisi masing-masing planet secara presisi. Planet-planet ini menurut perhitungan memiliki rentang massa sekitar 0,3 hingga 1,16 kali massa Bumi, dengan densitas 0,62 hingga 1,02 kali densitas Bumi. Planet c dan e hampir sepenuhnya berbatu, sementara b, d, f, g dan h memiliki lapisan yang mu-

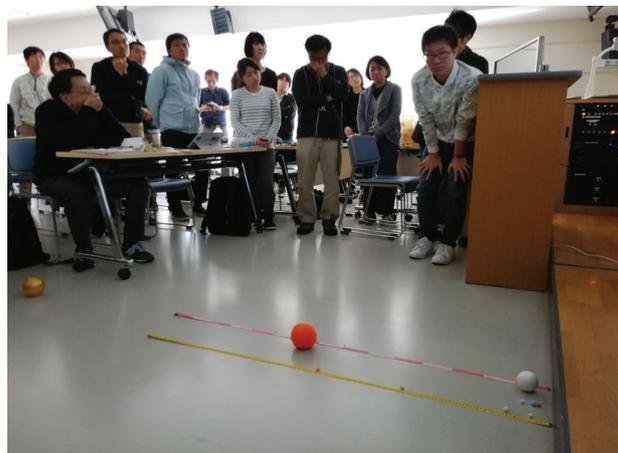
dah menguap dalam bentuk lapisan air, lapisan es atau atmosfer yang tebal. Trappist-1d tampaknya memiliki lautan air dalam wujud cair yang terdiri sekitar 5% dari massanya, untuk perbandingan, kadar air Bumi adalah <0,1%, sedangkan lapisan air Trappist-1f dan g mungkin berwujud beku. Trappist-1e memiliki kerapatan yang sedikit lebih tinggi daripada Bumi, menunjukkan adanya komposisi batuan dan besi. Selain itu, ditemukan bahwa atmosfer Trappist-1b berada di atas batas pemacuan efek rumah kaca (*Runaway greenhouse effect*) dari 101 hingga 104 bar uap air. Planet-planet c, d, e, dan f tidak memiliki atmosfer hidrogen-helium. Planet g juga diamati, tetapi tidak ada data yang cukup untuk menyatakan bahwa tidak ada atmosfer hidrogen pada planet ini.

Trappist - 1	Jarak au	Diameter / km	Jarak Model	Diameter Model
Trappist-1 b	0,012	14284	1,2 cm	1,4 cm
Trappist-1 c	0,016	13952	1,6 cm	1,4 cm
Trappist-1 d	0,022	9990	2,2 cm	1,0 cm
Trappist-1 e	0,030	11595	3,0 cm	1,2 cm
Trappist-1 f	0,039	13328	3,9 cm	1,3 cm
Trappist-1 g	0,047	14628	4,7 cm	1,5 cm
Trappist-1 h	0,062	9850	6,2 cm	1,0 cm

Tabel 14: Bintang utama Trappist-1 adalah katai merah jenis M8V yang terletak di rasi Aquarius pada usia 40 tahun cahaya. Bintang ini sedikit lebih besar dari Jupiter, dengan diameter 168.000 km dan diameter model 7 cm. Diamati bahwa jarak ke planet-planet dalam model lebih kecil dari diameter bintang, yang memberikan gambaran tentang kepadatan sistem ini.



Gbr. 35: Sistem Trappist-1 dibandingkan dengan planet dalam Tata Surya. Area hijau mendakan zona layak huni (*habitable zone*), zona dimana mungkin terdapat kehidupan di dalamnya.



Gbr. 36: Setelah semua model telah dikonstruksi ulang, hal yang perlu ditekankan dalam presentasi adalah zona layak huni. Tergantung pada massa dan jenis bintang utamanya, zona kelayakhuniannya kurang lebih dekat dengan bintang utamanya.

Masih banyak pertanyaan yang belum terjawab terkait dengan karakteristik dan kelayakhunian eksoplanet. Dengan motivasi untuk menemukan lebih banyak eksoplanet dan mempelajarinya lebih dalam tentang sifat maupun karakteristik eksoplanet, telah diluncurkan beberapa misi wahana antariksa, antara lain misi TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) dan JWST (*James Webb Space Telescope*) oleh NASA, misi CHEOPS (*Characterizing Exoplanet Satellite*) dan PLATO (*PLANetary Transits and Oscillations of stars*) oleh ESA, dimana peluncuran misi PLATO ini akan ditargetkan pada tahun 2026, dan tentu dengan hasil dari misi wahana antariksa tersebut, penemuan dalam jumlah besar untuk eksoplanet dapat diprediksi akan terjadi dalam kurun waktu dekat.

REFERENSI

- Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., *Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17th century*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.
- Gaitsch, R., *Searching for Extrasolar Planets*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.
- Ros, R.M., *A simple rocket model*, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.
- Ros, R.M., *Measuring the Bulan's Mountains*, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.
- Vilks I., *Models of extra-solar planetary systems*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

ASTROBIOLOGI

Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz, Ana Villaescusa, Madelaine Rojas

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia, Spanyol, IteDA dan National Technological University, Argentina, Escola Secundária de Faro, Portugal, Heidelberg Astronomy House, Jerman, Diverciencia in Algeciras, Spanyol, SENACYT, Panama

Penerjemah: Elisa Fitri

Institut Teknologi Bandung (Jawa Barat, Indonesia)

RINGKASAN

Workshop ini secara esensial dibagi menjadi dua bagian. Kebutuhan elemen – elemen kimia untuk kehidupan, studi sederhana dari tabel periodik berkorespondensi pada tujuan dari pekerjaan ini dan beberapa konsep dari astrobiologi diperkenalkan.

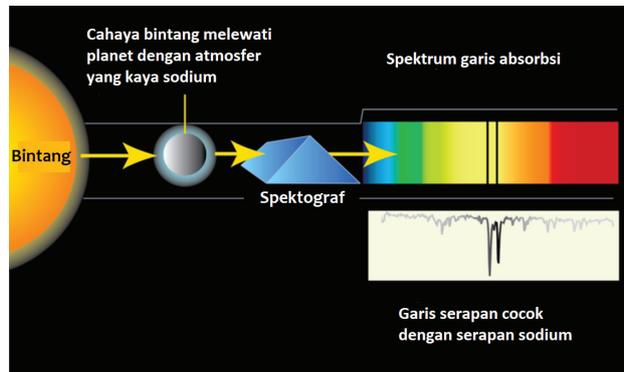
TUJUAN

- Memahami dari mana atau bagaimana elemen – elemen yang berbeda dari tabel periodik muncul.
- Memahami karakteristik utama dari sistem keplanetan di luar Tata Surya.
- Memahami kebutuhan kondisi kelayakan huni untuk perkembangan hidup.
- Mempelajari syarat minimum kehidupan di luar Bumi.

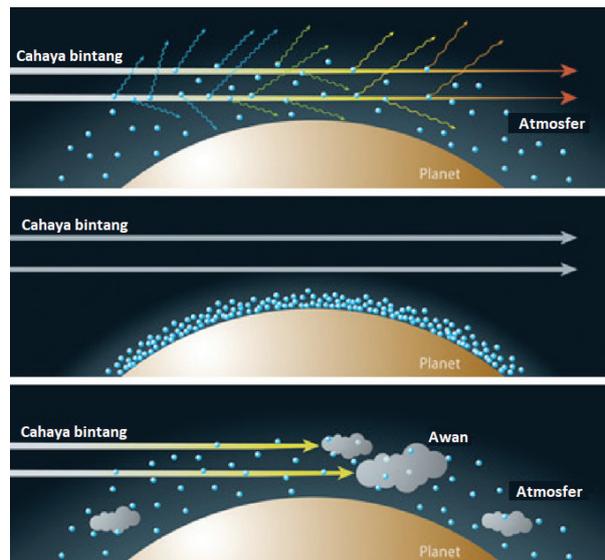
PEMBENTUKKAN SISTEM KEPLANETAN

Ketika sebuah bintang terbentuk dari gas dan awan debu, awan sisa di sekitar Bintang membentuk planet. Dengan cara yang sama kita dapat mengetahui komposisi Bintang dengan mempelajari spektrumnya, spektroskopi digunakan untuk menentukan atmosfer dari eksoplanet.

Setiap elemen kimia dan molekul memiliki spektrum yang unik. Pada suatu sistem, sebuah planet akan melewati bagian depan dari Bintang. Cahaya Bintang akan melewati atmosfer planet dan absorpsi akan terjadi. Dengan mengobservasi spektrum cahaya Bintang dari sistem keplanetan di luar Tata Surya, komposisi kimia dari atmosfer planet dapat ditemukan (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Spektroskopi diterapkan pada studi atmosfer planet HD 209458b, dengan pendeteksian sodium di atmosfernya. Sumber Wikipedia / A. Feild (STSci)



Gambar 2. Bagaimana kita mengetahui bahwa di sana ada air atau molekul – molekul organik dari suatu atmosfer planet? Setiap elemen kimia dan molekul memiliki spektrum yang spesifik dan unik. Dengan membandingkan spektrum cahaya Bintang – Bintang dari sistem eksoplanet kita dapat menemukan komposisi kimia dari atmosfer planetnya, jika akhirnya cahaya melewati atmosfer masing – masing.

Namun, mari kita lihat contoh dari pembentukan sistem keplanetan menggunakan metode keterlibatan peserta dalam model aktif.

Aktivitas 1: Pembentukan Sistem Keplanetan dari Gas dan Debu

Tema dari aktivitas ini adalah untuk menjelaskan pembentukan Tata Surya atau sistem keplanetan lainnya berdasarkan Hipotesis Nebul Immanuel Kant (1755).

Aktivitas ini terdiri dari pembagian kelas menjadi dua grup yang mana mudah diidentifikasi langsung, contohnya: kelompok perempuan dan laki – laki. (Kriteria lain dapat digunakan, namun ini yang biasanya paling sederhana). Setiap kelompok memiliki peran, kelompok perempuan dapat merepresentasi-

kan gas dan laki – laki merepresentasikan debu (atau sebaliknya). Jika terdapat perbedaan substansi untuk jumlah peserta dari grup yang satu dan lainnya, direkomendasikan bahwa untuk kelompok yang merepresentasikan gas menjadi kelompok dengan jumlah peserta terbanyak dikarenakan selama pembentukan sistem keplanetan, massa gas 100 kali lebih banyak dari massa debu.

Ketika peserta mendengarkan cerita, mereka bereaksi secara dinamis pada apa yang mereka dengar, contohnya:

Tabel 1. Cerita untuk menjelaskan pembentukan dari suatu sistem keplanetan.

Teks Cerita:	Penampilan Peserta:
Dahulu, terdapat awan dengan banyak gas dan sedikit debu.	Semua peserta bergabung dalam suatu awan. Peserta yang merepresentasikan gas lebih banyak. Di dalam awan, semua peserta berpegangan tangan secara acak, membentuk suatu jaringan.
Kemudian, gas mulai berkumpul di pusat awan dan di sekitarnya adalah debu.	Mereka mulai terpisah. Peserta yang merepresentasikan gas berkumpul di pusat dan yang merepresentasikan debu berpegangan tangan di cincin di luar pusat.
Dahulu terdapat banyak pergerakan, partikel gas menarik gas dan partikel debu menarik debu.	Mereka mulai berotasi, berpindah, bertabrakan, bergetar, melompat. Beberapa terlempat ke luar sebagai hasil dari banyaknya pergerakan dan yang lainnya "menyelamatkan" saling tangkap, berpelukan dengan partikel tersebut dengan cara mengidentifikasi (gas dengan gas dan debu dengan debu)
Di pusat telah terbentuk inti yang rapat dan buram, dikelilingi oleh piringan debu dan gas.	Yang berada di pusat (gas) berakumulasi dan di sekitar mereka peserta yang merepresentasikan debu membentuk seperti lingkaran saling berpegangan tangan. Klarifikasi: Tidak semua gas berada di pusat, terdapat gas jarak jauh di luar lingkaran.
Inti ini adalah bagian yang pada akhirnya akan memunculkan Matahari atau Bintang induk dari sistem ekstrasurya.	Matahari atau Bintang induk mulai bersinar sehingga sinarnya harus ditembakkan ke segala arah. Klarifikasi: Ketika Matahari atau Bintang induk mulai bersinar, gas "yang terlepas" mulai menjauh.
Beberapa planet kecil terbentuk dari penyatuan butiran debu yang semakin besar, lalu bebatuan, dan seterusnya.	Peserta yang merepresentasikan debu yang membentuk planet – planet terestrial mulai bersama – sama berkelompok. Klarifikasi: Tidak semua debu tinggal di planet – planet terestrial, melainkan harus terdapat beberapa debu di daerah yang paling jauh.
Planet – planet raksasa terbentuk dari panas Matahari atau Bintang induk tempat awan gas dapat berkumpul tanpa halangan.	Peserta yang tersisa mulai berkumpul bersama membentuk planet – planet raksasa: Terdapat banyak gas dan beberapa debu. Klarifikasi: Menurunnya temperatur karena semakin besarnya jarak ke Matahari atau Bintang induk adalah sebab dari perbedaan utama antara planet dengan inti batuan dan planet raksasa dengan gas eksternal.



Gambar 3. Semua peserta bergabung dalam suatu awan. Peserta yang merepresentasikan gas lebih banyak. Di dalam awan, semua peserta berpegangan tangan secara acak, membentuk suatu jaringan.



Gambar 4. Mereka mulai terpisah. Peserta yang merepresentasikan gas berkumpul di pusat dan yang merepresentasikan debu berpegangan tangan di cincin di luar pusat.



Gambar 5. Peserta yang merepresentasikan debu yang membentuk planet terestrial mulai berkelompok.



Gambar 6. Peserta yang tersisa mulai berkumpul dan membentuk planet – planet raksasa: Terdapat banyak gas dan beberapa debu.

ASPEK KIMIA DARI EVOLUSI BINTANG

Tabel periodik ini memungkinkan kita untuk menyadari bahwa elemen – elemen yang membentuk kita telah tercipta dalam evolusi Bintang.

■ Unsur yang dibentuk pada menit pertama setelah Big Bang
■ Unsur yang dibentuk di dalam bintang
■ Unsur yang muncul pada ledakan supernova
■ Unsur yang dibuat manusia di laboratorium

H																	He																														
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																														
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																														
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cb	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																														
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																														
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																														
<table border="1"> <tr> <td>La</td> <td>Ce</td> <td>Pr</td> <td>Nd</td> <td>Pm</td> <td>Sm</td> <td>Eu</td> <td>Gd</td> <td>Tb</td> <td>Dy</td> <td>Ho</td> <td>Er</td> <td>Tm</td> <td>Yb</td> <td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Ac</td> <td>Th</td> <td>Pa</td> <td>U</td> <td>Np</td> <td>Pu</td> <td>Am</td> <td>Cm</td> <td>Bk</td> <td>Cf</td> <td>Es</td> <td>Fm</td> <td>Md</td> <td>No</td> <td>Lr</td> </tr> </table>																		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																	
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																	

Gambar 7. Tabel periodik dari sudut pandang evolusi Bintang

Pada tabel periodik (Gambar 7) elemen – elemen yang berbe-
da diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Elemen – elemen terbentuk pada menit – menit pertama setelah Big Bang. Awalnya, alam semesta pada dasarnya berkomposisi atom paling sederhana: Atom Hidrogen. Beberapa waktu kemudian, hal ini memunculkan elemen yang sedikit lebih terelaborasi seperti Helium, Lithium, dan Berilium.
2. Elemen – elemen yang terbentuk di pusat Bintang oleh nukleosintesis merupakan elemen yang lebih berat, seperti Boron, Karbon, Nitrogen, Oksigen, Fluor, Neon, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silikon, Fosfor, Belerang, Klorin, Argon, Kalium, Kalsium, Skandium, Titanium, Vanadium, Kromium, Mangan, dan Besi.
3. Elemen – elemen terberat terbentuk di dalam ledakan supernova besar yang menyusun sisa tabelnya. Bebe-

rapa di antaranya tidak stabil namun dapat dibentuk di laboratorium.

4. Elemen – elemen sintetik diproduksi oleh manusia di laboratorium dan tidak ditemukan di alam.

Aktivitas 2: Klasifikasi Element – Elemen pada Tabel Periodik

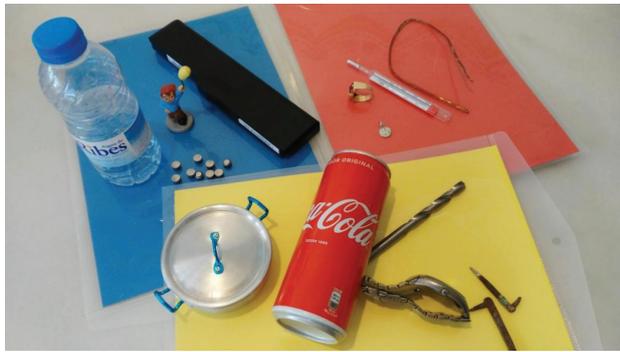
Di bawah ini adalah daftar objek – objek yang harus diklasifikasi berdasarkan tiga tingkatan dalam tiga keranjang:

1. Elemen – elemen yang dihasilkan pada menit – menit pertama setelah Big Bang (Keranjang biru)
2. Elemen – elemen yang dihasilkan di dalam Bintang (Keranjang kuning)
3. Elemen – elemen yang muncul di dalam ledakan supernova (Keranjang merah)

Perlu untuk meletakkan di dalam salah satu dari tiga keranjang (biru, kuning, dan merah) setiap objek dari daftar berikut, berdasarkan konstitusinya:

Tabel 2 Objek – objek untuk diklasifikasikan.

Cincin: Emas Au	Mata bor yang dilapisi dengan: Titanium Ti	Gas di dalam balon anak – anak: Helium He	Penghapus pulpen: Nikel Ni
Baterai ponsel/ laptop : Litium Li	Busi mobil: Platinum Pt	Kawat tembaga listrik: Tembaga Cu	Larutan lodium: Iodium I
Botol air H ₂ O: Hidrogen H	Panci masak usang: Aluminium Al	Ujung pensil hitam: Grafit C	Sulfur pada agrikultur: Sulfur S
Kaleng minuman bersoda: Aluminium Al	Jam tangan: Titanium Ti	Medali: Silver Ag	Pipa air tua: Timbal Pb
Rautan pensil: Seng Zn	Paku tua yang berkarat: Besi Fe	Termometer: Gallium Ga	Kotak korek api: Fosfor P



Gambar 8. Klasifikasi benar. Pada daerah biru: baterai ponsel atau laptop: Litium, Botol air H₂O: Hidrogen, Gas di dalam balon anak – anak: Helium. Pada daerah kuning: Kaleng minuman bersoda: Aluminium Al, Botol air H₂O: Oksigen O. Mata bor yang dilapisi dengan: Titanium Ti, panci masak usang: Aluminium Al, Jam tangan Titanium Ti, paku tua berkarat: Besi Fe, Ujung pensil hitam: Grafit C, Sulfur dalam agrikultur: Sulfur S, Kotak korek api: Fosfor P. Pada daerah merah: Kawat tembaga elektrik: Tembaga Cu, Busi: Platinum Pt, Cincin: Emas Au, Medali: Silver Ag, Termometer: Gallium Ga, Rautan pensil: Seng Zn, Penghapus pulpen: Nikel Ni, Larutan Iodium: Iodium I, Pipa air tua: Timbal Pb.

Aktivitas 3: Anak – anak para Bintang

Elemen – elemen kimia yang dianggap esensial untuk kehidupan memiliki karakteristik – karakteristik berikut:

- Ketidak-cukupan elemen menyebabkan defisiensi fungsional (bersifat *reversible* atau dapat dibalik ketika kembali dalam konsentrasi yang sesuai).
- Ketika organisme kekurangan elemen ini, ia tidak tumbuh atau menyelesaikan siklus hidupnya.
- Elemen tersebut secara langsung mempengaruhi organisme dan terlibat dalam proses metabolismenya.
- Efek dari elemen ini tidak dapat digantikan oleh elemen lainnya.

Di bawah ini merupakan daftar unsur – unsur hayati yang ada pada manusia yang disusun berdasarkan kelimpahannya.

- Elemen – elemen yang melimpah: Oksigen, Karbon, Hidrogen, Nitrogen, Kalsium, Fosfor, Potasium, Sulfur, Sodium, Klorin, Besi, dan Magnesium.
- Elemen – elemen jejak: Flour, Seng, Tembaga, Silikon, Vanadium, Mangan, Iodium, Nikel, Molibdenum, Kromium, dan Kobalt.

Element – Elemen yang Melimpah		Element – Elemen Jejak										Element – Elemen yang Esensial					
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Gambar 9. Tabel periodik dari element – elemen esensial untuk kehidupan

Tidak semua makhluk hidup memiliki proporsi yang sama dari elemen – elemen yang esensial. Gambar 9 menyoroti elemen – elemen esensial serta beberapa yang dapat dikenali seperti: Litium, Kadmium, Arsen, dan Timah.

Membandingkan tabel periodik dari Gambar 7 dan 9, kamu dapat melihat semua elemen – elemen utama (kecuali Hidrogen) telah diproduksi di dalam Bintang. Tanpa elemen – elemen yang lebih berat yang diciptakan oleh evolusi Bintang, kita tidak bisa ada. Mengenai unsur – unsur yang muncul hanya sebagai jejak, terdapat beberapa yang telah terbentuk di dalam Bintang dan yang lainnya dalam ledakan supernova. Namun, sebagian besar muncul dari reaksi sintesis inti pada pusat Bintang: Kita adalah anak dari Bintang – Bintang! Kita terbuat dari debu Bintang!!

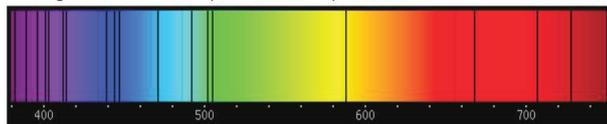
Meskipun hal ini bukan merupakan tujuan utama dalam lokakarya ini, ia akan menjadi latihan yang baik untuk membuat tabel periodik yang menetapkan objek sehari – hari untuk setiap elemen dan/atau percobaan yang melibatkan elemen tersebut. Hal ini akan mengarahkan kepada pemahaman yang lebih baik dari tabel periodik oleh para siswa.

MATAHARI BUKAN BINTANG GENERASI PERTAMA

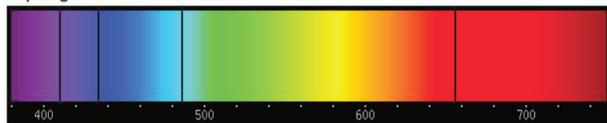
Bintang generasi pertama secara esensial merupakan hidrogen dan helium dari Big Bang (dan beberapa helium yang telah dihasilkan sendiri). Bintang yang meliputi elemen – elemen yang lebih berat terbentuk dari awan awal yang berisi sisa ledakan supernova. Ledakan supernova menciptakan elemen – elemen yang lebih berat oleh reaksi fusi. Contohnya, spektrum Matahari yang memiliki sekumpulan garis natrium yang berbeda yang menunjukkan bahwa karena massa dan keadaan evolusinya yang kecil, ia tidak dapat menjadi Bintang generasi pertama. Natrium tidak dapat dihasilkan oleh Matahari. Sebagai tambahan, pada planet – planet di Tata Surya, banyak elemen yang muncul setelah ledakan supernova terdeteksi. Hal itu merupakan teori yang masuk akal di mana Matahari terbentuk dari awan awal yang merupakan sisa dari setidaknya dua ledakan supernova. Oleh karena itu, Matahari dapat dianggap sebagai Bintang generasi ketiga.

Mari kita lihat beberapa contoh spektrum yang ditunjukkan di bawah ini: Spektrum dari Bintang generasi pertama di mana hanya garis – garis dari elemen – elemen primitif yang dapat terlihat (Gambar 10). Spektrum Matahari dengan garis natrium yang telah disebutkan terlihat jelas (Gambar 12).

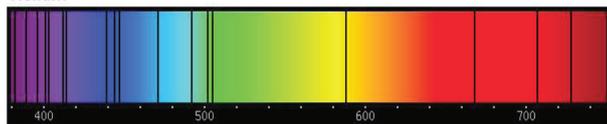
Bintang Generasi Pertama (Gambaran artis)



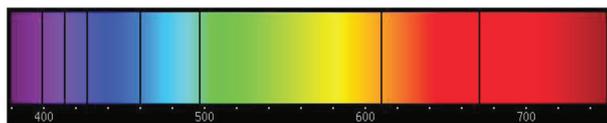
Hydrogen



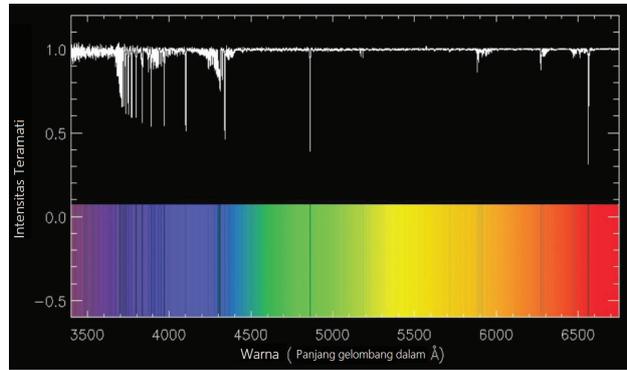
Helium



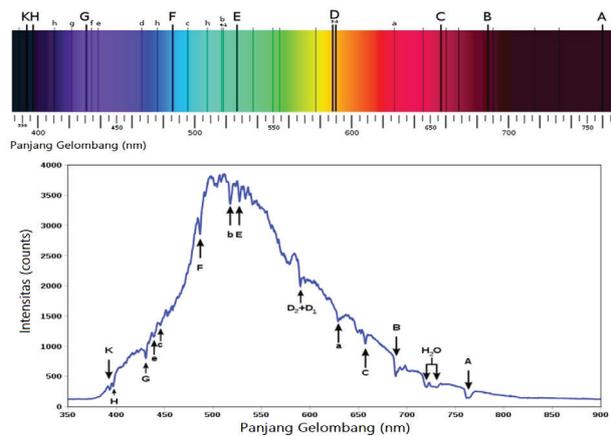
Lithium



Gambar 10. Spektrum Bintang generasi pertama (kesan artis). Bintang – Bintang ini sebagian besar berukuran puluhan atau ratusan kali lebih masif dibandingkan dengan Matahari. Mereka hidup cepat, mati muda, dan tidak bertahan sampai hari ini. Hanya akan ada garis spektrum Hidrogen, Helium, dan sedikit Litium.



Gambar 11. Spektrum dari SMSS J031300.36-670839.3, Bintang generasi kedua yang hanya menunjukkan garis – garis Hidrogen dan Karbon.

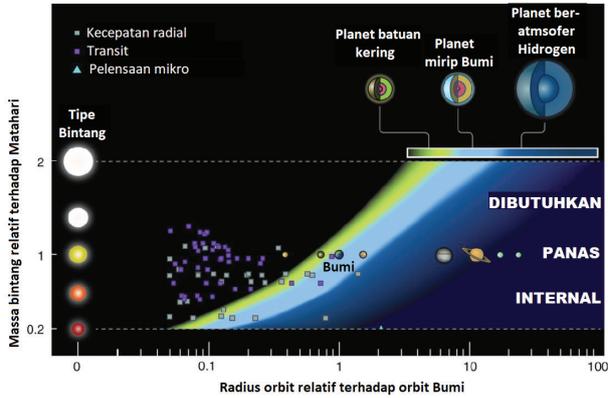


Gambar 12. Spektrum Matahari. Dengan banyak garis spektrum dari berbagai elemen dan di antaranya Natrium (ditandai dengan huruf tebal).

ZONA KELAYAK-HUNIAN

Ketika kita berbicara tentang kehidupan, biasanya diasumsikan bahwa ini merupakan bentuk kehidupan berbasis karbon dan karena itu kriteria utama untuk kelayakhunian didefinisikan sebagai tempat yang memungkinkan air dalam bentuk cair. Daerah di sekitar Bintang di mana aliran dari radiasi pada permukaan planet batuan (atau satelit) akan memungkinkan adanya air dalam bentuk cair disebut zona kelayak-hunian Bintang. Hal itu biasanya terjadi pada objek (atau pada permukaan objek dengan massa) dengan massa antara 0,5 – 10 M_{\oplus} dan dengan temperatur atmosfer lebih besar dari 6,1 mbar, sesuai dengan titik tripel air pada temperatur 273,16 K (ketika air berdamdingan dalam bentuk es, cair, dan gas).

Zona kelayak-hunian bergantung pada massa Bintang. Jika massa Bintang meningkat, temperatur dan kecerlangannya pun akan meningkat, oleh karena itu zona kelayak-hunian semakin menjauh.



Gambar 13. Zona layak-hunian ditentukan dari Bintang induknya.

Sebuah planet yang berada di zona layak huni tidak berarti di sana pasti ada kehidupan. Contohnya, di Tata Surya kita, zona layak huni mencakup Bumi dan Mars, namun dari keduanya hanya Bumi yang diketahui memiliki kehidupan. Zona layak huni untuk Tata Surya adalah antara 0,84 AU dan 1,67 AU. Venus berada pada jarak 0,7 AU dengan efek rumah kaca yang tak terkendali dan juga Mars berada pada jarak 1,5 AU tanpa adanya air permukaan, namun di sana kemungkinan bisa terdapat air yang membeku di bawah tanah.

Selain keberadaan air permukaan cair terdapat pula kondisi – kondisi lain untuk planet layak huni. Mari kita lihat secara lebih detailnya yang paling penting:

Jarak orbital dari planet yang menempatkannya di zona layak huni adalah kondisi yang diperlukan namun tidak cukup bagi sebuah planet untuk dapat menerima kehidupan. Contoh: Venus dan Mars.

Satu faktor yang secara meyakinkan mempengaruhi layak-hunian adalah **massa planet**. Hal ini harus cukup besar sehingga gravitasinya memungkinkan untuk menahan atmosfer. Itu merupakan alasan utama mengapa Mars tidak layak huni saat ini, ia kehilangan sebagian besar dari atmosfernya dan semua air permukaan cair yang dimilikinya dalam 1 miliar tahun pertama.

Dalam beberapa kasus, hal itu mungkin terjadi meskipun planet – planet tidak berada di zona layak huni, faktor – faktor yang diperlukan untuk keberadaan suatu jenis kehidupan mungkin ada, baik pada planet itu sendiri atau beberapa dari Bulannya. Ini bisa menjadi kasus untuk beberapa Bulan Saturnus atau Jupiter.

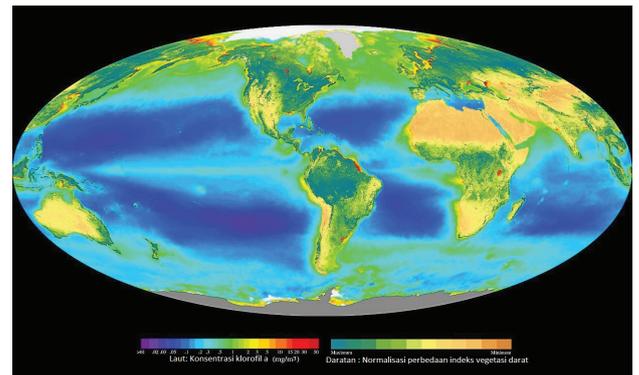
ASTROBIOLOGI PENDAHULUAN: PROSES PEMBENTUKAN ATMOSFER BUMI

Pengetahuan tentang fotosintesis penting untuk memahami hubungan dari makhluk hidup dan atmosfer, serta untuk memahami keseimbangan kehidupan di Bumi, memberikan dampak besar yang ditimbulkannya pada atmosfer dan iklim Bumi.

Fotosintesis merupakan suatu proses fisikokimia di mana tumbuhan, alga, dan bakteri fotosintetik tertentu menggunakan energi sinar Matahari untuk menyintesis senyawa organik. Hal ini merupakan proses dasar untuk kehidupan di Bumi dan memiliki dampak yang besar pada atmosfer dan iklim Bumi: Setiap tahun organisme dengan kemampuan fotosintesis mengonversi lebih dari 10% CO₂ atmosfer menjadi karbohidrat. Hal ini berarti bahwa meningkatnya konsentrasi CO₂ atmosfer yang dibangkitkan oleh aktivitas manusia memiliki dampak besar pada fotosintesis. Dari sudut pandang evolusi, kemunculan fotosintesis oksigenik (yang menghasilkan oksigen) adalah revolusi nyata bagi kehidupan di Bumi: Ia mengubah atmosfer Bumi dengan memperkayanya, sebuah fakta yang memungkinkan munculnya organisme yang menggunakan oksigen untuk hidup.

Fotosintesis Oksigenik
$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$
Fotosintesis Anoksigenik
$H_2S \rightarrow 2H^+ + 2e^- + S$

Gambar 14. Fotosintesis oksigenik dan anoksigenik.



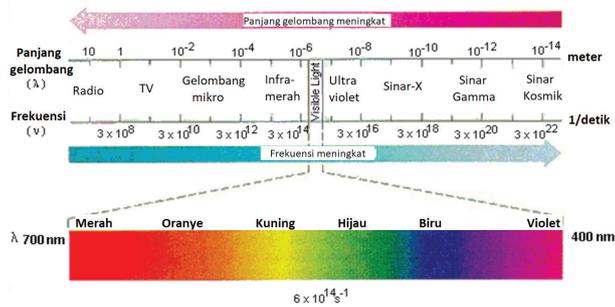
Gambar 15: Distribusi fotosintesis pada Bumi yang dibawa oleh fitoplankton lautan dan vegetasi darat.

Terdapat berbagai hal yang belum diketahui saat ini, seperti; evolusi Bumi, evolusi atmosfer purba, evolusi metabolisme purba, rangkaian kejadian pada bakteri fototropik yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan menghasilkan sulfur (disebut sebagai fotosintesis anoksigenik, yaitu fotosintesis yang tidak menghasilkan oksigen). Oleh karena itu, atmosfer primitif planet kita hampir tidak mengandung jejak oksigen, tetapi kehidupan tetap ada. Selanjutnya, barulah muncul fotosintesis oksigenik di Bumi. Fotosintesis ini melepaskan oksigen ke atmosfer, sehingga konsentrasi oksigen di atmosfer meningkat. Udara yang kita hirup saat ini mengandung oksigen sebanyak 21% yang merupakan produk aktivitas biologi Bumi dan sangat berbeda dari atmosfer primitif Bumi.

PROSES PEMBENTUKAN BAHAN ORGANIK. MENGAPA TUMBUHAN BERWARNA HIJAU?

Kehidupan di Bumi dipertahankan oleh proses fotosintesis ganggang dan bakteri (terjadi di lingkungan berair) dan tumbuhan (terjadi di lingkungan kering atau pada permukaan Bumi). Ganggang, bakteri, dan tumbuhan ini mampu menyintesis bahan organik (bahan organik merupakan zat penting dalam penyusun makhluk hidup) dan bahan anorganik. Setiap tahun fotosintesis makhluk hidup mengikat sekitar 100 miliar ton karbon dalam bentuk bahan organik.

Konversi energi cahaya menjadi bahan kimia bergantung pada molekul yang disebut pigmen fotosintesis. Kata 'pigmen' digunakan untuk mendeskripsikan molekul yang mempunyai kemampuan untuk menangkap energi dari foton (eksitasi elektron dari tingkat energi dalam atom; sebuah molekul yang "tereksitasi oleh cahaya"). Semua pigmen biologi secara selektif menyerap panjang gelombang cahaya tertentu dan memantulkannya dalam panjang gelombang yang lain.



Gambar 16: Spektrum cahaya tampak

Cahaya Matahari tersusun dari warna-warna yang berbeda; masing-masing warna mempunyai panjang gelombang yang berbeda pula dengan rentang antara 400 sampai 700 nm. Klorofil dapat menyerap energi cahaya merah dan biru tapi tidak menyerap energi cahaya hijau. Warna hijau yang kita lihat pada daun merupakan hasil pantulan.

Aktivitas 4: Produksi oksigen dari CO₂ menggunakan fotosintesis atau fungsi klorofil

Pada percobaan ini, kita menggunakan daun tumbuhan untuk menghasilkan oksigen dari sodium bikarbobat, karbon, dan cahaya lampu. Alat yang digunakan adalah toples bening yang di dalamnya diletakkan filter biru dan merah.

Daun tumbuhan yang dipilih harus segar dan berwarna hijau sepenuhnya. Disarankan untuk menggunakan bayam atau daun bit. Potong daun tersebut berbentuk piringan atau bulatan sebanyak 20 bulatan dengan menggunakan bantuan

pelubang kertas agar seragam dan hindari area pada tulang rusuk tengah. Setiap toples berisi 10 bulatan daun.

Selanjutnya, siapkan 25% larutan sodium bikarbonat (25 g bikarbonat per 1 liter air). Sodium bikarbonat digunakan untuk meningkatkan jumlah karbon, sehingga fenomena yang diamati lebih terlihat dan terjadi dengan lebih cepat. Lalu, tuangkan 20 ml larutan sodium bikarbonat pada setiap toples. Rendam bulatan daun dengan larutan tersebut.

Kemudian lepas *plunger* dari jarum suntik berukuran 10 ml dan letakkan bulatan daun tadi pada *plunger*. Lalu, sedot larutan bikarbonat hingga daun terendam semua.

Buang sebanyak mungkin udara yang masuk ke dalam suntikan sehingga hanya menyisakan daun yang terendam bikarbonat. Tutup ujung suntikan dengan jari dan sedot suntikan secara rapat untuk membuat ruang hampa, sehingga pada bagian kosong dari jaringan di dalam daun akan digantikan dengan larutan bikarbonat yang akan menjadi sumber karbon, mirip dengan struktur fotosintesis dari daun.

Letakkan bulatan daun pada masing-masing toples. Tutup salah satu botol dengan kertas aluminium dan tutup botol yang satunya lagi dengan kertas plastik berwarna. Pasang lampu di atas setiap toples, jadi berkas cahaya mempengaruhi sampel yang akan dipelajari: kedua lampu terletak pada jarak yang sama (dibutuhkan satu lampu pada masing-masing botol) dengan daya yang sama, tidak kurang dari 70 W: lampu tersebut dapat berupa sumber yang berpendar, penggunaan LED lebih disarankan; hindari lampu pijar, seperti lampu halogen, karena lampu halogen melepaskan energi dalam bentuk panas).

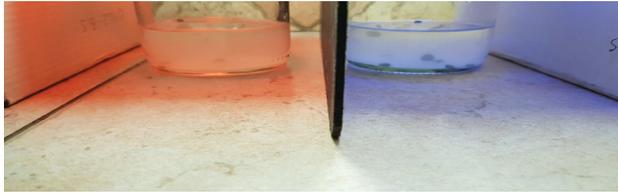


Gambar 17 and 18: Larutan dan lampu dengan filter merah dan biru.

Nyalakan lampu dan mulailah untuk mengukur waktu menggunakan *stopwatch*. Catat waktu yang dibutuhkan oleh bulatan daun untuk mulai mengapung.

Proses mengapung tidak terjadi secara langsung, namun membutuhkan waktu sekitar 5 menit (bergantung pada intensitas cahaya dan jarak lampu). Bulatan daun mulai mengapung saat melepaskan oksigen dalam bentuk gelembung yang membantunya untuk mengapung. Pergerakan bulatan daun pada setiap toples terjadi dalam waktu yang berbeda, bergantung pada warna cahaya: lebih cepat untuk cahaya biru karena warna biru merupakan daerah radiasi elektromagnetik dengan energi lebih tinggi sehingga prosesnya lebih efisien. Laju fotosintesis secara langsung berkaitan dengan waktu yang dibutuhkan oleh bulatan daun untuk mengapung (berkaitan dengan produksi oksigen). Laju fotosintesis lebih tinggi untuk cahaya biru daripada cahaya merah. Jadi dalam eksperimen ini

dapat disimpulkan bahwa tumbuhan dan organisme fotosintesis lainnya bertanggungjawab untuk keberadaan oksigen di atmosfer. Pertukaran udara dengan larutan bikarbonat mempercepat terjadinya proses dan memungkinkan untuk memvisualisasikannya dalam waktu yang lebih singkat.



Gambar 19 dan 20: Proses mengapungnya bulatan daun berbeda untuk wana cahaya lampu yang berbeda.

Selain itu, seiring bertambahnya waktu, interaksi radiasi UV Matahari dengan molekul oksigen menghasilkan ozon (O_3). Proses ini melindungi kita dari radiasi UV yang paling energetik. Namun, UVA dan UVB tetap dapat menembus atmosfer yang berguna untuk membentuk vitamin D pada kulit manusia.

Variabel alternatif untuk dieksplorasi: konsentrasi bikarbonat pada larutan yang digunakan, temperatur, sumber cahaya dengan warna dan intensitas yang berbeda (menjaga kondisi lainnya tetap konstan dan mengendalikan cahaya dalam semua kasus), daun pra-terpapar cahaya atau gelap, dan lainnya.

Aktivitas 5: Kehidupan pada kondisi ekstrim

Fermentasi untuk menghasilkan alkohol merupakan proses anaerobik yang dilakukan oleh ragi (jamur). Proses fermentasi menghasilkan energi pada mikroorganisme. Ragi mengubah gula (glukosa) menjadi etil alkohol atau etanol atau karbon dioksida. Fermentasi merupakan proses pembangkitan energi dengan efisiensi rendah, sedangkan bernafas lebih efektif dan lebih modern jika dilihat dari sudut pandang evolusi.

Karena gula diubah menjadi etil alkohol dan karbon dioksida, maka eksperimen akan didasarkan pada gas ini. Jika kita mengamati adanya keberadaan karbon dioksida, maka kita bisa mengetahui bahwa telah terjadi proses fermentasi, sehingga kemungkinan adanya kehidupan telah teruji.

Eksperimen mikrobiologi membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan kesimpulan yang dapat dipercaya, pada kasus ini, keberadaan atau ketidakterdapatnya karbon dioksida akan membuat kita mengetahui bahwa jika diberikan perubahan pada kondisi lingkungan, kita dapat menyimpulkan bahwa kehidupan itu mungkin adanya. Oleh karena itu, diperlukan eksperimen dalam laboratorium. Pada eksperimen ini, disiapkan lokakarya dan situasi dari 7 prosedur berbeda yang dapat diamati setelah satu jam.

Untuk percobaan ini, kita menggunakan 1 sdm ragi (gunakan ragi untuk membuat kue yang dapat dibeli di supermarket), ragi merupakan mikroorganisme yang mudah didapatkan, 1 gelas air hangat (lebih dari setengah gelas dengan suhu antara

22° dan 27° C) dan 1 sdm gula untuk dikonsumsi oleh mikroorganisme.

Prosedur yang sama dalam eksperimen kontrol dan eksperimen lain dilakukan di bawah kondisi ekstrem.

PROSEDUR UNTUK EKSPERIMEN KONTROL

Larutkan gula dalam gelas dengan air panas. Kemudian, tambahkan ragi dan aduk dengan bantuan sendok. Lalu, campuran yang diperoleh di tempatkan dalam kantong plastik bersegel (tidak memungkinkan untuk udara masuk), dengan mengeluarkan udara di dalamnya dan menutupnya dengan rapat. Penting untuk tidak meninggalkan udara di dalam kantong. Setelah 5 menit, amati keadaan karbon dioksida yang mulai terakumulasi di dalam kantong. Setelah 20 menit, akan terlihat gelembung karbon dioksida menggelembungkan plastik karena adanya pelepasan gas. Keberadaan gas ini menunjukkan bahwa mikroorganismenya hidup.



Gambar 21: Kontrol eksperimen dengan gelembung karbon dioksida yang menunjukkan adanya kehidupan.

Prosedur pada “planet basa (alkalin)” (misalnya NEPTUNUS atau Titan yang mengandung amonia): Ulangi eksperimen menggunakan material “basa” yang lain (sodium bikarbonat, amonia ...) dalam air dan tunggu hingga muncul gelembung yang menandakan mikroorganisme dapat hidup. Skala Ph basa: Sodium bikarbonat: Ph 8,4 dan Amonia rumah tangga: Ph 11.

Prosedur dalam “planet garam (saline)” (misalnya MARS atau Ganymede yang mengandung air dengan kadar garam tinggi). Ulangi eksperimen dengan melarutkan sejumlah sodium klorida (garam) di dalam air. Jika ada gelembung, maka ada kehidupan.



Gambar 22 dan 23: Larutan basa dan larutan garam dengan gelembung

Prosedur pada “planet asam” (misalnya VENUS yang mempunyai hujan asam belerang): Ulangi eksperimen dengan melarutkan cuka, lemon... atau asam lainnya dalam bentuk air. Skala Ph asam: Cuka: Ph 2,9 dan Lemon: Ph 2,3. Jika ada gelembung maka ada kehidupan.

Prosedur dalam “planet es” (misalnya Europa atau Trappist-1 h): Tempatkan kantong dalam wadah yang penuh dengan es dan amati jika terjadi pembengkakan kantong. Alternatif wadah bisa menggunakan kulkas atau freezer. Jika gelembung tidak muncul, artinya tidak ada kehidupan.



Gambar 24: Larutan beku tanpa gelembung

Prosedur pada “planet dengan UV” (misal MARS): Lakukan eksperimen yang sama dengan meletakkan kantong di bawah paparan sinar UV. Sinar UV dapat dihasilkan oleh lampu khusus. Jika lampu UV yang digunakan berenergi tinggi (UV-C) atau (UV-B), maka gelembung tidak akan muncul yang menandakan tidak adanya kehidupan (energi UV tinggi berbahaya bagi kehidupan). Namun, lampu UV komersial yang disebut

dengan “cahaya hitam”, mempunyai energi ultra violet lebih rendah (UV-A). UV-A yang berenergi rendah ini tidak berbahaya bagi kehidupan dan sering digunakan dalam berkebun. Lampu jenis ini menghasilkan lebih banyak gelembung yang terbentuk. Jika muncul gelembung maka terdapat kehidupan.

Prosedur pada “planet hangat” (misalnya VENUS karena efek rumah kaca)

Lakukan percobaan yang sama dengan air panas. Pada kasus Venus, gunakan air mendidih. Jika memiliki termometer, eksperimen dapat diulangi dengan memvariasikan temperatur. Jika muncul gelembung maka terdapat kehidupan.

PLANET DAN EKSOPLANET DENGAN KONDISI EKSTRIM

VENUS. Venus mempunyai atmosfer yang padat, sebagian besar terdiri dari karbon dioksida dan sejumlah kecil nitrogen. Tekanan permukaan Venus 90 kali lebih tinggi daripada tekanan atmosfer Bumi. Keberadaan karbon dioksida dalam jumlah besar disebabkan oleh efek rumah kaca kuat. Efek rumah kaca ini dapat **meningkatkan temperatur permukaan planet mencapai sekitar 464 °C pada daerah yang lebih rendah di dekat ekuator.** Hal ini membuat Venus lebih panas dibandingkan Merkurius, walaupun jaraknya dua kali lebih jauh dari Matahari, dan hanya menerima 25% radiasi Matahari. Awan pada Venus sebagian besar terdiri dari butiran sulfur dioksida dan asam sulfur serta menutupi planet secara keseluruhan, sehingga permukaan planet seperti “tersembunyi” pada pengamatan visual.

MARS. Di bawah permukaan es pada planet Mars terdapat **air asin. Air tersebut dapat menjadi tempat tinggal bagi makhluk hidup yang mampu bertahan dalam kondisi ekstrim ini.** Di masa lalu, Mars merupakan tempat yang berbeda. Mars tampak sangat mirip dengan Bumi, yaitu mempunyai lautan, gunung api, dan atmosfer yang padat, kaya akan karbon dioksida, tapi tidak akan menjadi penghalang bagi kehidupan mikroba. **Satu-satunya yang hilang dari planet merah ini dan menyebabkan kedaannya saat ini sangat berbeda dengan planet kita adalah medan magnet.** Gravitasi dan medan magnet yang rendah menyebabkan atmosfer Mars terkikis secara perlahan oleh angin Matahari. Selain itu, Mars juga menerima radiasi ultraviolet matahari (UV) di permukaannya yang sangat berbahaya secara biologis (UV-C dan UV-B). Radiasi ini menyebabkan kerusakan pada permukaan planet sehingga sulit untuk menemukan tanda-tanda kehidupan di planet ini.

NEPTUNUS. Struktur internal Neptunus mirip dengan Uranus: inti batuan yang dilingkupi oleh lapisan es, tersembunyi di bawah atmosfer yang tebal. Dua-per-tiga bagian-dalam Neptunus terdiri dari campuran lelehan batuan, air, amonia cair dan metana. Bagian paling luar terdiri dari campuran gas panas yang mengandung hidrogen, helium, air dan metana. Atmosfer Neptunus mencapai 7% dari keseluruhan massa planet. Pada tempat yang sangat dalam, tekanan atmosfer mencapai 100.000 kali lebih besar dari tekanan atmosfer Bumi. **Konsentrasi metana, amonia, dan air meningkat dari bagian luar menuju bagian dalam atmosfer.**

Ganymede, satelit Jupiter, terdiri dari silikat dan es, dengan kerak es yang mengapung di atas mantel yang mengandung **lapisan air cair dengan konsentrasi garam tinggi**. Kunjungan pertama ke Ganymede oleh wahana antariksa Galileo mengungkap bahwa satelit tersebut mempunyai magnetosfer. Magnetosfer ini dihasilkan dengan cara yang mirip seperti magnetosfer Bumi: yaitu pergerakan dari material konduktif di dalam Bumi.

Titan, satelit Saturnus. **Titan dipercaya memiliki larutan air bawah tanah yang mengandung amonia** pada kedalaman 100 km di bawah permukaan serta memiliki hidrokarbon lainnya. Atmosfer Titan terdiri dari 94% nitrogen dan merupakan satu-satunya atmosfer yang kaya nitrogen selain planet Bumi. Es pada Titan sangat mirip dengan es pada kutub Bumi, *drifting es*.

Europa, satelit Jupiter. Europa mempunyai **permukaan es dan subpermukaan berupa lautan air cair**. Atmosfer Europa

tipis dan memiliki densitas rendah, serta tersusun dari oksigen. Es pada Europa sangat mirip dengan es pada kutub Bumi, *drifting es*. Europa memiliki inti nikel-besi yang dikelilingi oleh mantel batuan panas, di atasnya terdapat lautan air cair yang dalam, menurut geologis, kedalamannya sekitar 100 km dan dengan permukaan es setebal 10 km.

Aktivitas 6: Mencari Bumi kedua

Bumi merupakan satu-satunya planet yang dapat menyokong kehidupan. Jadi, jika kita mencari planet dengan kehidupan ekstra-terrestrial, carilah planet yang memiliki kondisi yang mirip dengan Bumi. Tapi, parameter manakah yang penting?

Tabel di bawah terdiri dari beberapa eksoplanet dengan propertinya yang merupakan kandidat untuk Bumi kedua. Anda dapat menemukan beberapa kriteria setelah tabel.

Tabel 3: Kandidat untuk Bumi kedua

Nama Eskoplanet	Massa dalam massa Bumi	Radius dalam radius Bumi	Jarak ke bintang dalam AU	Massa bintang dalam massa Matahari	Tipe spektrum bintang/temperatur permukaan
Beta Pic b	4100	18,5	11,8	1,73	A6V
HD 209458 b	219,00	15,10	0,05	1,10	G0V
HR8799 b	2226	14,20	68,0	1,56	A5V
Kepler-452 b	tidak diketahui	1,59	1,05	1,04	G2V
Kepler-78 b	1,69	1,20	0,01	0,81	G
Luyten b	2,19	tidak diketahui	0,09	0,29	M3.5V
Tau Cet c	3,11	tidak diketahui	0,20	0,78	G8.5V
TOI 163 b	387	16,34	0,06	1,43	F
Trappist-1 b	0,86	1,09	0,01	0,08	M8
TW Hya d (belum dikonfirmasi)	4	tidak diketahui	24	0,7	K8V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
Kepler-138c	1,97	1,20	0,09	0,57	M1V
Kepler-62f	2,80	1,41	0,72	0,69	K2V
Proxima Centauri b	1,30	1,10	0,05	0,12	M5V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
KIC 5522786 b	tidak diketahui	1,21	1,98	1,79	A

RADIUS DAN MASSA

Dua kategori planet dalam Tata Surya, yaitu planet kebumihan (Merkurius, Venus, Bumi, Mars) dan planet raksasa (Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus). Planet kebumihan (seperti-Bumi) terdiri dari batuan silikat dan metal serta memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan planet raksasa. Jejeri dan massa dari planet harus dipertimbangkan untuk mendapatkan nilai kerapatan yang sesuai.

Dengan menggunakan kriteria dari Misi Kepler: Planet ukuran-Bumi mempunyai radius lebih kecil dari 2 radius Bumi dan massa 10 massa Bumi dianggap sebagai batas atas untuk planet batuan.

ZONA HABITABLE (LAYAK HUNI)

Zona layak huni adalah jarak orbit di sekitar bintang induk saat permukaan planet memadai untuk memiliki air dalam keadaan cair.

Bintang deret utama mempunyai hubungan antara kecerlangan dan temperatur permukaan. Semakin panas temperatur permukaan, semakin terang dan jauh letak zona layak huni. Kelas spektrum dapat menandakan temperatur permukaan (lihat tabel di bawah ini).

Tabel 4: Zona layak huni bergantung pada tipe spektrum

Kelas Spektrum	Temperatur K	Zona Habitable AU
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2,6-5,2
F5V	6 400	1,3-2,5
G5V	5 800	0,7-1,4
K5V	4 400	0,3-0,5
M5V	3 200	0,07-0,15

Kelas spektrum bintang diklasifikasikan dengan huruf (O, B, A, F, G, K, M) dan dibagi lagi ke dalam angka dari 0 sampai 9 (0 merupakan yang paling panas dalam tipe spektrum tertentu). V pada kelas spektrum menandakan bintang deret utama.

Hint: Jika spektrum bintang sedikit berbeda atau subtipe nya tidak diketahui, gunakan nilai yang sudah diketahui untuk zona layak huni sebagai aproksimasi.

MASSA BINTANG INDUK

Untuk mempelajari zona layak huni dalam sistem keplanetan di sekitar bintang deret utama, harus mempertimbangkan evolusi bintang induk.

Kehidupan pertama terbentuk sekitar 1 milyar setelah pembentukan Bumi. Artinya, bintang induk harus berusia sekitar $\sim 10^9$ tahun agar kehidupan dapat berkembang.

Energi yang dihasilkan bintang dari fusi hidrogen sebanding dengan massanya. Dan waktu yang dihabiskan bintang di deret utama didapat dengan membagi energi dengan luminositas bintang. Dengan menggunakan Matahari sebagai acuan, usia bintang di deret utama adalah

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Untuk bintang kerdil normal atau deret utama pada diagram H-R, luminositas diaproksimasi sebanding dengan massa yang dipangkatkan sekitar 3,5. $L \propto M^{3,5}$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{3,5}/M_s^{3,5}) = (M^*/M_s)^{-2,5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2,5}$$

Jika usia Matahari $t_s = 10^{10}$ tahun, maka usia bintang dapat dihitung dengan

$$t^* \sim 10^{10} \times (M_s/M)^{2,5} \text{ years}$$

Hitung batas atas dari massa bintang sehingga bintang tersebut setidaknya 3×10^9 tahun berada di fase deret utama untuk memberikan waktu pada kehidupan untuk berevolusi

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0,4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0,4} M_s$$

$$M^* = 1,6 M_s$$

Dapat dilihat bahwa bintang dengan massa $> 2M_s$, umur bintang di fase deret utama lebih kecil dari 1 tahun Galaksi (waktu untuk mengelilingi pusat galaksi 250 juta tahun). Oleh karena itu, walaupun planet layak huni ada di sekitar bintang ini, kehidupan tidak punya cukup waktu untuk berkembang.

REFERENSI

- Álvarez, C., y otros, *Guía Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018,
- Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018
- Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018
- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción, Viladecans, 2018
- Summers M, Trefil, J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System*, Smithsonian Books; 2018
- Tasker, E. *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, 2017

PERSIAPAN PENGAMATAN

Ricardo Moreno, Beatriz García, Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

International Astronomical Union, Retamar School (Spain), National Technological University (Argentina), Technical University of Catalonia (Spain), CLEA (Niza, France)

Penerjemah: Muhammad Isnaenda Ikhsan

Institut Teknologi Sumatera (Lampung, Indonesia)

RANGKUMAN

Pesta bintang (pengamatan bintang) dapat menjadi sarana untuk belajar dan bermain. Kegiatan ini akan semakin seru dan meriah jika dilakukan dengan beramai-ramai. Perlu menyusun persiapan yang matang untuk kegiatan pengamatan dengan menggunakan instrumen khusus seperti teleskop, binokuler, atau yang lainnya. Namun jangan sampai persiapan tersebut menghalangi anda untuk menikmati indahnya langit malam, meskipun hanya dengan mata telanjang.

TUJUAN

- Dapat mengetahui bagaimana cara untuk memilih lokasi dan waktu yang tepat dan juga peralatan yang akan digunakan, serta penyusunan rencana kegiatan yang akan dilakukan.
- Belajar untuk menggunakan program Stellarium
- Mengenal permasalahan polusi cahaya

PEMILIHAN LOKASI DAN WAKTU

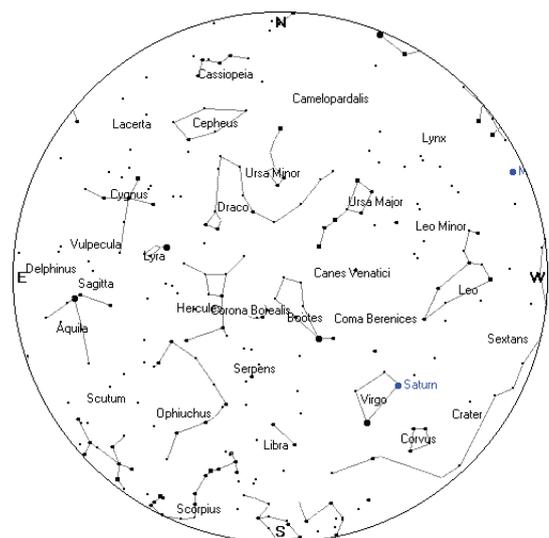
Saat melakukan pengamatan, cahaya dari atmosfer sangat mempengaruhi objek-objek yang dapat anda lihat. Misalnya, ketika anda berada di kota besar, anda hanya akan dapat melihat Matahari, Bulan, beberapa planet dan bintang terang, serta satelit. Oleh karena itu, pengamatan yang dilakukan pada daerah yang gelap dan jauh dari cahaya lampu akan memberikan keindahan langit yang luar biasa dengan hiasan benda-benda langit yang mempesona. Anda juga dapat mencari lokasi yang ideal untuk melakukan kegiatan pengamatan, meskipun jauh dari sekolah atau rumah anda.

Untuk melihat lebih banyak bintang dan nebula yang dihasilkan dari sebuah ledakan bintang dan menjadi daerah lahirnya bintang (bintang baru), anda dapat pergi ke daerah yang jauh dari jalan raya dan perkotaan, karena cahaya yang datang dari lampu perkotaan menyebabkan polusi cahaya yang mengganggu pandangan anda saat mengamati bintang. Hindari adanya lampu yang menyala disekitar tempat anda melakukan pengamatan, atau jauh lebih baik jika anda memilih untuk mematikan lampu di sekitarnya. Hindari daerah yang dekat jalan raya karena lampu dari mobil dapat mengganggu pengamatan; cari tempat yang tidak terdapat pohon besar yang dapat menghalangi pandangan.

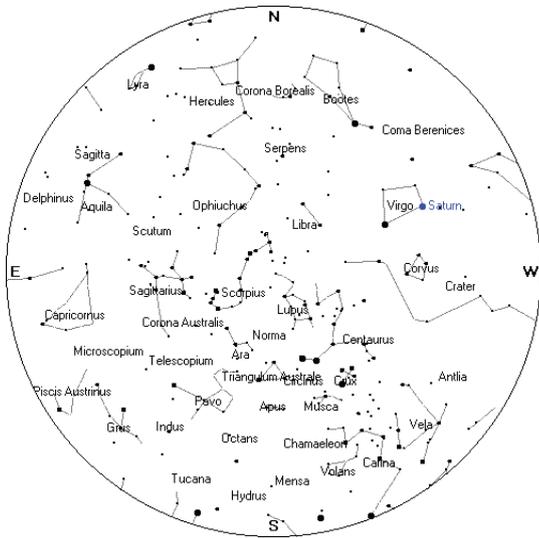
Saat pemilihan waktu pengamatan, tentu saja anda harus memilih waktu ketika langitnya cerah tanpa awan dan dengan suhu yang tidak terlalu dingin, sehingga direkomendasikan untuk mengecek cuaca terlebih dahulu di Internet. Fase dari bulan juga harus diperhatikan saat memilih waktu pengamatan. Saat Bulan dalam fase purnama merupakan waktu yang kurang baik untuk melakukan pengamatan, karena cahaya bulan akan sangat terang dan menerangi daerah langit disekitarnya, sehingga menyulitkan kita untuk melihat bintang-bintang yang tidak terlalu terang. Saat fase Bulan setelah purnama, Bulan akan terbit lebih malam, sehingga mungkin saat dinihari baru anda dapat melihatnya, namun sejak senja anda akan melihat langit gelap tanpa gangguan cahaya Bulan. Namun jika anda juga ingin mengamati Bulan, waktu yang paling tepat adalah saat Bulan pada fase sebelum kuartil awal, Bulan akan terlihat terang sesaat setelah Matahari terbenam, sehingga dapat dilakukan pengamatan kawah Bulan, dan beberapa saat kemudian Bulan akan terbenam, sehingga anda dapat melihat langit gelap yang dipenuhi bintang. Jika kita memiliki teleskop maka kita harus berada pada lokasi yang dituju sebelum matahari terbenam sehingga kita memiliki cukup waktu untuk mengatur peralatan kita sebelum gelap.

PERALATAN YANG DIBUTUHKAN

Perencanaan pengamatan. Harus diingat bahwa langit yang kita amati akan berbeda sesuai dengan lintang dari pengamat. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang hal ini, anda dapat menggunakan program Stellarium (www.stellarium.org, lihat lampiran untuk panduan cepat), melihat di majalah astronomi, atau membaca buku astronomi. Di internet juga terdapat banyak website yang dapat membantu anda untuk mendapatkan peta bintang (*sky chart*), contoh www.heavens-above.com/skychart atau www.skyandtelescope.com. Untuk mendapatkan peta ini anda harus tahu lokasi dan waktu yang sesuai dengan pengamatan anda.



Gambar 1: Contoh peta langit (*SkyChart*). Peta ini untuk lokasi pengamat pada lintang sedang bagian utara, pada pertengahan Juli pada pukul 22.00



Gambar 2: Contoh peta langit (*SkyChart*). Peta ini untuk lokasi pengamat pada lintang sedang bagian selatan, pada pertengahan Juli pukul 22.00.

Senter merah. Pada kondisi gelap gulita mata kita dapat menyesuaikan dengan kondisi gelap sehingga dapat “melihat” pada malam hari, kemampuan ini disebut sebagai “penglihatan malam”. Penglihatan malam ini berhubungan dengan sel-sel fotoreseptor yang ada di retina mata. Di retina terdapat dua tipe sel, yaitu sel kerucut yang sensitive terhadap warna dan aktif jika ada cahaya terang, dan sel batang yang aktif saat kondisi redup atau kurang cahaya. Jika kita melihat pada suatu daerah yang tiba-tiba terang, pupil mata kita akan langsung menutup dan sel batang akan tidak aktif. Kemudian saat memasuki kondisi gelap, pupil mata kita akan terbuka lebar, namun sel batang tidak langsung aktif, setidaknya membutuhkan 10 menit untuk dapat aktif dan kita dapat menggunakan penglihatan malam kita. Sel batang tidak terlalu sensitif terhadap cahaya berwarna merah, sehingga jika kita menggunakan senter berwarna merah, kita dapat menipu mata kita seolah-olah melihat dalam keadaan yang jauh lebih gelap. Hal ini dapat membantu kemampuan kita melihat dalam gelap. Untuk membuat senter merah, kita dapat menggunakan senter biasa, kemudian gunakan filter seperti mika merah, atau plastik/kertas transparan berwarna merah, untuk menutupi bagian depan senter yang mengeluarkan cahaya.

Makanan. Kegiatan pengamatan langit malam tidak hanya berisi pengamatan saja, kita harus memperhitungkan hal lainnya seperti perjalanan ke lokasi, materi pengamatan, makanan, hingga sampai kembali ke rumah. Aktifitas pengamatan akan lebih menyenangkan jika kita dapat saling berbagi minuman dan makanan hangat untuk menghangatkan badan di malam yang dingin

Green laser pointer. Untuk lebih mudah menunjuk objek di langit, akan sangat berguna apabila anda memiliki *green laser pointer*. Pointer ini biasanya berwarna hijau dan jauh lebih terang dari pointer biasa, sehingga usahakan sangat berhati-hati saat menggunakannya, hindari dengan kontak mata. Jangan pernah arahkan laser pointer ke arah pesawat terbang atau orang lain. Laser pointer hanya boleh dioperasikan oleh orang dewasa.

Pakaian. Meskipun pada musim panas, pada malam hari, suhu akan selalu turun, angin sering berhembus, dan kita ha-

rus memikirkan bahwa kita melakukan pengamatan selama beberapa jam dan cuaca dapat berubah. Rencanakan bahwa ketika pengamatan suhunya akan jauh lebih dingin dibandingkan siang hari.

Binokuler, teleskop, kamera. Gunakan alat-alat yang anda miliki dan sesuai dengan rencana pengamatan anda.

Ketika mendung dan berawan. Saat mendung/awan dapat merusak rencana pengamatan anda, anda harus memiliki rencana alternatif. Rencana ini dapat anda buat sendiri sesuai dengan kemampuan dan kebutuhan anda, dapat berupa cerita-cerita mitologi dari rasi bintang, atau topik-topik astronomi lain yang relevan. Jika anda dapat mengakses internet, anda dan siswa anda dapat melihat langit menggunakan Google Sky Maps, atau program simulasi langit lainnya, atau dapat melihat bersama-sama film yang memiliki tema astronomi di Youtube.

PENGAMATAN MATA TELANJANG

Meskipun memiliki teleskop, pengamatan dengan mata telanjang juga perlu untuk dilakukan. Pengamatan dengan mata telanjang dapat digunakan untuk mempelajari rasi-rasi bintang. Anda dapat menggunakan alat bantu peta bintang dan green laser (jika tersedia) untuk menunjuk bintang terang atau objek lainnya kepada siswa anda. Anda juga dapat mengunduh aplikasi di smartphone yang dapat membantu anda untuk mengenali objek-objek di langit dengan memanfaatkan GPS di smartphone anda. Cukup dengan mengarahkan *smartphone* anda ke arah bintang atau rasi yang ingin dipelajari, maka anda dapat melihat nama, dan info penting lainnya tentang objek yang anda lihat. Aplikasi ini juga dapat digunakan sebagai alternatif jika langit terhalang awan.

Bintang yang terlihat di langit bergantung pada lokasi pengamatan kita. Jika kita berada di dekat kutub utara, maka kita hanya dapat melihat 50% dari bintang yang berada pada belahan langit utara. Jika kita berada di sekitar ekuator, maka memungkinkan bagi kita untuk dapat melihat seluruh bintang di langit baik belahan langit selatan maupun utara, namun bergantung dengan waktu dalam satu tahun. Jika kita berada di dekat kutub selatan, maka yang terlihat hanya bintang yang berada di daerah belahan langit selatan.

Rasi-rasi bintang dan bintang populer yang direkomendasikan sebagai objek pembelajaran kepada siswa anda untuk dikenalkan:

BELAHAN BUMI UTARA

Rasi: Ursa Major, Ursa Minor, dan Cassiopeia merupakan rasi yang bersifat sirkumpolar sehingga selalu terlihat. Saat musim panas: Cygnus, Lyra, Hercules, Bootes, Corona Borealis, Leo, Sagittarius, dan Scorpio. Saat musim dingin: Orion, Canis Major, Taurus, Auriga, Andromeda, Pegasus, Gemini, dan gugus Pleiades.

Bintang: Polaris (dekat kutub langit utara), Sirius, Aldebaran, Betelgeuse, Rigel, Arcturus, Antares, dll

BELAHAN BUMI SELATAN

Rasi: Crux (rasi layang-layang), Sagittarius, Scorpio, Leo, Carina, Puppis, Vela, Orion, dan Canis Major.

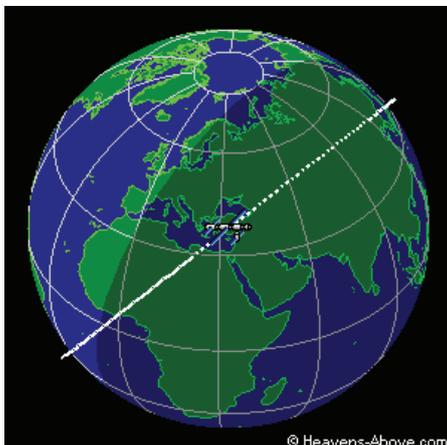
Bintang: Antares, Aldebaran, Sirius, Betelgeuse. Di belahan bumi selatan, tidak ada bintang yang menandai kutub langit selatan seperti Polaris di kutub langit utara.

Sedangkan rasi bintang yang biasa kita sebut “Zodiak” dapat dilihat dengan baik di belahan bumi utara maupun selatan, meskipun mereka berubah orientasinya pada bola langit.

Perubahan fase bulan dan perubahan posisinya terhadap bintang latar belakang dari hari ke hari juga menarik untuk diikuti. Hal ini juga dapat dilakukan pada planet, dengan memperhatikan gerak lambatnya dibandingkan dengan planet lain atau bintang di dekatnya. Hal ini akan lebih jelas terlihat pada planet Venus atau Merkurius yang geraknya lebih cepat, dapat dilihat saat matahari terbenam. Planet ini juga mungkin dapat terlihat saat matahari terbit dan kemudian anda dapat mengenalinya di langit meskipun setelah malam pengamatan selesai.

Beberapa jam setelah Matahari terbenam, sebenarnya kita dapat melihat bintang jatuh atau meteor setiap saat, namun terjadi sangat jarang, sekitar 5-10 meteor per jam. Pada waktu tertentu, terdapat peristiwa hujan meteor yang menyebabkan frekuensi terjadinya bintang jatuh lebih sering. Pada sekitar tanggal 3 Januari terdapat hujan meteor Quadrantid, sekitar 120 meteor/jam, pada 12 Agustus terdapat hujan meteor Perseid dengan 100 meteor/jam, pada 18 November terdapat hujan meteor Leonids dengan 20 meteor/jam, dan antara 12 dan 14 Desember terdapat hujan meteor Geminids dengan 120 meteor/jam. Hujan meteor perseid tidak dapat teramati dari belahan bumi selatan.

Selain itu, di langit juga sebenarnya banyak satelit buatan yang mengorbit bumi dan ketika memantulkan cahaya dari Matahari, mereka dapat terlihat dari bumi bergerak di langit secara lambat. Karena ketinggian satelit tidak terlalu tinggi, satelit biasanya dapat diamati tidak lama setelah matahari terbenam, contohnya ISS yang terlihat terang dan hanya membutuhkan waktu 2-3 menit untuk bergerak di sepanjang langit. Waktu ketika satelit-satelit ini lewat dapat diprediksi seminggu sebelumnya dengan memberikan informasi lokasi dan dapat dilihat menggunakan website (lihat: www.heavens-above.com).



Gambar 3: Jalur ISS



Gambar 4: Pembesaran dan diameter objektif

PENGAMATAN MENGGUNAKAN BINOKULER

Binokuler merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengamati langit malam yang lebih terjangkau dan mudah digunakan dibandingkan dengan teleskop. Meskipun perbesarannya tidak besar, binokuler dapat menangkap lebih banyak cahaya dibandingkan dengan pupil kita, sehingga dapat melihat objek-objek yang sangat redup seperti gugus bintang, nebula dan juga bintang ganda. Binokuler juga dapat membantu kita untuk membedakan warna antar bintang, terutama saat dibuat tidak terlalu fokus.

Pada binokuler biasanya terdapat label yang bertuliskan 8x30 atau 10x50. Angka yang berada di depan menunjukkan perbesaran dan yang kedua menunjukkan diameter lensa dalam mm. Direkomendasikan untuk menggunakan binokuler dengan spesifikasi 7x50 untuk aktivitas ini. Jika perbesarannya terlalu besar, maka citra yang terlihat akan susah untuk distabilkan, karena jika kita bergerak sedikit, citra yang kita lihat akan bergerak sangat jauh.

Objek yang menarik untuk dilihat menggunakan binokuler antara lain Galaksi Andromeda (M31), Gugus Herkules (M13), gugus ganda di Perseus, Praesepe (Gugus sarang lebah) (M44), Nebula Orion (M42), objek-objek di rasi Sagittarius (nebula Lagoon M8, Trifid M20, Omega M17, dan gugus bola M22, M55, dll.) dan secara umum seluruh Galaksi Bimasakti akan terlihat dengan lebih banyak bintang. Jika di belahan bumi selatan maka terdapat gugus bola Omega Centauri dan 47 Tucanae.

PENGAMATAN MENGGUNAKAN TELESKOP

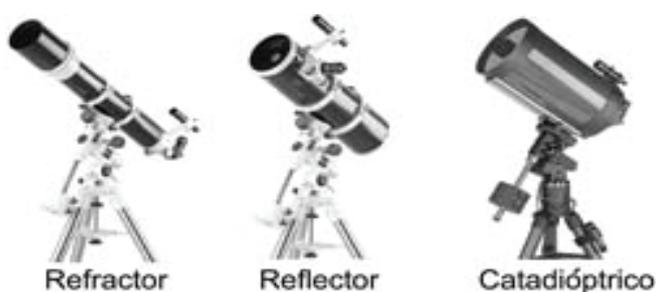
Mayoritas dari kita hanya tau bahwa fungsi teleskop adalah untuk memperbesar objek yang sangat jauh, padahal terdapat fungsi lain dari teleskop yakni mengumpulkan lebih banyak cahaya agar dapat dilihat untuk mata kita. Hal ini menyebabkan sebuah objek yang redup akan tetap redup meskipun perbesarannya kita naikkan.

Teleskop memiliki dua bagian utama: objektif dan *eyepiece* (lensa okuler). Objektif merupakan lensa dengan diameter besar yang berfungsi untuk membelokkan cahaya (untuk

teleskop refraktor) atau cermin yang digunakan untuk memantulkan cahaya (teleskop reflektor). Sebagian besar cermin objektif memiliki bentuk parabola. Sedangkan *eyepiece* merupakan lensa yang lebih kecil yang berfungsi sebagai tempat mata untuk melihat. *Eyepiece* biasanya dapat digantikan, sehingga kita dapat menyesuaikan perbesarannya sesuai dengan kebutuhan.

Semakin besar ukuran objektifnya, maka semakin banyak cahaya yang dapat dikumpulkan, artinya kita dapat melihat objek yang lebih redup. Lensa dengan kualitas bagus biasanya lebih mahal dibandingkan dengan cermin dengan diameter yang sama, sehingga teleskop yang lebih besar biasanya menggunakan cermin/teleskop reflektor. Tipe teleskop yang paling umum digunakan adalah Newtonian, dimana terdapat cermin konkaf pada dasar tabung, kemudian cahaya akan dipantulkan menuju ke ujung tabung dan ditangkap oleh cermin sekunder yang lebih kecil yang memiliki sudut kemiringan 45° , sehingga cahaya akan dipantulkan menuju keluar tabung ke arah *eyepiece*. Cermin sekunder memang memblok sebagian cahaya yang masuk ke teleskop, namun tidak terlalu signifikan. Tipe teleskop lain yaitu tipe Cassegrain, mirip seperti Newtonian namun cahaya dari cermin sekunder dipantulkan pada lubang di tengah cermin utama. *Eyepiece* terletak pada belakang lubang ini. Lalu tipe terakhir yakni catadioptric, mirip seperti Cassegrain namun terdapat lensa tipis pada lubang tabung tempat masuk cahaya, sehingga dapat memperpendek panjang tabung sehingga teleskop lebih ringan dan portable (mudah dibawa kemana – mana).

Perbesaran teleskop merupakan rasio antara panjang fokus objektif (baik lensa maupun cermin) dan panjang fokus dari *eyepiece*. Sebagai contoh, jika kita memiliki teleskop dengan panjang fokus 1000 mm dan kita pasang *eyepiece* dengan fokus 10mm, maka perbesaran teleskop kita adalah 100. Jika ingin menggandakan perbesaran, maka kita membutuhkan panjang fokus objektif yang lebih panjang, atau *eyepiece* yang fokusnya lebih pendek. Tapi panjang fokus *eyepiece* sangat terbatas, *eyepiece* dengan fokus pendek susah untuk dibuat dan dapat memberikan citra yang kurang jelas.



Gambar.5: Berbagai teleskop optic

Pabrik teleskop biasanya mendiskripsikan teleskop dengan rasio fokusnya (*focal ratio*), contoh $f/6$ atau $f/8$. Rasio fokus merupakan panjang fokus dari lensa atau cermin utama dibagi dengan bukaan (diameter tabung/cermin/lensa), sehingga dengan menggunakan rasio fokus dapat menghitung fokus atau diameter lensa/cermin jika diketahui salah satu. Sebagai contoh, jika kita memiliki refraktor $f/8$ dan diameter lensa objektifnya 60 mm, maka fokus dari lensanya adalah $8 \times 60 = 480$ mm.

Pada bukaan (diameter) lensa yang sama, semakin besar rasio fokusnya, maka semakin kecil medan pandang dan semakin besar perbesarannya.

Semakin besar bukaan dari teleskop maka teleskop dapat menangkap cahaya lebih banyak, sehingga dapat melihat objek yang lebih redup. Hal ini juga dapat meningkatkan resolusi, sehingga kita dapat melihat citra lebih detail: ketika resolusi rendah maka citra yang kita lihat akan kabur, sedangkan saat resolusinya tinggi maka citra akan terlihat tajam dan detail. Hal ini juga dapat mempengaruhi kegelapan dari malam: pada hari dimana ada bulan purnama atau banyak lampu, bintang redup susah untuk dilihat.

Ada batasan lain yang juga penting saat melakukan pengamatan, yakni kestabilan atmosfer. Sebagai gambaran, saat kita melihat udara hangat di gurun maka saat diambil gambar menggunakan lensa telefoto akan terlihat citra akan bergoyang-goyang. Saat kita melihat melalui teleskop, gangguan kecil di udara dapat menyebabkan citra yang terlihat oleh kita bergetar. Astronom biasanya menyebut fenomena ini sebagai "*seeing*". Jika kita melihat bintang seolah berkedip, itu juga diakibatkan karena pengaruh atmosfer.

Citra yang kita lihat di teleskop sebenarnya terbalik, namun hal ini tak terlalu penting: di ruang angkasa posisi atas dan bawah itu relatif. Terdapat banyak aksesoris yang dapat memutar citra agar tidak terbalik, namun dapat sedikit mengurangi kecerlangan bintang.

Mount merupakan bagian dari teleskop yang berfungsi untuk meletakkan tabung optik. *Mount* yang berkualitas kurang bagus akan menyebabkan teleskop mudah berayun saat disentuh. Hasilnya adalah medan pandang akan bergoyang, selain akan menyebabkan pusing, kita juga akan kesulitan untuk melihat detail objek. Maka dari itu penting untuk memiliki mount yang kokoh dan stabil.

Terdapat dua tipe *mount*: azimutal dan ekuatorial. *Mount* azimut merupakan *mount* yang paling sederhana namun kurang praktikal. Teleskop dengan *mount* ini dapat diputar ke kiri dan ke kanan terhadap sumbu vertikalnya dan ke atas bawah terhadap sumbu horizontalnya. Ada juga tipe *mount* Dobsonian yang merupakan tipe azimutal namun dimodifikasi agar mudah dibawa dan digunakan. Kemudian ada *mount* tipe equatorial yang memiliki dua sumbu yang saling tegak lurus satu sama lain. Satu sumbu, sumbu kutub, sumbu ini harus mengarah ke sumbu rotasi Bumi. Sumbu ini bergerak pada arah Asensio rekta. Sedangkan sumbu lainnya, sumbu equator, bergerak pada arah deklinasi. Teleskop dengan tipe seperti ini biasanya digunakan oleh astronom profesional dan juga beberapa astronom amatir. Pada *mount* equatorial juga mungkin terdapat motor yang dapat mengikuti gerak bintang akibat rotasi bumi. Karena jika tidak menggunakan motor, pada perbesaran yang besar, citra yang dilihat akan dengan cepat meninggalkan medan pandang.

Jika anda memiliki teleskop dengan *mount* equatorial maka saat memasangnya harus dipastikan bahwa sumbu kutubnya sudah selaras dengan kutub langit Utara/Selatan. Penyesuaian teleskop dengan kutub langit mungkin membutuhkan beberapa waktu, namun hal ini penting dilakukan agar saat motor pada *mount* bergerak mengikuti bintang, bintang tidak bergerak keluar dari medan pandang, hal ini penting terutama saat anda berusaha menggunakannya untuk fotografi. Jika te-

leskop yang dimiliki tidak memiliki motor, maka penyesuaian ini tidak terlalu penting untuk dilakukan, namun jika dilakukan maka akan lebih baik. Karena akan membantu anda untuk tetap menjaga objek berada dalam medan pandang akan lebih mudah.

Terakhir, teleskop terkomputerisasi, dengan database posisi dari berbagai objek langit dan dua motor. Jika teleskop ini sudah terpasang dengan baik, maka akan sangat mudah digunakan. Namun langkah awal yang harus dilakukan adalah kita harus menyelaraskan teleskop dengan tiga bintang yang sudah diketahui agar teleskop dapat mengarahkan ke koordinat objek lain dengan akurat, pemula biasanya bingung dengan langkah ini.



Gambar 6: Mount yang berbeda-beda untuk menyokong teleskop

PERGERAKAN LANGIT

Pergerakan langit yang kita lihat pada dasarnya merupakan gerak relatif akibat dari gerak rotasi dan translasi bumi. Kedua gerak ini membuat kita dapat membagi gerak langit menjadi dua yakni gerak harian dan gerak tahunan.

Gerak langit harian merupakan gerak yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan gerak tahunan, sehingga sangat sulit untuk kita menyadari adanya gerak tahunan karena gerak tahunan sangat lambat. Bumi berotasi sebesar 360° dalam 24 jam; artinya berotasi sebesar 15° per jam. Gerak langit akibat rotasi Bumi ini akan sangat terasa, meskipun kita tidak sedang mengamatinya secara seksama. Sedangkan pada gerak tahunan atau gerak translasi, bumi bergerak sebesar 360° mengelilingi matahari dalam 365 hari, yang artinya perubahannya sekitar 1° per hari. Jika dianggap bumi tidak berotasi, maka saat kita melihat langit malam kita akan melihat bintang yang sama dari hari ke hari pada jam sama di lokasi yang sama, dan hanya akan bergeser sebesar 1° setiap harinya (1° kira-kira sebesar tebal jari telunjuk saat tangan kita direntangkan). Untuk mengamati pergeseran sekecil ini sulit untuk dilakukan jika kita tidak memiliki benda yang dapat dijadikan acuan. Tanpa acuan yang jelas, gerak ini hampir dapat diabaikan. Sehingga kalau diamati setiap hari jelas kita tidak akan melihat perbedaannya, namun jika kita mengamati langit malam pada jam yang sama namun berselang tiga atau enam bulan, maka pasti kita akan melihat bintang-bintang yang berbeda, karena posisinya sudah bergeser jauh. Setelah tiga bulan, posisi bintang akan bergeser sebesar 90° dari posisi sebelumnya atau sebesar $\frac{1}{4}$ langit dan setelah 6 bulan maka bintang akan bergeser 180° atau $\frac{1}{2}$ dari langit atau berada pada posisi yang berlawanan dari posisi sebelumnya. Gerak seperti ini tidak dapat langsung kita sadari karena adanya gerak rotasi bumi yang terjadi setiap hari, namun tetap saja jika kita mengamati dengan seksama, kita akan menyadari bahwa setelah 3 bulan, pada jam yang sama kita akan mendapati rasi yang berbeda yang terlihat di langit, atau rasi yang kita lihat sebelumnya telah bergerak sejauh 90° .

Aktivitas 1: Payung Bola Langit

Dengan menggunakan alat sederhana seperti payung kita dapat mendemonstrasikan gerak langit yang telah dijelaskan sebelumnya. Payung dapat dianggap sebagai kubah langit jika dilihat dari dalam saat terbuka. Kita akan menggunakan payung berwarna hitam dan menggunakan cat warna putih untuk menggambar rasi bintang.

Pada aktivitas ini, alat peraga yang kita gunakan tidak akan menggambar semua rasi bintang, namun hanya beberapa rasi yang besar dan populer dan juga bintang terang yang ada di rasi itu. Pada aktivitas ini kita tidak harus membuat alat peraga yang bagus dan rapi, tetapi alat peraga kita harus dapat menggambarkan konsep yang kita jelaskan.

Kita akan membutuhkan dua payung, satu payung untuk menunjukkan belahan Bumi Selatan dan satu lagi untuk belahan Bumi Utara. Titik tengah dari payung dapat dianggap sebagai kutub langit. Sedangkan batas terluar payung dapat dianggap sebagai ekuator langit. Sehingga akan sangat bagus jika kita sudah mempersiapkan dua payung untuk digunakan.

Di belahan langit utara akan digambar:

- Pada daerah sekitar kutub langit utara terdapat rasi Big Dipper (Ursa Major/Bintang Biduk), Cassiopeia, dan bintang kutub yang tepat berada di tengah payung.
- Pada daerah tepian payung dapat digambar empat rasi yang mana menunjukkan satu rasi untuk satu musim, yang paling umum dan mudah dikenal adalah:
 - Musim Semi: Leo
 - Musim Panas: Cygnus
 - Musim Gugur: Pegasus
 - Musim Dingin: Orion

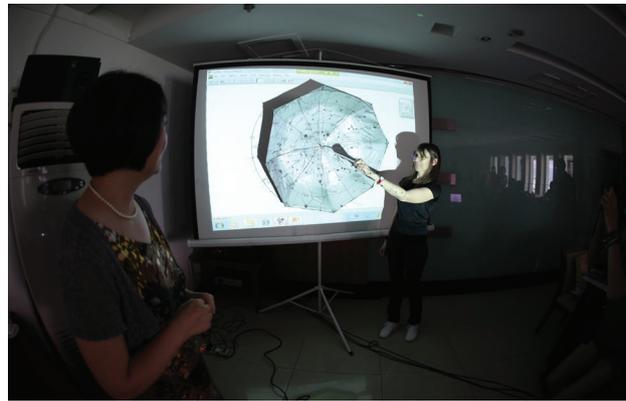
Mungkin saja jika anda ingin memilih rasi yang lain, namun keempat rasi di atas sengaja dipilih karena lokasinya berjarak sekitar 90° antara satu sama lain. Jadi jika ingin memilih rasi yang lain pastikan lokasi satu sama lainnya proporsional meskipun tidak terlalu akurat.

Di belahan langit selatan akan digambar:

- Di daerah dekat kutub selatan terdapat rasi Salib Selatan (Crux/Gubug penceng) dan kutub langit selatan
- Pada daerah tepian payung dapat digambar empat rasi yang muncul tiap-tiap musim, yaitu:
 - Musim Semi: Aquarius
 - Musim Panas: Orion
 - Musim Gugur: Leo
 - Musim Dingin: Scorpio

Idenya adalah untuk memilih rasi yang besar dan berada di atas cakrawala. Meskipun hal ini bergantung pada lokasi pengamat, namun hal ini dapat sesuai kebutuhan.

Jika lokasi anda berada pada lintang antara 20° LU dan 20° LS maka penting untuk menggunakan dua payung untuk belahan utara dan selatan. Jika lokasi anda berada antara lintang 30° dan 90° maka anda hanya membutuhkan satu payung untuk belahan langit utara atau selatan saja



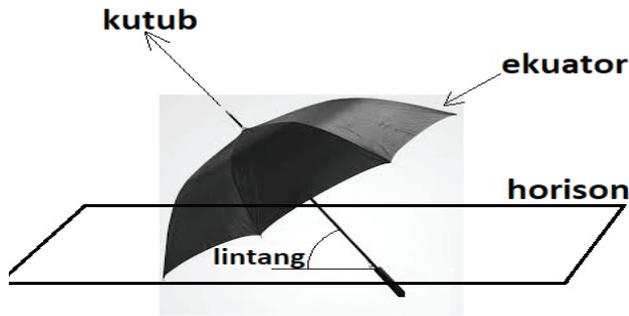
Gambar 7: Memproyeksikan bintang-bintang belahan bumi utara pada layar untuk menggambar rasi bintang yang diinginkan. Kami menyarankan menyiapkan model di atas payung hitam; meskipun untuk fotografi telah menggunakan salah satu warna lain untuk menjelaskan prosesnya.

Untuk menggambar bagian dalam payung, anda dapat menggunakan cat putih, kemudian dengan bantuan program Stellarium atau software lain anda dapat memproyeksikan lokasi rasi dan bintangnya ke payung dan menggambarinya menggunakan cat, pastikan bahwa kutub langit tepat berada di tengah payung (lihat Gambar 7). Setelah selesai maka masing-masing payung dapat digunakan dengan cara membukanya dan diletakan di atas kepala (Gambar 8).



Gambar 8: Menggunakan payung belahan bumi utara dengan siswa

Cara menggunakannya adalah dengan memiringkan payung dan berusaha untuk menyelaraskan posisi titik tengah payung dengan kutub langit sebenarnya. Dengan menganggap leher kita adalah batas dari cakrawala/horizon maka kita dapat melihat bahwa bagian atas dari leher kita merupakan rasi atau bintang yang terlihat di atas horizon, sedangkan yang di bagian bawah merupakan rasi atau bintang yang tidak terlihat. Pada daerah tengah payung yang merupakan daerah sekitar kutub, beberapa rasi atau bintangnya selalu berada di atas horizon sehingga selalu terlihat sepanjang tahun, sedangkan daerah tepian payung yang merupakan daerah ekuator akan selalu berubah-ubah sepanjang tahun (Gambar 9).



Gambar.9: Tongkat payung condong ke arah kutub sesuai garis lintang. Kita membayangkan bidang cakrawala yang menutupi sebagian payung.

Kita harus menekankan bahwa model yang dibuat ini adalah model untuk gerak langit tahunan akibat gerak translasi Bumi. Kita membayangkan bahwa tidak ada rotasi sehingga kita menganggap kita mengamati malam pada waktu/jam yang sama dari hari ke hari. Kita juga harus memberitahu bahwa pada model sederhana ini, saat mendemonstrasikan gerak langit, kita menggambarkan gerak langit yang berubah setiap 3 bulan yang artinya berputar sejauh 90° ($12 \text{ bulan} = 360^\circ$). Saat menjelaskan rasi yang muncul pada musim-musim tertentu, perlu ditekankan bahwa rasi yang terlihat di tengah akan terlihat pada pertengahan musim.

CARA PEMAKAIAN

Menggunakan payung untuk memahami gerak translasi.

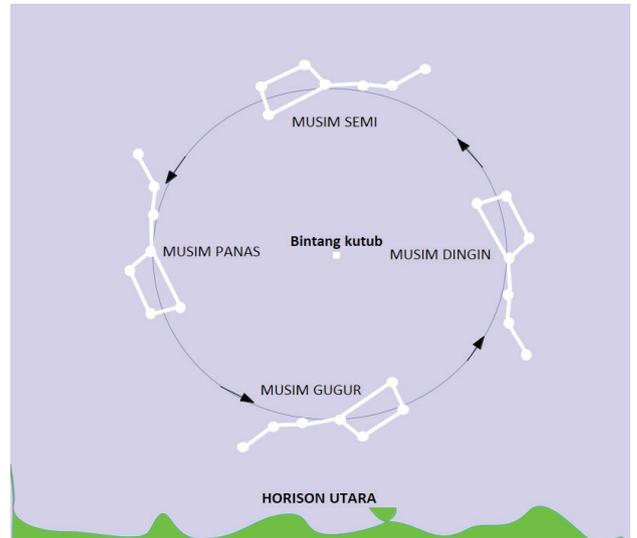
BELAHAN BUMI UTARA.

Misalkan kita berada pada suatu daerah dengan lintang 40° lintang Utara. Maka kita perlu memiringkan tongkat payung kita sebesar 40° terhadap tanah/horizon.

Di belahan langit utara terdapat bintang kutub (Polaris) yang lokasinya hampir tepat di kutub langit utara. Lalu juga terdapat rasi di daerah kutub utara langit yang cukup terkenal yaitu Ursa Major dan Cassiopeia. Dari Ursa Major atau Big Dipper jika kita menarik garis antara dua bintang yang ada di ekor rasi sepanjang 4 kali lipat jarak dua bintang tersebut maka kita akan menemukan bintang kutub. Menggunakan Cassiopeia, kutub merupakan perpotongan antara dua visektor dari setiap V dari bentuk W yang menggambarkan Cassiopeia.

HORIZON UTARA

Saat kita melihat pada daerah bintang kutub utara (Polaris), jika payung diputar maka kita akan melihat Ursa Major dan Cassiopeia berotasi mengelilingi kutub utara langit (Gambar 10).



Gambar 10: Posisi relatif Ursa Mayor di sekitar Kutub Utara sepanjang tahun (pada jam yang sama).

Kita akan memulai dengan meletakkan Ursa Major di atas dan Cassiopeia di bawah (terjadi pada musim semi), kemudian jika diputar 90° berlawanan arah jarum jam maka Ursa Major akan berada di kiri dan Cassiopeia di kanan (terjadi saat musim panas). Kemudian jika diputar kembali 90° maka Ursa Major akan berada di bawah dan Cassiopeia di atas (terjadi saat musim gugur) dan saat diputar lagi 90° maka Ursa Major akan berada di kanan dan Cassiopeia di kiri (terjadi saat musim dingin). Jika kita putar lagi 90° maka akan kembali ke posisi awal, dan akan mulai musim baru lagi (Gambar 10).

Seperti yang dijelaskan, dapat dipahami bahwa daerah langit ini, yang disebut cakrawala/horizon utara, dan rasi yang terlihat pada belahan langit ini akan selalu sama sepanjang tahun, tidak akan berubah-ubah (rasi yang berada di cakrawala langit selatan tidak akan muncul di cakrawala langit utara)

HORIZON SELATAN

Sekarang kita akan melihat daerah ekuator, yaitu daerah yang berada pada tepian payung. Pada daerah ini kita juga dapat melihat rasi-rasi yang terlihat dari belahan langit selatan. Rasi-rasinya berubah-ubah setiap musimnya, pada musim semi terdapat Leo pada bagian paling atas horizon. Kemudian saat dirotasi 90° maka kita akan melihat rasi musim panas, Cygnus dengan Lyra dan segitiga musim panas Aquila. Kemudian diputar lagi $\frac{1}{4}$ lingkaran maka kita melihat rasi di musim gugur yakni Pegasus. Lalu pada musim dingin setelah diputar 90° lagi maka akan terlihat rasi Orion dibagian atas yang mendominasi langit.

BELAHAN BUMI SELATAN

Kita anggap kita berada pada lokasi 40° lintang Selatan. Kemudian kita posisikan payung miring 40° terhadap lantai di atas kepala kita.

Di belahan selatan tidak terdapat bintang kutub yang dapat menunjukkan posisi kutub langit selatan. Biasanya yang dapat digunakan untuk menentukan posisi kutub langit selatan

adalah rasi Salib Selatan (Crux) atau Gubuk Penceng; dengan cara menarik garis dari dua bintang yang saling berjauhan ke arah bawah, kira-kira jaraknya ke kutub sepanjang 4.5 kali jarak antar dua bintang tersebut. Rasi ini berputar satu putaran selama 24 jam. Pada jam yang sama, posisinya akan bergeser setiap harinya seperti yang ditunjukkan gambar 11. Kita asumsikan bahwa kita sedang melihat langit pada jam yang sama setiap harinya, sehingga yang kita amati hanyalah gerakan langit akibat gerak revolusi Bumi bukan akibat dari rotasi.

HORIZON SELATAN

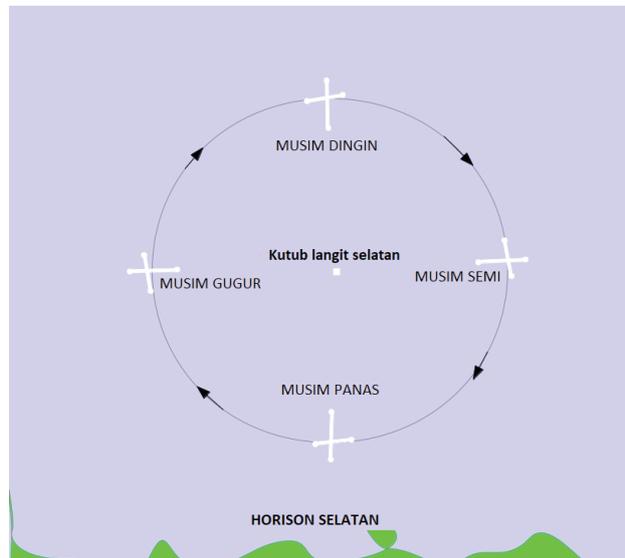
Saat melihat ke daerah tengah payung, kita akan melihat kutub utara langit yang berada dipusat payung. Kemudian kita putar payung secara perlahan, maka rasi Salib Selatan akan berputar mengelilingi kutub langit selatan sepanjang tahun. Kita mulai dengan meletakkan Salib Selatan di atas kutub langit, yang terjadi saat musim dingin. Kemudian jika diputar 90° searah jarum jam maka Salib Selatan akan berada pada sebelah kanan (terjadi saat musim semi). Saat diputar 90° lagi maka rasinya akan berada di bagian selatan (musim panas) dan terakhir saat diputar 90° maka rasi Salib Selatan akan berada di sebelah kiri (musim gugur). Jika kita putar lagi 90° maka posisinya akan kembali lagi keawal dan kita telah menyelesaikan putaran selama setahun penuh (Gambar 11).

Setelah melakukan demonstrasi diatas, kita dapat menyadari bahwa gerakan pada daerah langit yang disebut Horizon utara rasinya sepanjang tahun yang terlihat juga akan selalu sama, namun bervariasi posisinya sepanjang tahun.

HORIZON UTARA

Pada daerah tepian payung yakni zona ekuator kita dapat melihat rasi yang lebih bervariasi. Terdapat rasi yang terlihat pada musim panas namun tidak tampak di musim dingin. Menurut mitologi Yunani, Zeus, raja dari para dewa meletakkan Orion dan Scorpio secara berjauhan-jauhan, karena Orion pernah dibunuh oleh Scorpio, maka dari itu Orion dan Scorpio berada pada daerah langit yang berlawanan agar Scorpio tidak lagi dapat menyerang Orion.

Rasi yang terlihat saat musim semi salah satunya yakni Aquarius. Kemudian saat memutar payung 90° maka kita akan melihat Orion berada diatas horizon yang mana merupakan rasi yang cukup besar untuk diamati saat musim panas. Dengan memutar payung 90° lagi maka kita akan melihat Leo yang mana rasi yang terlihat saat musim gugur. Saat memutar lagi payung 90° kita akan menemui Scorpio di langit yang dapat terlihat di musim dingin.



Gambar 11: Posisi relatif Salib Selatan di sekitar Kutub Selatan selama tahun tersebut (pada jam yang sama).

KESIMPULAN UNTUK KEDUA BELAHAN BUMI

Dengan melakukan dua demonstrasi sebelumnya kita dapat memahami bagaimana gerakan langit akibat dari gerak translasi/ revolusi bumi.

Jika kita ingin memasukan efek rotasi bumi, maka kita harus memasukan gerak harian langit. Jadi saat menggambarkan gerakan rasi seperti Ursa Mayor dan Salib Selatan, dalam satu hari rasinya harus berputar satu keliling terlebih dahulu. Maka dari itu agar memudahkan untuk melihat gerak tahunan, maka kita akan mengabaikan gerak harian terlebih dahulu.

LANGIT GELAP DAN POLUSI CAHAYA

Untuk dapat mengamati langit dengan baik, kita membutuhkan langit yang gelap. Hal ini dapat kita lakukan dengan menjauhi daerah perkotaan. Manusia sudah mulai lupa akan langit yang berbintang karena kita sulit melihatnya. Masalah ini muncul disebabkan oleh banyaknya cahaya yang dihasilkan oleh masyarakat yang sebagian mengarah ke langit, padahal cahaya tersebut tidak memiliki manfaat. Polusi cahaya merupakan salah satu wujud polusi lingkungan yang kurang mendapat perhatian dibandingkan dengan polusi yang lain. Polusi cahaya dapat mengganggu jarak pandang kita saat melihat langit dan juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia, karena dengan adanya polusi cahaya dapat mengacaukan jam biologis yang ada di dalam tubuh manusia yang dipengaruhi oleh cahaya. Maka dari itu untuk memecahkan masalah ini kita harus memahami masalah/penyebabnya, ingatkan orang lain tentang bahaya polusi cahaya dan juga cari solusinya.

Beberapa jenis polusi cahaya:

Glow (pendaran cahaya) merupakan salah satu jenis polusi cahaya yang disebabkan oleh pencahayaan publik di luar ruangan. Peristiwa *glow* dapat kita temui saat kita bepergian saat malam hari dan menuju perkotaan. Kita dapat melihat bahwa ada pendaran cahaya yang mengelilingi kota. Cahaya yang dihasilkan dari pendaran ini sia-sia, karena menyinari langit yang tidak butuh pencahayaan.

The intrusion merupakan jenis polusi cahaya dimana terdapat sumber cahaya yang cahayanya terproyeksi ke segala arah, dan sebagian mengarah ke rumah orang lain. Jika cahaya masuk ke dalam kamar, maka kita perlu menutup tirai agar tidak terkena silau cahaya.

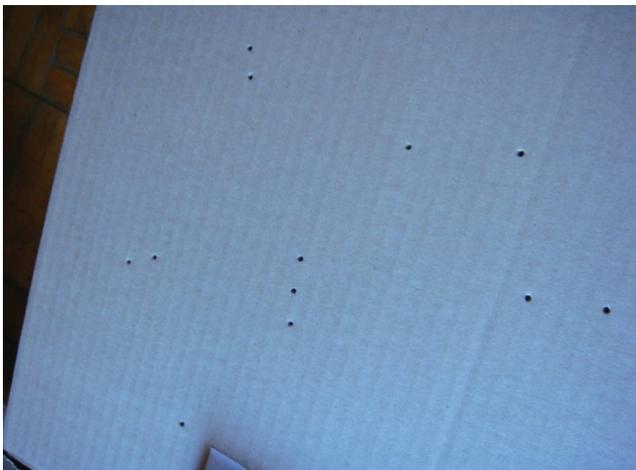
Glare (silau) yakni jenis polusi cahaya yang disebabkan oleh cahaya dari lampu yang terlalu silau, seperti lampu mobil. Beberapa lampu jalan yang terbuat dari LED juga dapat menimbulkan efek polusi yang sama.

Jika kita cari di Internet terdapat banyak aktivitas yang dapat dilakukan untuk mendemonstrasikan efek polusi cahaya, namun disini kita akan menggunakan aktivitas yang interaktif dan mudah dilakukan.

Aktivitas 2: Polusi Cahaya

Tujuan dari aktivitas ini adalah untuk menunjukkan efek polusi dari lampu yang tidak bertudung, mengenali manfaat dari pencegahan polusi cahaya dari sudut pandang astronomi, berbagai alternatif untuk mengurangi polusi cahaya dan dapat meningkatkan kemampuan kita untuk melihat bintang-bintang namun tetap dapat memanfaatkan cahaya lampu pada tempat yang dibutuhkan.

Untuk melakukan eksperimen ini dibutuhkan satu kardus kotak yang berukuran agak besar sehingga dapat dilihat oleh siswa dari dalam. Untuk menggambar rasi bintang (pada contoh kali ini kita ambil rasi Orion) buat titik-titik yang menggambarkan rasi; kemudian buat lubang yang menyesuaikan dengan magnitudo bintang (bintang terang berarti lubangnya lebih besar) lihat gambar 12a dan 12b. Gambar rasi yang dibuat harus merupakan gambar rasi yang di flip sehingga saat dilihat dari dalam akan terlihat bentuk rasi yang sebenarnya.



12a



12b

Gambar 12a dan Gambar 12b: Kotak Karton, desain rasi bintang Orion di satu sisi



Gambar 13: Pemandangan Orion dari dalam kotak. Setiap lubang mewakili bintang

Agar mendapatkan hasil yang lebih ideal, warnai bagian dalam kardus dengan cat hitam atau lapis dengan kertas berwarna hitam. Hal ini dapat memperjelas citra rasi yang dapat kita lihat seperti pada gambar 13. Lubang-lubang itu nanti akan disinari oleh lampu atau senter sehingga dapat terlihat bercahaya.

Untuk eksperimen selanjutnya siapkan dua bola pingpong. Keduanya dilubangi agar dapat dimasuki oleh senter kecil. Satu bola dibiarkan apa adanya, sedangkan satunya diwarnai setengahnya menggunakan cat dengan warna apapun, cat ini akan menggambarkan tudung yang melindungi lampu (gambar 14a dan 14b).

Untuk melakukan eksperimen kali ini, kita harus menyiapkan senter yang tutupnya dapat dibuka sehingga kita dapat me-

masukkan lampu langsung ke lubang bola pingpong (lihat gambar 15a dan 15b). Setelah itu kemudian masukan lampu senter ke dalam lubang bola pingpong.



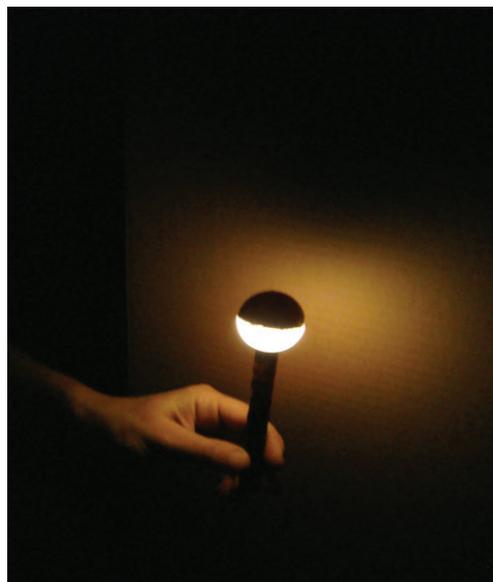
Gambar 14a: Bola tenis meja tanpa pelindung



Gambar 15b: Senter dengan bola tenis meja mensimulasikan lampu jalan



Gambar 14b: Bola tenis meja dengan belahan yang dicat.



Gambar 16a: Lampu tanpa pelindung



Gambar 15a: Kami melepas pelindung senter



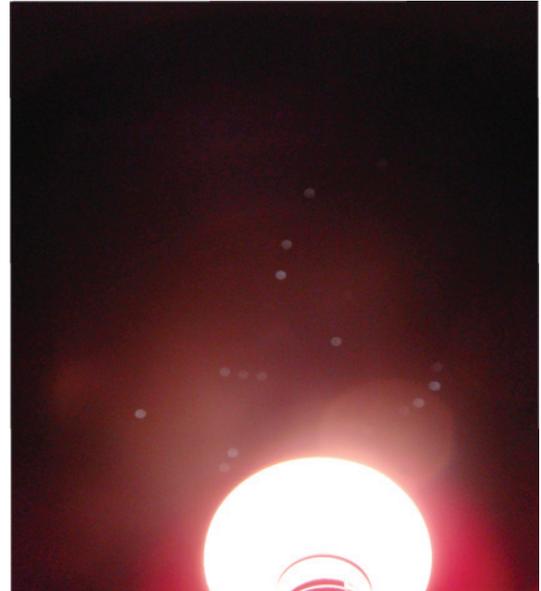
Gambar 16b: Lampu Terlindung

Eksperimen ini dilakukan dengan dua tahap: Pertama menggunakan senter saja. Jika memungkinkan matikan lampu diruangan selama eksperimen, agar mendapat ruangan yang gelap. Gunakan senter yang sama untuk melakukan percobaan ini untuk menghindari adanya beda intensitas cahaya antar senter. Kemudian arahkan senter dengan bola pingpong tanpa cat dan dengan cat ke arah tembok atau permukaan yang rata (lihat gambar 16a dan 16b).

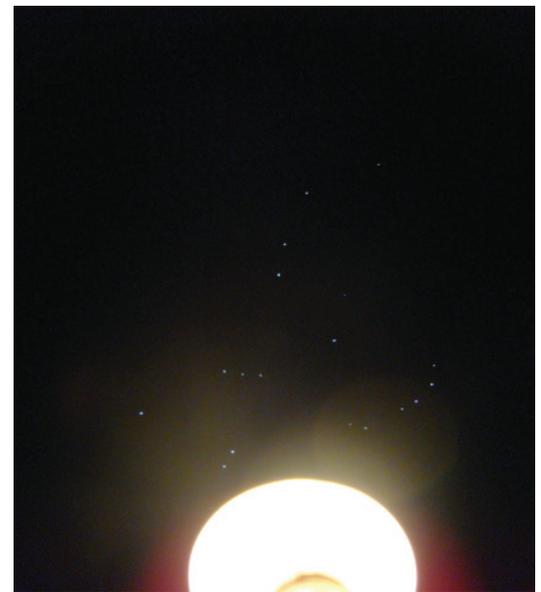
Kemudian tahap kedua kita akan menggunakan kardus yang tadi telah dilubangi dengan bentuk rasi. Contoh percobaannya dapat dilihat pada gambar 17a untuk lampu tanpa pelindung dan 17b untuk lampu dengan pelindung. Jika tidak memungkinkan untuk melihat dari dalam kardus maka kita dapat menggunakan kamera untuk memfoto bagian dalam kardus dan melihat kearah rasi. Pastikan bahwa sumber cahaya di luar kardus menyala agar kita dapat melihat rasi dengan jelas.

Saat melakukan percobaan ini anda akan menyadari bahwa pada percobaan pertama, senter yang tidak terlindungi (16a) akan menghasilkan cahaya yang sia-sia ke arah atas, sedangkan senter dengan pelindung dibagian atas, cahayanya hanya fokus kearah bawah untuk menerangi jalan seperti pada lampu jalan.

Sedangkan untuk percobaan kedua, ketika menggunakan jenis senter tanpa pelindung (cat) di dalam kardus kita akan melihat jenis polusi cahaya yang disebut *glow* yang merupakan cahaya yang mengarah ke langit sehingga menyebabkan gangguan saat melihat bintang. Saat menggunakan senter dengan pelindung, maka *glow* akan berkurang dan kita dapat melihat rasi bintang lebih jelas. Begitu juga jika kita menggunakan kamera untuk memotret rasi bintang dari dalam kardus saat senter tanpa pelindung dinyalakan, cahaya dari senter membuat kamera sulit untuk fokus ke arah bintang. Sedangkan ketika menggunakan senter dengan pelindung, kita akan dapat memotret rasi dengan lebih jelas dan tajam, karena sedikit cahaya yang menggangukannya



Gambar 17a: Penampilan langit malam dengan lentera tanpa pelindung.



Gambar 17b: Penampilan langit malam dengan lampu yang dilindungi

PUSTAKA

- Berthier, D., *Descubrir el cielo*, Larousse, Barcelona, 2007.
- Bourte, P. y Lacroux, J., *Observar el cielo a simple vista o con prismáticos*, Larousse, Barcelona, 2010.
- García, B., *Ladrones de Estrellas*, Ed. Kaicron, Colección Astronomía, BsAs, 2010.
- Reynolds, M., *Observación astronómica con prismáticos*, Ed. Tutor, Madrid 2006.
- Roth, G.D. *Guía de las estrellas y de los Planetas*. Omega. Barcelona 1989.

LAMPIRAN: CARA MENGGUNAKAN STELLARIUM

0.10.6.1

Untuk membuat toolbar fix atau tidak. (arahkan kursor pada pojok kiri bawah)		Gambar bentuk rasi.	
Lokasi. Anda dapat memasukkan menggunakan nama kota, koordinat, atau memilih lokasi di peta.		Grid equatorial	
Tanggal dan Waktu yang menggambarkan kondisi langit.		Grid azimuth + horizon	
Pengaturan tampilan langit. Memiliki empat menu, yang dijelaskan di bawah.		Horizon/Tanah	
Jumlah bintang, planet dan untuk menampilkan atmosfer atau tidak.		Menampilkan titik kardinal	
Garis koordinat yang ditampilkan di langit, konstelasi ... Tipe proyeksi dari langit. Direkomendasikan Stereo graphic atau Orthographic.		Atmosfer	
Menampilkan lanskap, tanah, kabut.		Nebula dan nama	
Nama dan bentuk rasi dan bintang untuk tiap-tiap kebudayaan. Yang paling umum adalah budaya Barat (Western).		Nama dari planet	
Pencari objek (contoh: Saturn, M13, NGC 4123, Altair)		Equatorial mount / azimuth	
Pengaturan bahasa dan informasi mengenai objek yang ditampilkan di layar.		Memfokuskan pada objek yang dipilih.	
Bantuan (tombol pintas, dll.).		Mode malam	
Laju normal waktu		Mode layar penuh/ window	
Mempercepat waktu. Dapat dilakukan berkali-kali		Okuler (seperti melihat objek dari teleskop)	
Memperlambat waktu		Menampilkan satelit di orbit	
Kembali ke waktu sekarang		Untuk menggerakkan pandangan	←, →, ↑, ↓
Garis rasi		ZOOM +	Repág
Nama rasi		ZOOM -	Avpág
		Menentukan planet untuk dijadikan planet tempat melihat. Untuk kembali ke Bumi, cari Bumi, kemudian tekan Ctrl G untuk memilih planet Bumi.	CTRL G
		Meninggalkan/menghilangkan jejak jalur planet.	May+T
		Tangkapan layar	CTRL S PrintScreen
		Keluar dari stellarium.	
			CTRLQ

ARKEOASTRONOMI DAN POTENSI EDUKASINYA

Juan Antonio Belmonte Avilés

Instituto de Astrofísica de Canarias (España)

Penerjemah: Muthia Dewi

Institut Teknologi Bandung (Jawa Barat, Indonesia)

RINGKASAN

Arkeoastronomi, astroarkeologi, astronomi budaya, etnoastronomi, sejarah astronomi, ... Dalam beberapa tahun terakhir, dunia sains, dan dengan meluasnya peminat akademik secara umum, telah mulai mengenal sejumlah subdisiplin yang dengan satu cara atau lain hal dapat menghubungkan sains astronomi dengan humaniora tradisional (arkeologi, sejarah, etnografi, antropologi, sejarah seni atau filsafat, dll) atau lebih tepatnya pada sosial sains.

Suplemen arkeoastronomi pada *Journal for the History of Astronomy* yang dibuat oleh Michael Hoskin -sayangnya sudah tidak lagi dipublikasikan- memopulerkan "arkeoastronomi" di pertengahan 1980-an. (Istilah yang sama validnya "astroarkeologi" yang berkaitan dengan orientasi astronomi dari peninggalan arkeologi, telah diterapkan untuk menghubungkan situs arkeologi dengan kehidupan di luar Bumi. Pengaburan terminologi ilmiah oleh pseudosains, sayangnya sudah menjadi tradisi sejak lama.) Itu sebabnya, para astronom menyebut diri mereka "penama bintang" dibandingkan dengan "astrolog" sebagaimana, para ahli biologi, ekologi, antropologi, dan para pegiat sains lainnya.

Lalu apa itu arkeoastronomi? Di dalam **Sejarah Astronomi: Sebuah Ensiklopedia**, seorang "arkeoastronom" Edwin Krupp, Direktur dari Observatorium Griffith di Los Angeles, mengusulkan definisi berikut pada istilah: *arkeoastronomi adalah studi interdisiplin dari astronomi prasejarah, kuno dan tradisional di seluruh dunia, dalam kerangka konteks budayanya. Di dalam studi ini sumber tertulis dan arkeologis diikuti-sertakan, yang mencakup topik – topik berikut: kalender; observasi praktis, pengultusan dan pemitosan benda – benda langit, representasi simbolis dari peristiwa, konsep dan objek – objek astronomis; orientasi astronomi dari makam – makam kuno, gereja, tempat suci dan pusat kegiatan masyarakat; kosmologi kuno dan penerapan seremonial dari tradisi astronomi.*

Memang, definisi ini cukup luas untuk mencakup berbagai macam topik. Namun, "arkeoastronomi" yang didefinisikan dalam hal ini mengabaikan dua area paling penting di mana astronomi berelasi penuh terhadap sains sosial, yaitu sejarah astronomi dan etnoastronomi. Area studi pertama, yang mana telah menjadi tradisi panjang, dengan tepat mencatat kemajuan astronomi sebagai disiplin ilmu dan evolusi pemikiran dan praktik astronomi yang dimulai sekitar waktu Yunani kuno.

Etnoastronomi, melengkapi hal ini dengan menelusuri astronomi dalam tradisi lisan dari budaya yang saat ini ada dan menurut beberapa peneliti, sumber tertulis (sejarah penaklukan, studi antropologi kuno) dari budaya yang punah, mencakup topik yang sebagian besar sama dengan yang ada di arkeoastronomi menurut ilmuwan astronomi. Sebenarnya, batasan – batasan antara ketiga ilmu ini sangat tidak jelas dan studi yang termasuk ke dalam dua atau semua kategori ini lebih merupakan aturan daripada pengecualian.

Untuk alasan ini, istilah umum "astronomi budaya" terlihat paling sesuai pada studi apapun yang mana astronomi berelasi dengan sains sosial. Ini sebabnya para ahli dalam bidang ini saat ini menyebut diri mereka "European Society for Astronomy in Culture (SEAC)" www.archeoastronomy.org.

DI MANA ARKEOASTRONOMI BERADA?

Salah satu dari perbedaan penting antara arkeoastronomi dan sains fisika yang "sulit" adalah penggantian bahasa astronomi dengan bahasa yang lebih cocok dengan cara pandang epistemologi sains sosial. Arkeoastronomi bukanlah cabang lain dari astrofisika modern, dan tujuan fundamentalnya juga bukan kemajuan pengetahuan fisis Alam Semesta. Sebaliknya, arkeoastronomi adalah spesialisasi yang lebih dekat dengan studi antropologi, melayani disiplin ilmu seperti arkeologi lanskap (yang mencakup seluruh istilah lanskap), sejarah agama atau arkeologi kekuasaan. Dengan itu, seorang astronom yang dilatih utamanya dalam sains kuantitatif akan merasa sulit untuk mengetahui jawaban dari pertanyaan yang menarik bagi arkeolog atau bahkan mengajukan pertanyaannya itu sendiri. Namun penting bagi orang yang tertarik dengan astronomi untuk mengenal pendahulu mereka dan memahami bagaimana budaya yang berbeda telah menggunakan pengamatan langit dalam membentuk visi mereka terkait alam semesta di sekitar mereka menjadi koheren dan menjadi pandangan dunia yang bermakna.

Telah didiskusikan sebelumnya, bahwa kolaborasi dekat antara arkeolog dan astronom diperlukan untuk menciptakan penelitian penting di dalam arkeoastronomi. Simbiosis interdisipliner ini adalah konsekuensi natural dari kebutuhan para arkeolog, antropolog, dan sejarawan astronomi dalam memahami teknis astronomi, seperti astronomi posisi atau mekanika benda langit dan matematika seperti trigonometri sferis, yang berjalan dengan baik meskipun diaplikasikan diluar bidang ilmu yang telah didesain sebelumnya.

Namun, opini saya saat ini, setelah lebih dari dua dekade berpengalaman di lapangan, baik astronom maupun antropolog perlu mentransformasikan diri mereka menjadi seorang tipe pelajar yang sangat berbeda, seorang arkeoastronom, melupakan banyak kebiasaan epistemologis dari pelatihan disipliner yang telah dilalui selama bertahun – tahun dan membangun pola pikir yang cukup baru. Tidak semua yang dipelajari dalam arkeoastronomi dapat dipertimbangkan secara interdisipliner, meskipun pendekatan multidisipliner mungkin diperlukan. Hal ini, singkatnya, sebuah bidang ilmu tersendiri.

Arkeoastronomi memiliki masalah penting lainnya: ini merupakan semacam tanah tak bertuan di mana astronom dan astrofisikawan merasa tidak berada pada tempatnya (meskipun

begitu, kabar baiknya hal itu sudah mulai berubah), dan arkeolog serta sejarawan sering kali tidak bisa melihat sesuatu pada ilmu ini yang dapat membantu untuk memahami masa lalu. Hal ini bersifat kontras dengan persimpangan humaniora lainnya, sebagai contoh, kegunaan Karbon-14 (C14) dalam penentuan usia benda, yang mana secara luas diterima oleh saintis, sejarawan, dan arkeolog. Masalahnya diperparah ketika titel arkeoastronom diterapkan pada saintis yang tertarik dalam mengaplikasikan ilmunya pada sejarah dan mereka yang menggunakan (dan menyalahgunakan) fisika dan matematika untuk mengusulkan teori sejarah yang benar – benar tidak masuk akal. Upaya para ilmuwan yang sesungguhnya – sungguh agar pendekatan astronomis terhadap arkeologi mendapatkan pengakuan dapat diganggu oleh beberapa tokoh terkemuka yang oleh ilmuwan Inggris disebut *lunatic fringe*.

Batasan antara apa itu sains dan apa yang bukan harus didasarkan pada penerapan aturan dasarnya seperti Pisau Ockham (Ockham's Razor), rumusan paling sederhana dari Prinsip Ekonomi (ketika dihadapkan pada dua kemungkinan jawaban untuk masalah ilmiah, yang paling sederhana seringkali benar). Namun kita harus menyadari bahwa aturan ini tidak dapat diterapkan secara universal.

ARKEOASTRONOMI DAN NASE

Potensi arkeoastronomi dalam pengajaran astronomi dapat menginspirasi hati dan kesadaran anak muda untuk melihat budayanya sendiri yang terefleksikan dengan cara memahami alam semesta dari para leluhur mereka. Dalam hal ini, arkeoastronomi dapat memberikan koneksi langsung kepada lingkungan terdekat mereka sebagai lawan dari keterpencilan yang tampak dari langit dan alam semesta pada umumnya. Jika ini benar, akan menarik untuk dilakukan penelitian mengenai efek pedagogis pada arkeoastronomi atau etnoastronomi atau bahkan kombinasi keduanya.

Pendekatan ini membuka peluang kepada para siswa untuk menstimulasi dialog dengan orang tua untuk mempelajari pengetahuan tradisional tentang langit, khususnya jika mereka berada di lokasi yang dekat atau di bidang pertanian atau masyarakat pemburu. Pada masyarakat modern, pengetahuan ditransmisikan secara lebih formal melalui sekolah dan media. Untuk siswa yang tertarik pada pendekatan ini, tipikal garis besar wawancara yang bisa digunakan sebagai panduan telah dilampirkan (lihat Lampiran 1).

Di sisi lain, hampir pasti di lingkungan terdekat siswa, di mana pun ia berada, di sana pasti ada sederetan bangunan yang bisa memiliki karakter simbolis yang ditandai dan telah memiliki fungsi keagamaan atau sekuler. Bangunan – bangunan tersebut adalah objek – objek potensial dari percobaan arkeoastronomi. Kami mengutip beberapa contoh:

- Gereja di lingkungan Kristiani.
- Masjid di lingkungan Muslim.
- Candi di lingkungan Hindu, Budha, atau Shinto (termasuk klenteng atau *gopuram*).
- Tata kota, terutama yang memiliki kerangka ortogonal yang terorganisasi dengan jelas (sangat umum di dunia).
- Tempat – tempat suci masyarakat adat (Polinesia atau Amerika).
- Tempat ibadah lain dalam masyarakat suku.

- Monumen kuno jika ada.

Ikonografi astronomi yang ada di tempat – tempat ini dapat juga dipelajari, contohnya analisis situs pahatan batu yang sering menunjukkan representasi astral yang rumit. Dengan itu, astronomi budaya dapat menjadi pendekatan yang efektif dan bermakna yang dapat membawa astronomi pada publik, dan khususnya pada pemuda.

LAMPIRAN I (DIADAPTASI DARI “EL CIELO DE LOS MAGOS”)

TIPE WAWANCARA UNTUK PEKERJAAN LAPANGAN ETNOASTRONOMI

Sekumpulan pertanyaan yang diajukan merupakan cara natural yang umum yang dapat diterapkan di berbagai kasus. Namun, pengalaman menunjukkan bahwa, dalam tipe riset ini, sekali percakapan dimulai, berbagai pertanyaan – pertanyaan yang lebih spesifik yang berelasi lebih langsung pada subjek yang sedang diperlakukan atau diteliti akan muncul. Konsekuensinya, meskipun garis – garis besar ini dapat digunakan sebagai panduan, diekspektasikan bahwa sebagian besar wawancara akan secara natural mengambil pada karakter yang lebih terbuka.

1. **Pertama, dapatkan narasumber menjelaskan apa yang mereka ketahui dan mengapa, dimulai dengan pertanyaan – pertanyaan umum seperti:**
 - Apakah dalam beberapa waktu terbaru ini, di tempat ini, Anda melihat ke langit dengan tujuan tertentu?
 - Apakah kamu menggunakannya sebagai suatu panduan, simbol, atau panduan untuk sesuatu?
2. **2. Kemudian tanyalah setiap objek yang dapat digunakan untuk tujuan prediktif secara lebih spesifik:**
 - a. **Pertanyaan – pertanyaan berfokus pada Bintang**
 - Apakah Anda dipandu oleh Bintang – Bintang pada malam hari?
 - Bintang – Bintang apa saja yang Anda ketahui di langit?
 - Apakah Anda mengetahui Bintang “ini atau itu” (*)?
 - Tanyalah pertanyaan – pertanyaan tentang waktu (dalam tahun) dan tempat di mana Anda melakukan pengamatan dan Bintang – Bintang apa saja yang dilihat, dengan tujuan untuk mengklarifikasi Bintang mana yang narasumber maksud.
 - Apakah Anda mengingat nama dari kelompok Bintang lainnya?
 - Apakah itu memberikanmu indikasi akan sesuatu dari Bintang – Bintang tersebut?
 - Apakah hujan berasosiasi dengan suatu Bintang?
 - Apakah saat ini sebagian besar pengamatan dilakukan pada malam hari atau di awal pagi?
 - Apakah Anda menggunakan pengamatan Bintang untuk menentukan kapan dan di mana

- tempat yang sesuai untuk melakukan pekerjaan agrikultural?
- Atas dasar apa Anda membuat keputusan ini? apakah dari terlihat atau tidaknya Bintang pada suatu waktu tertentu? Apakah ketika Bintang sedang berada pada posisi tertentu? Dll.. ?
- Bagaimana narasumber memberi tahu waktu pada malam hari?
- Apakah ada suatu hal yang penting dari terbitnya suatu Bintang tertentu?
- Apakah ternak melakukan sesuatu atau apakah terjadi sesuatu yang berasosiasi dengan Bintang?
- Apakah ternak kesulitan beristirahat atau cemas karena posisi atau sifat dari Bintang?
- Apakah Anda mengetahui suatu tanda dari suatu hal, di suatu tempat, yang mengindikasikan bahwa akan turunnya hujan?
- Apa tanda lain yang diketahui yang berelasi dengan angin, awan, atau peristiwa – peristiwa benda langit?
- Apakah terdapat suatu tanda untuk gunung ini atau itu?
- Apakah Anda memiliki cara untuk mengetahui cuaca apa yang akan terjadi di laut (memancing)?
- Jika itu akan turun hujan, bisakah Anda memberitahunya dengan cara melihat langit kapan hal itu akan terjadi ... (*)?
- Kapan, Anda melihatnya (*)?

(*) **Catatan:** Referensi spesifik akan dibuat untuk Bintang mana pun, diketahui dari wawancara – wawancara sebelumnya atau dikumpulkan dalam bibliografi – bibliografi sebelumnya.

- b. Pertanyaan – pertanyaan yang berkaitan dengan Bulan:
 - Apakah Anda pernah melihat ke Bulan?
 - Apakah Anda menggunakan Bulan sebagai panduan dari suatu hal?
 - Apakah Anda pernah melihat pada atau memperhatikan di mana Bulan tenggelam?
 - Apakah Anda pernah memperhatikan posisi, bentuk, atau fase dari Bulan beberapa waktu dekat ini?
 - Apakah posisi Bulan mengindikasikan sesuatu?
 - Apakah Anda pernah melihat pada Bulan untuk membantumu berkaitan dengan pekerjaan bercocok tanam?
 - Apakah Anda pernah mendapatkan sesuatu yang spesial dari apa yang Anda perhatikan dari Bulan?
 - Apakah terdapat suatu fase atau Bulan musiman yang lebih penting dari yang lainnya?
 - Apakah Bulan memiliki pengaruh pada hujan?
 - Apakah Bulan mempengaruhi binatang?
- c. Pertanyaan – pertanyaan yang berelasi dengan Matahari:
 - Apakah Anda pernah melihat ke Matahari?
 - Apakah Anda menggunakan Matahari sebagai panduan akan suatu hal?
 - Apakah Anda pernah melihat ke atau memerhatikan di mana Matahari tenggelam?
 - Apakah Anda menggunakan Matahari untuk memberi tahu waktu? Bagaimana?
 - Apakah Anda pernah melihat ke Matahari untuk membantumu dalam pekerjaan bercocok tanam?
 - Apakah Anda pernah mendengar sesuatu tentang melihat Matahari menari?
- d. Pertanyaan – pertanyaan yang berelasi pada fenomena meteorologi:
 - Bagaimana Anda mengetahui jika akan hujan atau tidak?

(*) Catatan: Maksud dari dua pertanyaan terakhir ini adalah untuk mencari tahu apakah mereka mengetahui *Cabañuelas* tanpa secara ekspresi menyebutkan namanya. Jika tidak..

- e. Pertanyaan – pertanyaan yang berelasi dengan *Cabañuelas* dan *the Aberruntos* (metode – metode tradisional untuk prediksi meteorologi):
 - Apakah terdapat waktu istimewa untuk melihat tanda – tanda dari cuaca selama akhir tahun?
 - Apakah Anda mengetahui *Cabañuelas* ?
 - Pada tanggal berapa?
 - Terdiri apa saja metode tersebut?
 - Apakah Anda mengetahui *Aberruntos*?
 - Apa artinya itu?
 - Apakah metode – metode ini dapat bekerja atau tidak?
 - Apakah terdapat *Cabañuelas* yang lebih akurat dari metode – metode lainnya?
 - Apakah terdapat *Cabañuelas* yang berasosiasi dengan Matahari atau Bulan?
 - f. Pertanyaan – pertanyaan yang berelasi dengan liburan dan hari – hari suci:
 - Pesta atau hari besar apa saja yang kamu miliki di sini?
 - Kapan mereka dilaksanakan?
 - Apa hal yang menjadi paling penting?
 - Apa hal yang dilakukan orang suci Anda?
 - Apa hal yang Anda lakukan pada hari yang istimewa?
 - Apakah Anda melakukan sesuatu yang berelasi dengan langit pada tanggal tersebut?
3. **Pertanyaan – pertanyaan yang bersifat umum untuk dilakukan yang berada di sepanjang wawancara:**
- Apakah Anda mengingat suatu lagu, nyanyian, atau ucapan yang berelasi dengan sesuatu terkait luar angkasa?
 - Apakah Anda memiliki seseorang yang mengetahui cara memprediksi cuaca?
 - Siapa namanya?
 - Apakah prediksinya sangat akurat?
 - Apa tanda lain yang Anda ketahui?
 - Apakah Anda memercayai semua tandanya?

- Apakah saat ini Anda masih mengikuti tanda – tanda tersebut?
- Apakah saat ini orang – orang masih mencari tanda – tanda tersebut?
- Apakah Anda pikir tanda – tanda tersebut patut dipercaya?
- Siapa yang memberi tahu Anda tentang pengetahuan ini?
- Di mana dan kapan ia lahir? Di mana ia tumbuh? Dari mana (ayah, kakek, ...) -nya?

LAMPIRAN II (DIADAPTASI DARI “LA ORIENTACIÓN COMO SEÑA DE IDENTIDAD CULTURAL: LAS IGLESIAS HISTÓRICAS DE LANZAROTE”)

Abstrak

Orientasi dari gereja - gereja Kristen adalah elemen khas dari arsitekturnya yang mana mengulangi pola – pola dari zaman Kristen. Terdapat *trend* umum untuk mengorientasikan apse mereka di dalam jangkauan Matahari, dengan kecenderungan geografi Timur (dekat Ekuinoks astronomi), meskipun penyebarannya pada arah yang berlawanan, dengan apse mengarah ke Barat, meskipun hal tersebut pengecualian karena tidak mengikuti pola kanonik, namun hal tersebut bukanlah sesuatu yang tidak biasa.

Kasus dari gereja yang dibangun di Barat Laut Afrika sebelum kedatangan Islam dalam hal ini bersifat paradigmatik dan dapat mencerminkan tradisi - tradisi sebelumnya. Pulau Kenari merepresentasikan budaya Afrika Utara bagian ujung Barat, koinè, sehingga hal itu dianggap relevan untuk melakukan studi sejumlah gereja kuno di salah satu pulau, dan yang dipilih adalah Lanzarote. Orientasi dari total 30 gereja yang dibangun di awal 1810, dan beberapa contoh lain dari periode sebelumnya, diukur. Sampel mengindikasikan, bahwa pola orientasi tertentu di pulau itu diikuti, namun tidak seperti standar yang ditemukan sejauh ini di pulau – pulau Kristen lain, sehingga terdapat dua prototipe. Di sisi lain, muncul standar arah Timur (atau Barat), namun sampelnya juga menunjukkan orientasi penandaan ke arah Utara-Timur Laut, untuk saat ini, khusus untuk Lanzarote. Lampiran mendiskusikan mengapa aturan ini aneh, mempertimbangkan beberapa kemungkinan besar sebagian dibuang. Kita temukan, bahwa penjelasannya mungkin sangat lazim, sedemikian rupa sehingga terkadang, kebutuhan duniawi menjadi paling relevan daripada kebutuhan pengambilan keputusan upacara keagamaan.

Pendahuluan: Prolegomena

Studi penyusunan dan orientasi gereja – gereja Kristen sangat menarik sejak dahulu dan beberapa waktu ini menjadi hangat kembali dalam suatu literatur yang spesifik. Hal ini merupakan faktor penting dari arsitektur mereka. Menurut tulisan dari penulis dan pembela Kristen awal, gereja harus mengikuti suatu orientasi yang pasti, yaitu pendeta harus berdiri menghadap

ke arah Timur selama upacara keagamaan. Diakui oleh Origenes, *Clement of Alexandria* dan Tertullian, Dewan Nicea (325) menetapkan hal ini sebagai fakta prioritas. *Atanasius of Alexandria*, juga pada abad ke-4 mengungkapkan, bahwa pendeta dan jemaat harus mengarah ke Timur, di mana Kristus, Matahari keadilan akan bersinar di akhir waktu (*ecclesiarum situs plerumque talis erat, ut fideles altare facie versa orientem solem, symbolum Christi qui est Sun iustitia et lux mundi [...] interentur*; untuk analisis lebih lanjut dari sumber – sumber awal dan metode orientasi, Anda dapat mengikuti Vogel (1962).

Namun, perintah – perintah ini tidak sepenuhnya jelas untuk bisa memilih antara interpretasi – interpretasi yang berbeda, apakah hal ini berorientasi ke arah terbitnya Matahari pada hari dimulainya konstruksi gereja? Atau ke arah Matahari di hari lain yang dianggap penting, seperti di hari santo pelindung gereja? Dengan mengarah ke Timur, akankah dianggap dalam arti yang sempit? Gereja – gereja berorientasi ke arah terbit Matahari saat Ekuinoks? Pada kasus itu, mengarah ke ekuinoks yang mana? Awalnya, basilika Kristen awal tidak dibangun dengan *apse*, atau kepala Gereja, dialihkan ke Timur. Dalam kasus ini Delgado-Gomez (2006) mengindikasikan, bahwa 20 basilika Kristen pertama dibangun selama masa Konstantinus dan penerusnya di Roma, Yerusalem, Konstantinopel, dan Afrika Utara, 18 di antaranya kira – kira berada di garis Timur-Barat, tetapi *apse* dari 11 di antaranya mengarah ke Barat. Namun, hal ini menarik untuk dicatat, bahwa pada kasus – kasus ini ketua dan Pendeta ditempatkan melihat ke arah ke Timur, maka altar terletak di antara itu dan para jemaat.

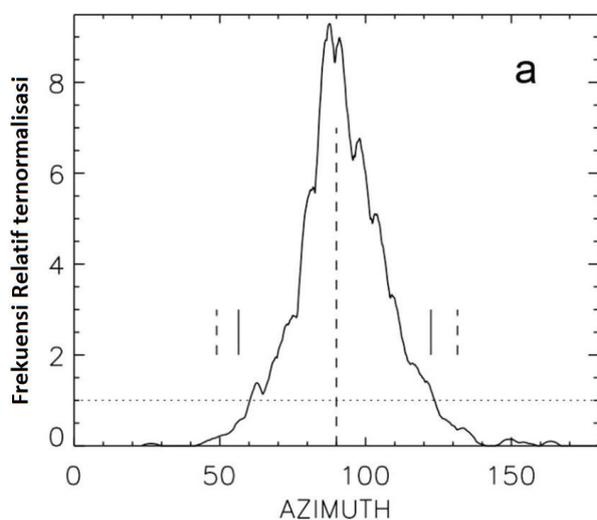
Di antara abad ke-3 dan -7, rekomendasi diberlakukan dan karenanya konstitusi Apostolik menunjukkan, bahwa gereja harus dibangun menghadap ke Timur (const. Apost., II, 7). Pada abad ke -5, Sidonius Apolinar dan Paulinus dari Nola menunjukkan, bahwa *apse* harus terlihat ke arah Timur, yaitu Ekuinoks, sesuatu yang kemudian dikonfirmasi oleh Paus Virgilius dan Isidoro dari Seville dalam bukunya *Etymologie* (XV, 4) (McCluskey 1998). Hal ini kemudian dikonfirmasi selama abad pertengahan oleh Honorius Augustodunensis (abad ke -11 sampai -12: [...] *ecclesiae ad orientem vertuntur ubi sol oritur* [...]) dan oleh penulis lain, seperti William Durando (abad ke -12 sampai -13: [...] *versus orientem, hoc est, versus solis ortum aequinoctialem, nec vero against aestivale solstitium* [...]), yang dengan jelas mengindikasikan arah yang harus diikuti, Ekuinoks, menjaga tetap nilai - nilai titik baik Matahari. Orientasi yang mengarah ke Timur memiliki simbiologi yang jelas, seperti yang sudah didiskusikan sebelumnya. Pada arah di mana Matahari terbit dengan demikian Kristus, sebagai Matahari Keadilan, akan muncul dari sana pada Penghakiman Terakhir (McCluskey 2004, 2010). Di sisi lain, titik – titik balik Matahari yang bersifat non preferensi dapat dikaitkan pada kepentingan dari tanggal – tanggal ini di periode sebelumnya dan banyak kuil - kuil yang ditargetkan pada arah ini (lihat, misalnya, Belmonte, 2012).

Namun, dalam hal ini, ambiguitas masih ada. Ekuinoks yang mana yang harus dipertimbangkan? Sebagaimana disebutkan oleh McCluskey (2004), terdapat beberapa kemungkinan: vernal ekuinoks Roma terjadi pada 25 Maret, sedangkan menurut orang Yunani terjadi pada 21 Maret – sebagaimana yang direfleksikan di Dewan Nicea -; namun Anda dapat menggunakan definisi lain, seperti masuknya Matahari sebagai tanda dari Aries atau Ekuinoks musim gugur. Setiap dari definisi ini akan

memberikan variasi tanggal dan oleh karena itu, terdapat sedikit perbedaan orientasi (Ruggles 1999, González-García & Belmonte 2006).

Hal penting lainnya untuk dipertimbangkan adalah penggunaan Kalender Julian selama Abad Pertengahan serta pada sebagian dari zaman modern. Hal ini akan mendorong kepada fakta, bahwa jika kita lihat pada kalender Ekuinoks - pada tanggal yang spesifik - lambat laun waktu tersebut akan tergantikan seiring berjalannya waktu, sesuatu yang akan dicerminkan dalam suatu perubahan sistematis dari orientasi, jika observasi terbitnya Matahari telah dilakukan pada hari itu.

Bersama dengan piramida Mesir dan megalit Eropa, penelitian terkait orientasi dari gereja - gereja Eropa abad pertengahan adalah salah satu praktek yang tertua yang telah dihadapi pada Arkeoastronomi. Beberapa waktu ini González-García (2013) melakukan berbagai pekerjaan di bidang ini. Hal itu menunjukkan bahwa rekomendasi orientasi yang mengarah ke Timur mengikuti pola sistematis sepanjang Eropa selama Abad Pertengahan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Semua ranah penelitian dari González-García (2013) mengikuti pola orientasi ini dengan nilai maksimum yang jelas utamanya berfokus pada arah Timur, penekanan pada berbagai kesempatan, khususnya di Eropa Barat, nilai maksimumnya sedikit berpindah ke arah Utara dari Timur astronomis, mungkin mengindikasikan, bahwa penggunaan tanggal yang spesifik untuk ekuinoks (25 Maret), seiring berjalannya waktu, berpindah seperti yang dideskripsikan di atas, meskipun di setiap daerah terdapat karakteristik - karakteristik khusus.



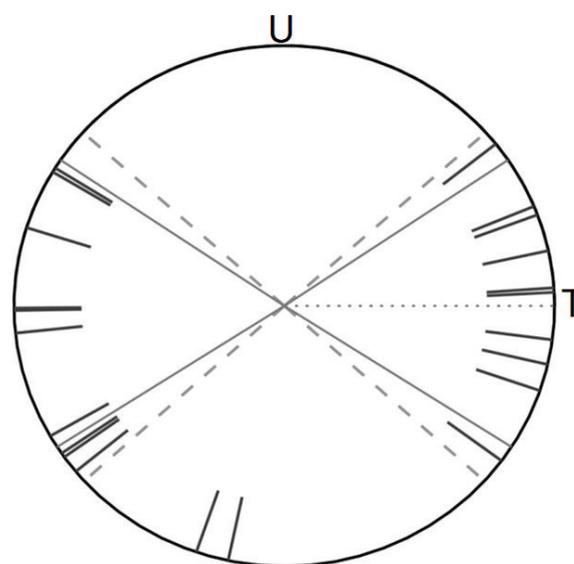
Gambar 1. Histogram Azimuth dari 1.274 sampel gereja - gereja Eropa abad pertengahan.

Hal ini menarik untuk dicatat, bahwa konstanta pada literatur terkait orientasi gereja - gereja, ternyata mereka berorientasi pada arah terbitnya Matahari dalam efemeris Santo Pelindung (yang tampaknya sama sekali bukan kasus gereja Lanzarote, seperti yang akan kita lihat). Namun, pada pemaparan sebelumnya, dan hingga menuju Abad Pertengahan, tidak terdapat dukungan epigrafi untuk klaim seperti itu. Pekerjaan yang ditinjau oleh González-García (2013) mengindikasikan, bahwa untuk area Jerman dan mungkin Inggris dan Perancis, mung-

kin terdapat kecenderungan dari beberapa Santo di beberapa monumen, meskipun bangunan - bangunan tersebut merupakan gereja - gereja monastik Romantik atau katedral gotik. Kasus yang menarik dan didokumentasikan dengan baik ada di Slovenia di mana Čaval (2009) telah menemukan bukti dari kecenderungan khusus yang disebut dengan *feast of the Chair of Saint Peter*, kemiringannya terefleksi pada orientasi sejumlah besar gereja pada arah terbitnya Matahari pada hari itu. McCluskey (2004) mengindikasikan, bahwa sesuatu yang serupa terjadi di Inggris di gereja - gereja Romantik, di mana, mungkin gereja - gereja dengan dedikasi pada Maria dan beberapa orang suci dapat mengikuti standar ini, melengkapi orientasi yang mengarah ke Timur.

Dalam konteks ini, dan objek yang diberikan dari penelitian ini, cukup menarik untuk dicatat, bahwa kecuali pada sedikit pekerjaan yang berdedikasi pada gereja - gereja tertentu, utamanya di Inggris dan Eropa Pusat, di sana tidak terdapat penelitian yang sistematis terkait orientasi gereja di periode setelah Abad Pertengahan, sebagaimana yang sekarang. Seperti yang akan kita lihat, sebagian besar gereja dan kapel Lanzarote mulai didirikan setelah penaklukan dan kolonisasi pulau oleh para Norman pada pelayanan Takhta Kastilia di abad ke-15.

Menariknya, pengecualian pada aturan orientasi terjadi di Afrika Utara, di mana gereja - gereja dibangun pada arah yang terbalik. Data yang ditunjukkan pada Gambar 2 didapat dari Esteban et al. (2001) dan Belmonte et al. (2007), serta yang lainnya yang tidak dipublikasikan sebelumnya (González-García 2013) dan termasuk total 23 gereja, khususnya di Afrika Prokonsularis dan Tripolitania, tempat - tempat yang memungkinkan dari populasi aborigin di Pulau Kenari (Belmonte et al. 2010). Hal ini menarik untuk diamati, bahwa gereja - gereja ini menunjukkan jumlah yang lumayan dengan orientasi mengarah ke Barat, biasanya pada awal zaman agama Kristen, sebagaimana yang dicatat di atas. Hal itu juga menyoroti, bahwa sebagian besar gereja berlokasi dalam jangkauan Matahari, dengan konsentrasi pada ekuinoks dan titik balik Matahari, yang dapat memberikan petunjuk tentang kristenisasi di daerah ini.



Gambar 2. Diagram orientasi dari 23 gereja - gereja Kristen awal di Afrika Utara.

Di Spanyol, baik di Iberia Peninsula dan di dua kepulauan, terdapat laporan peristiwa khusus terkait cahaya dan bayangan di dalam gereja Romantik pada waktu khusus, seperti Ekuinoks (sebagaimana di Santa Marta de Tera atau San Juan de Ortega, masing – masing di provinsi Zamora dan Burgos), pertanyaan terkait orientasi gereja telah sedikit diinvestigasi dalam bentuk yang umum dari sudut pandang statistik, yang menyebabkan klaim penjelasan peziarah tentang kemungkinan penyebab deviasi dari beberapa gereja sehubungan dengan orientasi kanonik (lihat contoh Godoy-Fernández, 2004). Perez-Valcárcel (1998) telah menginvestigasi orientasi dari 187 gereja – gereja Romantik Camino de Santiago. Meskipun data tidak termasuk pengukuran tinggi sudut horizon, sesuatu yang sayangnya sangat umum di dalam penelitian orang – orang Eropa, ia tidak membangun hubungan umum antara orientasi gereja – gereja tersebut dan terbitnya Matahari pada tanggal Santo Pelindung dari ibadah gereja.

Tim kami telah memutuskan untuk memulai proyek pada skala besar, baik di Iberia Peninsula dan Kenari. Pada akhirnya, apa yang ditunjukkan di sini adalah studi sistematis pertama yang dikembangkan sejauh ini. Namun, dengan semakin luasnya program untuk mengukur orientasi dari gereja – gereja pada zaman pra-Romantik dari wilayah semenanjung dalam cara yang sistematis, González-García et al. (2013) telah memberikan perhatian khusus pada gereja – gereja di periode Asturias dan interaksinya dengan kekuasaan Muslim yang dominan di daerah Selatan dari Peninsula. Khususnya, terdapat 13 gereja yang masih ada dari periode Asturias yang memiliki orientasi kanonik, dengan *apse* mengarah ke Timur, meskipun secara umum terdefleksi ke Utara dari Timur. Selain itu, penulis menemukan, bahwa pada masjid – masjid di Andalusia, meskipun mereka bisa saja berorientasi ke arah Mekkah, kiblatnya bisa saja konsisten dengan penyejajaran kanonik gereja. Namun, itu akan terlihat, bahwa masjid “menghindari” kemungkinan orientasi yang mungkin membingungkan antara masjid dan gereja, sedangkan gereja Asturias, dan mungkin selanjutnya Mozarab juga cenderung untuk menghindari posisi tersebut yang membingungkan gereja – gereja ini dengan masjid sebagai contoh interaksi keagamaan, kekuasaan, dan astronomi. Dengan demikian, kita lihat, bahwa dalam pengecualian keadaan, pola – pola kanonikal mungkin diubah.

Terakhir, García-Quintela et al. (2013) telah menginvestigasi pengenalan dari agama Kristen di Barat Laut Peninsula dan pergantian yang mungkin dari elemen Indo-Eropa (*Celtic*) oleh faktor – faktor Kristen, melalui pengenalan dari apa yang disebut dengan “landscape martir”: melalui orientasi gereja dan kristenisasi dari lingkungan mereka, sebagaimana penciptaan mitos dan cerita yang menyalurkan, memodifikasi, dan mengganti kemungkinan aliran pagan. Dengan demikian, akan sangat menarik untuk menganalisis fenomenologi yang sama ini di Pulau Kenari dan khususnya di Pulau Lanzarote, kasus yang sangat mencolok karena itu merupakan yang pertama dikolonisasi oleh Eropa dan ukuran serta jumlah populasi intinya memungkinkan survei sampel yang signifikan secara statistik di daerah yang kecil dan rapat.

Contoh: Gereja dan kapel Lanzarote. Kesimpulan

Setelah penaklukan dan kolonisasi Lanzarote, Kepulauan Kenari oleh orang – orang Eropa pada awal abad ke-15, kolonisasi dalam skala besar terjadi di abad – abad setelahnya dengan didirikannya pertanian kecil dan dusun, bersama beberapa situs kuno seperti *Femés* atau *Teguise*, di mana konstruksi sejumlah gereja telah selesai yang mana mengilustrasikan situasi sosial dan agama baru.

Di beberapa tempat, hal ini memungkinkan, bahwa bangunan – bangunan berorientasi meniru pola – pola dalam beribadah dari penduduk asli. Pada orang lain, tradisi penyejajaran kanonik gereja ke arah Timur (dengan beberapa pengecualian di Barat) dihormati, namun dengan derajat kebebasan yang lebih besar dari biasanya. Dalam anggapan ini, perlu disebutkan, bahwa hanya gereja Mala yang tampaknya menyajikan orientasi yang cocok dengan terbitnya Matahari pada hari doa (Maria) gereja (Gambar 3).



Gambar 3. Gereja Ntra. Señora de las Mercedes di Mala.

Akhirnya, di Lanzarote, terdapat sejumlah signifikan gereja yang berorientasi pada Utara-Timur Laut, yang mana merupakan pengecualian penting dari aturan. Berbagai kemungkinan telah dianalisis untuk menjelaskan anomali ini, sehingga didapatkan kesimpulan, bahwa jawaban yang paling masuk akal adalah menggeser kelaziman. Pola orientasi terlihat mematuhi keinginan untuk menghindari angin kencang di pulau tersebut, lebih tepatnya dari arah tersebut, dan, khususnya, untuk menghindari kerepotan yang disebabkan oleh pasir yang berpindah karena angin pada bangunan – bangunan yang dekat atau berbatasan dengan El Jabel, daerah pasir di Utara pulau.

Ini hanyalah percobaan pertama dalam proyek, yang mana kami berharap bisa melakukannya kembali di tahun yang akan datang, dengan mengukur orientasi dari gereja – gereja Kristen tertua, di pulau selain Kepulauan Kenari. Dalam hal ini, kami berasumsi, bahwa studi pulau Fuerteventura juga mengalami aliran angin yang sama, berhembus lebih intensif, hal ini akan menjadi studi kasus yang sangat menarik untuk membandingkannya dengan pulau tetangganya, pulau Lanzarote.

Akankah gereja Fuerteventura memiliki standar ganda? Apakah pembangunannya berani melanggar aturan kanonik (gereja)

untuk memaksakan kebutuhan manusia dari upacara keagamaan? Waktu yang akan menjawab!

DAFTAR PUSTAKA

- Belmonte J.A., *Pirámides, templos y estrellas: astronomía y arqueología en el Egipto antiguo*, Crítica, Barcelona, 2012
- Belmonte, J.A. y Sanz de Lara M., *El Cielo de los Magos*, La Marea, La Laguna, 2001.
- Belmonte J.A., Tejera A., Perera M.A. y Marrero R., "On the orientation of pre-Islamic temples of North-west Africa: a reappraisal. New data in Africa Proconsularis", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*6, 3: 77-85. 13, 2007
- Belmonte J.A., Perera Betancort M.A. y González García A.C., "Análisis estadístico y estudio genético de la escritura líbico-bereber de Canarias y el norte de África", en VII Congreso de patrimonio histórico: inscripciones rupestres y poblamiento del Archipiélago Canario, Cabildo de Lanzarote, Arrecife, (2010)
- Čaval, S. (2009). "Astronomical orientations of Sacred Architecture during the Medieval period in Slovenia", en J.A. Rubiño-Martín, J.A. Belmonte, F. Prada and A. Alberdi (eds.), *Cosmology Across Cultures*, 209-19. San Francisco. Astronomical Society of the Pacific.
- Estéban, C., Belmonte, J.A., Perera Betancort, M.A., Marrero, R. y Jiménez González,
- J.J., "Orientations of pre-Islamic temples in North-West Africa", *Archaeoastronomy*26, S65-84, (2001).
- Gangui A.; González García A.C.; Perera Betancort M.A. y Belmonte, J.A., *La orientación como una señal de identidad cultural: las iglesias históricas de Lanzarote*, Tabona en prensa, 2015
- García Quintela, M.V., González-García, A.C. y Seoane-Veiga, Y., "De los solsticios en los castros a los santos cristianos: la creación de un paisaje mártir en Galicia", *Madridener Mittelungen*, 2013
- González-García, A.C., "A voyage of christian medieval astronomy: symbolic, ritual and political orientation of churches", en F. Pimenta, N. Ribeiro, F. Silva, N. Campion, A. Joaquineto, L. Tirapicos (eds.): *Stars and stones*. British Archaeology reports, 2013
- González-García, A.C. y Belmonte, J.A., "Which Equinox?" *Archaeo-astronomy, The Journal of Astronomy in Culture*20. 97-107, 2006.
- González-García, A.C., Belmonte J.A. y Costa-Ferrer, L., "The orientation of preRomanesque churches in Spain: Asturias, a case of power re-affirmation", en M.A. Rappenglueck, B. Rappenglueck and N. Campion (eds.), *Astronomy and Power*. British Archaeology Reports, 2013.
- Godoy Fernández, C., "A los pies del templo. Espacios litúrgicos en contraposición al altar: una revisión", *Antigüedad Cristiana* 21, 473-89, 2004
- Krupp E.C., *Echoes of the Ancient Skies*, Harper & Row, Nueva York, 1983 • Krupp E.C., *En busca de las antiguas astronomías*, Pirámide, Barcelona, 1989.
- Krupp E.C., *Beyond the Blue Horizon*, Oxford University Press, Oxford, 1991
- McCluskey, S.C., *Astronomies and cultures in early Medieval Europe*. Cambridge University Press. Cambridge, 1998.
- McCluskey, S.C., "Astronomy, Time, and Churches in the Early Middle Ages", in
- M.-T. Zenner, Villard's legacy: Studies in Medieval Technology, Science and Art in Memory of Jean Gimpel. Ashgate, Aldeshot: 197-210, 2004
- McCluskey, S.C., "Calendric cycles, the eighth day of the World and the orientation of English Churches", en C. Ruggles and G. Urton (eds.), *Skywatching in the Ancient World, New Perspectives in Cultural Astronomy*, 331-353. University Press of Colorado. Bolder, 2010.
- Pérez-Valcárcel, J., "La orientación de las iglesias románicas del Camino de Santiago", en F. Bores, J. Fernández, S. Huerta, E. Rabasa, *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. La Coruña, Servicio de Publicaciones Universidad de La Coruña: 391-396, 1998.
- Ruggles, C.L.N., "Whose equinox?" *Archaeoastronomy* 22:S45-50, 1999.
- Vogel, C., "Sol aequinoctialis. Problemes et technique de l'orientation dans le 15 culture chretien". *Revue Sciences Religieuses*36, 175-211, 1962.

OBSERVASI ASTRONOMI PADA MASA PANDEMI

Robiatul Muztaba, Hakim L. Malasan

Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan,
Observatorium Astronomi ITERA Lampung, Institut Teknologi
Sumatera, Lampung, Indonesia

PENDAHULUAN

Astronomi dianggap sebagai salah satu ilmu tertua dengan dengan berbagai terapan prakteknya, dari mulai kepercayaan nenek moyang, navigasi, pertanian, prakiraan cuaca hingga memperhitungkan kalender berdasarkan pengamatan matahari, bulan, bintang dan planet. Astronomi selalu berkembang seiring kemajuan teknologi berupaya menjawab pertanyaan tentang awal, arah, dan akhir jagat raya kita. Tantangan bagi tenaga pengajar harus mau mengikuti informasi-informasi tentang perkembangan sains. Tentu dengan tujuan untuk memperkaya kreativitas dan keterampilan yang dapat meningkatkan minat siswanya untuk mempelajari sains. Pada umumnya masyarakat di Indonesia jika berkaitan dengan kegiatan astronomi akan mengingat istilah Observatorium. Observatorium merupakan laboratorium praktek bagi seorang astronom untuk mempelajari benda – benda langit. Seiring perkembangan jaman, saat ini bukan hanya para astronom saja yang dapat melihat keindahan langit menggunakan teleskop, namun masyarakat umum pun banyak yang memiliki ketertarikan terhadap benda - benda langit.

Oleh karena itu, observatorium saat ini juga dapat digunakan untuk pelayanan publik mengedukasi masyarakat melalui pengamatan-pengamatan bersama dengan para astronom. Namun saat masa *pandemic covid-19* kegiatan yang sifatnya mengumpulkan orang banyak tentu terbatas bahkan hampir tidak dibuka sama sekali untuk melakukan kegiatan astronomi yang sifatnya pelayanan publik, para astronom tentu saja tetap bekerja seperti biasa. Bab ini akan membahas bagaimana kita tetap bisa melakukan kegiatan astronomi selama masa *pandemic covid-19*. Namun untuk melakukan Langkah observasi, anda dianggap sudah memahami materi di bab – bab sebelumnya misalnya terkait koordinat posisi, besaran jarak, kecerlangan bintang atau magnitude, dan spektrum bintang. Hal ini akan memudahkan anda untuk melakukan observasi dikemudian hari. Penasaran? Yuk kita melangkah ke bagian selanjutnya.

MENGENAL INSTRUMENTASI ASTRONOMI

Alat – alat astronomi saat ini bukan lagi sesuatu alat yang mahal dan hanya dapat dilakukan oleh para astronom profesional. Astronomi di Indonesia justru berkembang luas di masyarakat karena upaya dari banyaknya kegiatan – kegiatan astronomi yang dilakukan oleh astronom amatir. Astronom

professional adalah individu atau kelompok yang memiliki latar belakang dan bekerja dibidang astronomi, sedangkan astronom amatir adalah individu atau kelompok orang yang memiliki hobi atau kesenangan terhadap objek – objek astronomi. Anda dapat melihat banyak koleksi atau kumpulan foto – foto objek langit yang cantik dan menawan. Disadari atau tidak ternyata banyaknya foto – foto objek langit yang cantik dan menawan tersebut adalah hasil karya dari observasi astronom amatir. Untuk melakukan observasi objek-objek langit terdapat beberapa istilah instrumentasi yang mesti kita kenal yaitu kolektor, analisator, dan detektor.

Kolektor terdiri dari teleskop yang memiliki banyak jenis desain penjalaran optiknya dari yang paling sederhana yaitu refraktor, reflektor, dan gabungan keduanya atau katadioptrik (Smicht-Cessegrain, dll). Pada umumnya teleskop juga didukung oleh sistem penggerak yaitu *Mounting*. *Mounting* memiliki 2 jenis model yaitu *alt-azimut* dan *equatorial*.

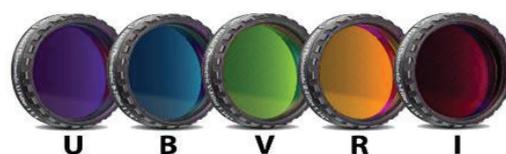


Gambar 1. Teleskop



Gambar 2. Mounting

Analisisator terdiri dari alat pendukung lainnya seperti Jenis analisisator misalnya: filter, polarisator, dan spektrograf yang berfungsi untuk memilih informasi yang kita inginkan. Misalnya filter untuk meningkatkan kontras warna antara objek dan latar belakangnya sesuai dengan panjang gelombangnya misalnya filter UBVRI, dan Filter RGB, dan spektrograf untuk memecah gelombang cahaya menjadi spektrum.



Gambar 3. Filter UBVRI

PERSIAPAN OBSERVASI

Sebelum melakukan kegiatan observasi alangkah baiknya kita mengenal bagian – bagian dari sistem pengamatan astronomi. Anda dapat melihat gambar 8. Untuk mengetahui seluruh bagian pada sistem pengamatan astronomi. Selanjutnya anda dapat mulai merakit teleskop yang akan anda gunakan. Pada dasarnya anda dapat memulai pemasangan dari bagian paling bawah yaitu kaki-kaki penyangga seperti monopod atau tripod, kemudian *mounting* sebagai sistem penggerak, dan teleskopnya, selebihnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan, misalnya pemasangan kamera, dll. Setelah semua bagian-bagiannya terpasang anda dapat langsung melakukan kalibrasi sistem teleskop anda. Seperti kalibrasi keseimbangan gerak (balancing), dan kalibrasi akurasi arah gerak (Alignment). Balancing dapat anda lakukan dengan cara menyeimbangkan antara berat teleskop beserta alat pendukung lainnya (lensa diagonal, eyepiece, filter, filterwheel, kamera, dll) dengan berat bandul yang digunakan. Sedangkan alignment dapat anda lakukan dengan cara mengetahui koordinat posisi pengamat dengan koordinat bintang target kalibrasi. Untuk koordinat posisi pengamat anda dapat menyesuaikan dengan posisi anda yaitu arah ke utara atau ke selatan. Hal ini akan mempengaruhi bintang target mana yang akan anda pilih sebagai target kalibrasi bintang-bintang di belahan langit utara atau bintang-bintang yang berada di belahan langit selatan. Sebagai ilustrasi anda dapat melihat gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 4. Filter LRGB

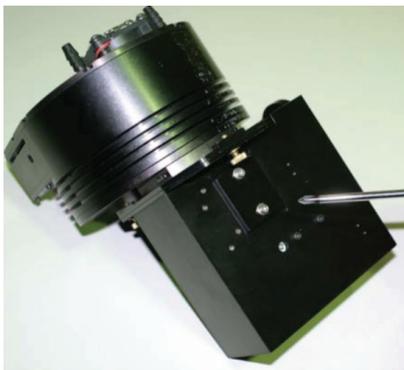
Detektor terdiri dari kamera yang berfungsi untuk menangkap cahaya dan mengkonversinya menjadi sebuah gambar misalnya kamera DSLR, CMOS, dan CCD



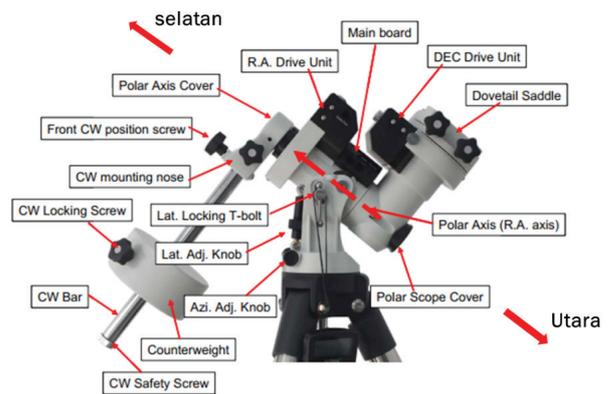
Gambar 5. Kamera DSLR



Gambar 6. Kamera CMOS



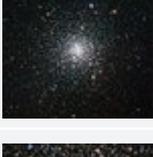
Gambar 7. Kamera CCD

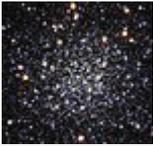
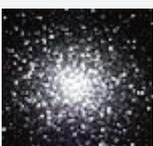
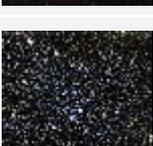


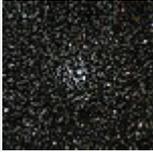
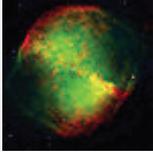
Gambar 8. Sistem penggerak dengan kalibrasi posisi di lampung dengan latitude sekitar 5.3 derajat

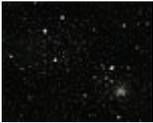
Selanjutnya anda sudah dapat melakukan observasi. Pilihlah objek yang mau anda amati. Misalnya objek planet seperti Jupiter, Saturnus, Mars, dan objek gugus bintang. Berikut adalah tabel beberapa gugus bintang yang mudah diamati,

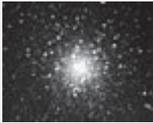
Tabel 1. Objek gugus bintang yang menarik menjadi target observasi (https://en.wikipedia.org/wiki/Messier_object)

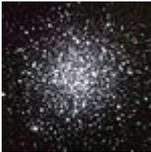
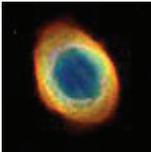
Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensio rekta	Deklinasi
M1 ^[17]	NGC 1952	Crab Nebula		8.4	05 ^h 34 ^m 31.94 ^s	+22° 00' 52.2"
M2 ^[18]	NGC 7089	–		6.3	21 ^h 33 ^m 27.02 ^s	-00° 49' 23.7"
M3 ^[19]	NGC 5272	–		6.2	13 ^h 42 ^m 11.62 ^s	+28° 22' 38.2"
M4 ^[20]	NGC 6121	–		5.9	16 ^h 23 ^m 35.22 ^s	-26° 31' 32.7"
M5 ^[21]	NGC 5904	–		6.7	15 ^h 18 ^m 33.22 ^s	+02° 04' 51.7"
M6 ^[22]	NGC 6405	Butterfly Cluster		4.2	17 ^h 40.1 ^m	-32° 13'
M7 ^[23]	NGC 6475	Ptolemy Cluster		3.3	17 ^h 53 ^m 51.2 ^s	-34° 47' 34"
M8 ^[24]	NGC 6523	Lagoon Nebula		6.0	18 ^h 03 ^m 37 ^s	-24° 23' 12"
M9 ^[25]	NGC 6333	–		8.4	17 ^h 19 ^m 11.78 ^s	-18° 30' 58.5"
M10 ^[26]	NGC 6254	–		6.4	16 ^h 57 ^m 8.92 ^s	-04° 05' 58.07"
M11 ^[27]	NGC 6705	Wild Duck Cluster		6.3	18 ^h 51.1 ^m	-06° 16'

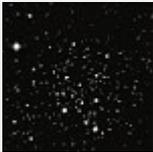
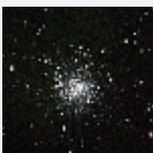
Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensiorekta	Deklinasi
M12 ^[28]	NGC 6218	-		7.7	16 ^h 47 ^m 14.18 ^s	-01° 56' 54.7"
M13 ^[29]	NGC 6205	Great Globular Cluster in Hercules		5.8	16 ^h 41 ^m 41.24 ^s	+36° 27' 35.5"
M14 ^[30]	NGC 6402	-		8.3	17 ^h 37 ^m 36.15 ^s	-03° 14' 45.3"
M15 ^[31]	NGC 7078	-		6.2	21 ^h 29 ^m 58.33 ^s	+12° 10' 01.2"
M16 ^[32]	NGC 6611	Eagle Nebula		6.0	18 ^h 18 ^m 48 ^s	-13° 49'
M17 ^[33]	NGC 6618	Omega, Swan, Horseshoe, or Lobster Nebula		6.0	18 ^h 20 ^m 26 ^s	-16° 10' 36"
M18 ^[34]	NGC 6613	-		7.5	18 ^h 19.9 ^m	-17° 08'
M19 ^[35]	NGC 6273	-		7.5	17 ^h 02 ^m 37.69 ^s	-26° 16' 04.6"
M20 ^[36]	NGC 6514	Trifid Nebula		6.3	18 ^h 02 ^m 23 ^s	-23° 01' 48"
M21 ^[37]	NGC 6531	-		6.5	18 ^h 04.6 ^m	-22° 30'

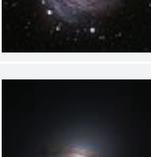
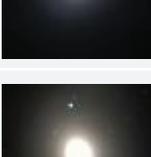
Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensio rekta	Deklinasi
M22 ^[38]	NGC 6656	Sagittarius Cluster		5.1	18 ^h 36 ^m 23.94 ^s	-23° 54' 17.1"
M23 ^[39]	NGC 6494	-		6.9	17 ^h 56.8 ^m	-19° 01'
M24 ^[40]	IC 4715	Small Sagittarius Star Cloud		2.5	18 ^h 17 ^m	-18° 33'
M25 ^[41]	IC 4725	-		4.6	18 ^h 31.6 ^m	-19° 15'
M26 ^[42]	NGC 6694	-		8.0	18 ^h 45.2 ^m	-09° 24'
M27 ^[43]	NGC 6853	Dumbbell Nebula		7.5	19 ^h 59 ^m 36.340 ^s	+22° 43' 16.09"
M28 ^[44]	NGC 6626	-		7.7	18 ^h 24 ^m 32.89 ^s	-24° 52' 11.4"
M29 ^[45]	NGC 6913	Cooling Tower		7.1	20 ^h 23 ^m 56 ^s	+38° 31' 24"
M30 ^[46]	NGC 7099	-		7.7	21 ^h 40 ^m 22.12 ^s	-23° 10' 47.5"
M31 ^[47]	NGC 224	Andromeda Galaxy		3.4	00 ^h 42 ^m 44.3 ^s	+41° 16' 9"
M32 ^[48]	NGC 221	-		8.1	00 ^h 42 ^m 41.8 ^s	+40° 51' 55"

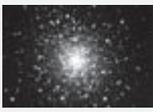
Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensiorekta	Deklinasi
M33 ^[49]	NGC 598	Triangulum Galaxy		5.7	01 ^h 33 ^m 50.02 ^s	+30° 39' 36.7"
M34 ^[50]	NGC 1039	–		5.5	02 ^h 42.1 ^m	+42° 46'
M35 ^[51]	NGC 2168	–		5.3	06 ^h 09.1 ^m	+24° 21'
M36 ^[52]	NGC 1960	–		6.3	05 ^h 36 ^m 12 ^s	+34° 08' 4"
M37 ^[53]	NGC 2099	–		6.2	05 ^h 52 ^m 18 ^s	+32° 33' 02"
M38 ^[54]	NGC 1912	Starfish Cluster		7.4	05 ^h 28 ^m 42 ^s	+35° 51' 18"
M39 ^[55]	NGC 7092	–		5.5	21 ^h 31 ^m 42 ^s	+48° 26' 00"
M40 ^[56]	–	Winnecke 4		9.7	12 ^h 22 ^m 12.5 ^s	+58° 4' 59"
M41 ^[57]	NGC 2287	–		4.5	06 ^h 46.0 ^m	-20° 46'
M42 ^[58]	NGC 1976	Orion Nebula		4.0	05 ^h 35 ^m 17.3 ^s	-05° 23' 28"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensiorekta	Deklinasi
M43 ^[59]	NGC 1982	De Mairan's Nebula		9.0	05 ^h 35.6 ^m	-05° 16'
M44 ^[60]	NGC 2632	Beehive Cluster or Praesepe		3.7	08 ^h 40.4 ^m	+19° 59'
M45 ^[61]	-	Pleiades		1.6	03 ^h 47 ^m 24 ^s	+24° 07' 00"
M46 ^[62]	NGC 2437	-		6.1	07 ^h 41.8 ^m	-14° 49'
M47 ^[63]	NGC 2422	-		4.2	07 ^h 36.6 ^m	-14° 30'
M48 ^[64]	NGC 2548	-		5.5	08 ^h 13.7 ^m	-05° 45'
M49 ^[65]	NGC 4472	-		9.4	12 ^h 29 ^m 46.7 ^s	+08° 00' 02"
M50 ^[66]	NGC 2323	-		5.9	07 ^h 03.2 ^m	-08° 20'
M51 ^[67]	NGC 5194, NGC 5195	Whirlpool Galaxy		8.4	13 ^h 29 ^m 52.7 ^s	+47° 11' 43"
M52 ^[68]	NGC 7654	-		5.0	23 ^h 24.2 ^m	+61° 35'
M53 ^[69]	NGC 5024	-		8.3	13 ^h 12 ^m 55.25 ^s	+18° 10' 05.4"
M54 ^[70]	NGC 6715	-		8.4	18 ^h 55 ^m 03.33 ^s	-30° 28' 47.5"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensiorekta	Deklinasi
M55 ^[71]	NGC 6809	-		7.4	19 ^h 39 ^m 59.71 ^s	-30° 57' 53.1"
M56 ^[72]	NGC 6779	-		8.3	19 ^h 16 ^m 35.57 ^s	+30° 11' 00.5"
M57 ^[73]	NGC 6720	Ring Nebula		8.8	18 ^h 53 ^m 35.079 ^s	+33° 01' 45.03"
M58 ^[74]	NGC 4579	-		10.5	12 ^h 37 ^m 43.5 ^s	+11° 49' 05"
M59 ^[75]	NGC 4621	-		10.6	12 ^h 42 ^m 02.3 ^s	+11° 38' 49"
M60 ^[76]	NGC 4649	-		9.8	12 ^h 43 ^m 39.6 ^s	+11° 33' 09"
M61 ^[77]	NGC 4303	-		10.2	12 ^h 21 ^m 54.9 ^s	+04° 28' 25"
M62 ^[78]	NGC 6266	-		7.4	17 ^h 01 ^m 12.60 ^s	-30° 06' 44.5"
M63 ^[79]	NGC 5055	Sunflower Galaxy		9.3	13 ^h 15 ^m 49.3 ^s	+42° 01' 45"
M64 ^[80]	NGC 4826	Black Eye Galaxy		9.4	12 ^h 56 ^m 43.7 ^s	+21° 40' 58"
M65 ^[81]	NGC 3623	Leo Triplet		10.3	11 ^h 18 ^m 55.9 ^s	+13° 05' 32"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensio rekta	Deklinasi
M66 ^[82]	NGC 3627	Leo Triplet		8.9	11 ^h 20 ^m 15.0 ^s	+12° 59' 30"
M67 ^[83]	NGC 2682	-		6.1	08 ^h 51.3 ^m	+11° 49'
M68 ^[84]	NGC 4590	-		9.7	12 ^h 39 ^m 27.98 ^s	-26° 44' 38.6"
M69 ^[85]	NGC 6637	-		8.3	18 ^h 31 ^m 23.10 ^s	-32° 20' 53.1"
M70 ^[86]	NGC 6681	-		9.1	18 ^h 43 ^m 12.76 ^s	-32° 17' 31.6"
M71 ^[87]	NGC 6838	-		6.1	19 ^h 53 ^m 46.49 ^s	+18° 46' 45.1"
M72 ^[88]	NGC 6981	-		9.4	20 ^h 53 ^m 27.70 ^s	-12° 32' 14.3"
M73 ^[89]	NGC 6994	-		9.0	20 ^h 58 ^m 54 ^s	-12° 38'
M74 ^[90]	NGC 628	Phantom Galaxy ^[91]		10.0	01 ^h 36 ^m 41.8 ^s	+15° 47' 01"
M75 ^[92]	NGC 6864	-		9.2	20 ^h 06 ^m 04.75 ^s	-21° 55' 16.2"
M76 ^[93]	NGC 650, NGC 651	Little Dumbbell Nebula		10.1	01 ^h 42.4 ^m	+51° 34' 31"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensio rekta	Deklinasi
M77 ^[94]	NGC 1068	Cetus A		9.6	02 ^h 42 ^m 40.7 ^s	-00° 00' 48"
M78 ^[95]	NGC 2068	-		8.3	05 ^h 46 ^m 46.7 ^s	+00° 00' 50"
M79 ^[96]	NGC 1904	-		8.6	05 ^h 24 ^m 10.59 ^s	-24° 31' 27.3"
M80 ^[97]	NGC 6093	-		7.9	16 ^h 17 ^m 02.41 ^s	-22° 58' 33.9"
M81 ^[98]	NGC 3031	Bode's Galaxy		6.9	09 ^h 55 ^m 33.2 ^s	+69° 3' 55"
M82 ^[99]	NGC 3034	Cigar Galaxy		8.4	09 ^h 55 ^m 52.2 ^s	+69° 40' 47"
M83 ^[100]	NGC 5236	Southern Pinwheel Galaxy		7.5	13 ^h 37 ^m 00.9 ^s	-29° 51' 57"
M84 ^[101]	NGC 4374	-		10.1	12 ^h 25 ^m 03.7 ^s	+12° 53' 13"
M85 ^[102]	NGC 4382	-		10.0	12 ^h 25 ^m 24.0 ^s	+18° 11' 28"
M86 ^[103]	NGC 4406	-		9.8	12 ^h 26 ^m 11.7 ^s	+12° 56' 46"
M87 ^[104]	NGC 4486	Virgo A		9.6	12 ^h 30 ^m 49.42338 ^s	+12° 23' 28.0439"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensio rekta	Deklinasi
M88 ^[105]	NGC 4501	-		10.4	12 ^h 31 ^m 59.2 ^s	+14° 25' 14"
M89 ^[106]	NGC 4552	-		10.7	12 ^h 35 ^m 39.8 ^s	+12° 33' 23"
M90 ^[107]	NGC 4569	-		10.3	12 ^h 36 ^m 49.8 ^s	+13° 09' 46"
M91 ^[108]	NGC 4548	-		11.0	12 ^h 35 ^m 26.4 ^s	+14° 29' 47"
M92 ^[109]	NGC 6341	-		6.3	17 ^h 17 ^m 07.39 ^s	+43° 08' 09.4"
M93 ^[110]	NGC 2447	-		6.0	07 ^h 44.6 ^m	-23° 52'
M94 ^[111]	NGC 4736	Croc's Eye or Cat's Eye		9.0	12 ^h 50 ^m 53.1 ^s	+41° 07' 14"
M95 ^[112]	NGC 3351	-		11.4	10 ^h 43 ^m 57.7 ^s	+11° 42' 14"
M96 ^[113]	NGC 3368	-		10.1	10 ^h 46 ^m 45.7 ^s	+11° 49' 12"
M97 ^[114]	NGC 3587	Owl Nebula		9.9	11 ^h 14 ^m 47.734 ^s	+55° 01' 08.50"
M98 ^[115]	NGC 4192	-		11.0	12 ^h 13 ^m 48.292 ^s	+14° 54' 01.69"

Nomor Messier	Nomor NGC/IC	Nama Umum	Citra	Magnitudo Nampak	Asensiorekta	Deklinasi
M99 ^[116]	NGC 4254	-		10.4	12 ^h 18 ^m 49.6 ^s	+14° 24' 59"
M100 ^[117]	NGC 4321	-		10.1	12 ^h 22 ^m 54.9 ^s	+15° 49' 21"
M101 ^[118]	NGC 5457	Pinwheel Galaxy		7.9	14 ^h 03 ^m 12.6 ^s	+54° 20' 57"
M102 ^[119]	NGC 5866	Spindle Galaxy		10.7	15 ^h 06 ^m 29.5 ^s	+55° 45' 48"
M103 ^[120]	NGC 581	-		7.4	01 ^h 33.2 ^m	+60° 42'
M104 ^[121]	NGC 4594	Sombrero Galaxy		9.0	12 ^h 39 ^m 59.4 ^s	-11° 37' 23"
M105 ^[122]	NGC 3379	-		10.2	10 ^h 47 ^m 49.6 ^s	+12° 34' 54"
M106 ^[123]	NGC 4258	-		9.1	12 ^h 18 ^m 57.5 ^s	+47° 18' 14"
M107 ^[124]	NGC 6171	-		8.9	16 ^h 32 ^m 31.86 ^s	-13° 03' 13.6"
M108 ^[125]	NGC 3556	-		10.7	11 ^h 11 ^m 31.0 ^s	+55° 40' 27"
M109 ^[126]	NGC 3992	-		10.6	11 ^h 57 ^m 36.0 ^s	+53° 22' 28"
M110 ^[127]	NGC 205	-		9.0	00 ^h 40 ^m 22.1 ^s	+41° 41' 07"

PRAKTEK OBSERVASI

Akhirnya kita sampai pada tujuan akhir terkait bab ini. Anda diminta untuk melakukan observasi dan melaporkan kegiatan hasil observasi anda. Dalam melakukan praktek observasi, kemampuan teknologi teleskop pun dapat mempengaruhi kinerja dan hasil yang diharapkan. Anda tidak dapat membandingkan hasil pengamatan teleskop landas bumi dengan teleskop luar angkasa. Tentu hasilnya akan berbeda, mengapa demikian? Tentu dari sisi pengamatan landas bumi kita akan terganggu pada keadaan atmosfer, polusi cahaya, dll. Sedangkan pengamatan luar angkasa dapat mengabaikan gangguan tersebut.

Sekarang asumsikan kita benar-benar melakukan observasi dengan teleskop landas bumi. Anda dapat memilih jenis *mounting* sesuai kebutuhan anda, bisa yang otomatis dengan menyambungkannya melalui laptop atau komputer, atau juga jenis *mounting* penggerak manual. Kemudian anda membutuhkan minimal 2 buah kamera, masing – masing berfungsi untuk merekam objek atau hasil observasi anda dan sebuah kamera yang dikhususkan untuk merekam kegiatan anda selama melakukan pengamatan. Hal ini untuk membuat peserta lainya dapat membayangkan dan merasakan apapun yang sedang Anda lakukan selama dalam kegiatan observasi benda langit.

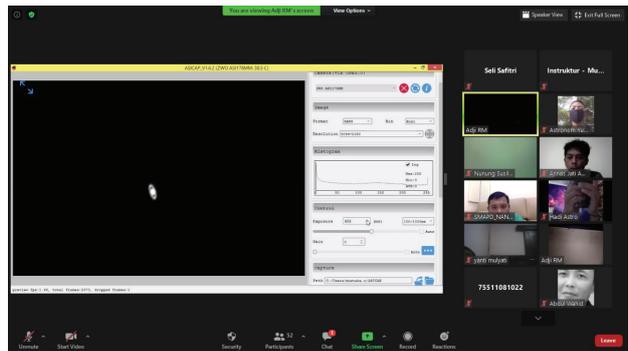
Untuk keperluan otomatisasi teleskop anda. Anda diharuskan untuk menginstall beberapa program pendukung seperti gambar 9. Pertama adalah perangkat lunak Cartes du Ciel. Cartes du Ciel adalah perangkat lunak gratis yang akan anda gunakan sebagai peta langit berdasarkan koordinat benda-benda langit. Perangkat ini dapat digunakan untuk Linux, macOS, dan Windows. Kedua adalah perangkat lunak ASCOM. ASCOM (singkatan untuk AStroNomy Common Object Model) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menyediakan antarmuka standar ke berbagai peralatan astronomi termasuk *mounting*, pemfokus, dan kamera. Ketiga adalah perangkat lunak tambahan bergantung pada jening *mounting* yang akan digunakan, karena dalam panduan ini *mounting* yang digunakan adalah loptron ZEQ 25, maka perlu untuk install perangkat lunak ini, dan konektor RS232. Namun, pada beberapa kasus *mounting* tidak membutuhkan konektor ini. Setelah berhasil menginstall semua perangkat lunak tersebut, Anda dapat menggerakkan teleskop Anda dengan menggunakan remot, dan membutuhkan media live sharing seperti Zoom, Google Classroom, dll. Selamat mencoba.



Gambar 10. Tampilan teleskop untuk praktek observasi astronomi.



Gambar 11. Objek planet saturnus yang kita lihat dengan menggunakan stellarium.



Gambar 12. Objek planet saturnus yang kita lihat dengan menggunakan teleskop secara daring.

SEMI-AUTOMATIC TELESCOPE

Mengoperasikan telescope menggunakan software pendukung

Cartes du Ciel



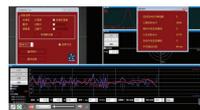
<https://www.ap1.net/skychar/enu/start>

ASCOM Standards for Astronomy



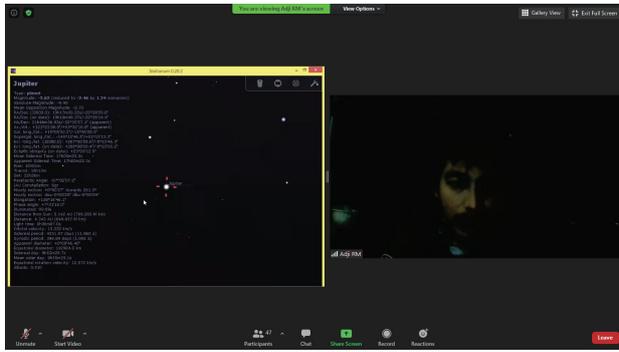
<https://ascom-standards.org/index.htm>

Assesoris Tambahan: Connector RS232

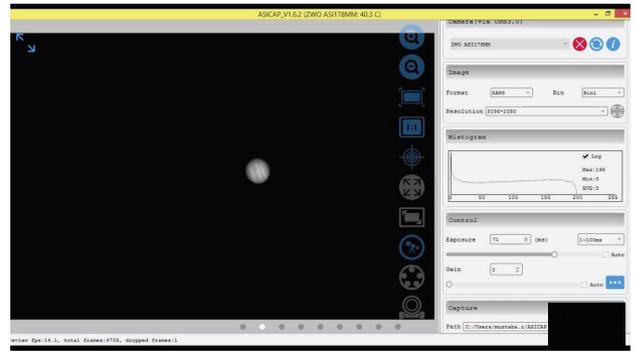


<https://www.loptron.com/Articles.asp?ID=295>

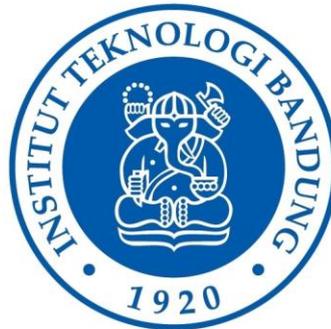
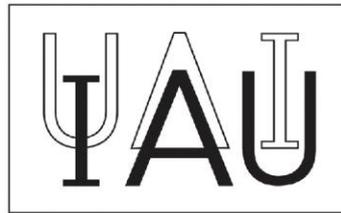
Gambar 9. Cartes du Ciel, Ascom, dan loptron untuk penggerak *mounting*, serta RS232 yang digunakan sebagai konektor program Cartes du Ciel dan Ascom dengan software pendukung *mounting*.



Gambar 13. Objek planet Jupiter yang kita lihat dengan menggunakan stellarium.



Gambar 14. Objek planet Jupiter yang kita lihat dengan menggunakan teleskop.



ITERA  **PRESS**

Institut Teknologi Sumatera (ITERA) Press
Jl. Terusan Ryacudu, Wai Hui Kec. Jati Agung Lampung Selatan 35365
Email: press@itera.ac.id

ISBN 978-623-99639-1-0 (PDF)

