

BAB II

Astronomi dan Kemanusiaan: Seberapa Jauh Mereka Terkait?

*Agustinus Gunawan Admiranto, Ferdhiansyah Noor, Elyyani, &
Siti Maryam*

Sejak zaman dahulu langit malam selalu memesona manusia. Mereka mendapatkan inspirasi tentang eksistensi, asal dan tujuan mereka, serta bagaimana mereka menjalani kehidupan sehari-hari. Astronomi merupakan ilmu tertua yang dikenal manusia. Ilmu ini ikut berjasa dalam pengembangan ilmu-ilmu lain, seperti matematika, navigasi, dan pengembangan kalender.

Meskipun demikian, masih banyak orang yang kurang memahami bahwa astronomi itu cukup besar dampaknya bagi kehidupan manusia. Masih ada yang bertanya-tanya, untuk apa belajar astronomi, apa guna astronomi bagi kehidupan sehari-hari, dan untuk apa menghabiskan sekian banyak dana untuk membangun berbagai peralatan pengamatan bintang, sedangkan masih banyak orang miskin yang membutuhkan berbagai kebutuhan primer. Tulisan ini menguraikan

A. G. Admiranto, F. Noor, Elyyani, & S. Maryam

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: gunawan.admiranto@gmail.com

© 2025 Editor & Penulis

Admiranto, A. G., Noor, F., Elyyani, & Maryam, S. (2025). Astronomi dan Kemanusiaan: Seberapa Jauh Mereka Terkait? Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan (21–61). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1592.c1496, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

seberapa jauh astronomi memberikan dampak pada kehidupan manusia, pengaruh yang diberikannya, serta sumbangan apa yang diberikannya pada pemikiran manusia tentang alam semesta.

A. Perkembangan Awal Astronomi

Berbagai peradaban kuno sudah mengembangkan pemahaman mereka tentang langit dan pergerakan benda-benda langit. Bangsa-bangsa Babilonia, Mesir, Assiria, dan Yunani sudah mulai mengembangkan teori-teori tentang struktur alam semesta dan pergerakan benda-benda langit yang mereka amati. Pengetahuan mereka menjadi landasan pengetahuan manusia tentang alam semesta.

Bangsa Babilonia mencatat pengetahuan mereka tentang astronomi pada kepingan-kepingan tanah liat dalam bentuk huruf paku. Naskah tertua yang sudah ditemukan bernama *Enuma Anu Enlil* menguraikan tentang pergerakan planet-planet dan bintang-bintang, serta peta langit (Munitz, 1957). Bangsa Mesir Kuno menyesuaikan posisi piramida yang mereka bangun dengan posisi bintang-bintang di langit (Orion) yang mencerminkan kepercayaan mereka tentang hubungan antara fenomena yang berlangsung di permukaan Bumi dan fenomena langit (Ruggles, 2015).

Saat itu sebagian besar manusia masih percaya bahwa Bumi adalah pusat alam semesta, seperti yang diuraikan Ptolomeus dalam karyanya, meskipun ada juga yang berpendapat bahwa Bumi bukan pusat alam semesta, seperti yang diutarakan Aristarchus (Wilson, 1997). Pandangan tentang Bumi sebagai pusat alam semesta menjadi cukup dominan sampai Abad Pertengahan ketika Copernicus mengusulkan hipotesis heliosentris di mana Matahari adalah pusat alam semesta (Freely, 2014).

Sejak zaman Copernicus, astronomi makin berkembang dan seiring dengan penggunaan teleskop untuk mengamati bintang, astronomi menjadi salah satu bidang ilmu yang tidak hanya berdasarkan spekulasi ilmiah atau pemikiran teoretis, tetapi juga dilandaskan pada pengamatan lapangan. Teleskop ditambah dengan berbagai peralatan

pendukung, seperti spektrograf dan alat perekam cahaya bintang membuat ilmu astronomi ini makin cepat berkembang.

Pada abad ke-20-21 astronomi maju makin pesat dengan makin berkembangnya teknologi pengamatan antariksa. Hal ini ditambah dengan berbagai peralatan pengamatan (teleskop) yang khusus diluncurkan ke ruang angkasa untuk mengamati orbit Bumi. Peralatan tersebut antara lain, seperti teleskop Hubble dan Solar Dynamics Observatory (SDO, Observatorium Dinamika Surya). Ekspedisi ruang angkasa menggunakan wahana-wahana berawak dan tak berawak juga makin memperluas pengetahuan manusia tentang alam semesta dan mendorong manusia untuk berupaya lebih jauh mempelajari alam semesta.

B. Pengaruh Astronomi pada Sains dan Teknologi

Pengamatan astronomi adalah kegiatan ilmiah yang unik, jarang padanannya di bidang ilmu lain. Para pengamat hanya bisa mengamati objek-objek tersebut, mereka tidak bisa melakukan eksperimen padanya. Selain itu, objek-objek astronomi adalah objek yang ekstrem bila dibandingkan objek-objek lain yang biasa diamati di sekitar kita. Misalnya di sini ada objek yang sangat lemah pancaran cahayanya sehingga diperlukan peralatan yang bisa menerima pancaran cahaya tersebut dan cahayanya dapat dianalisis. Di lain pihak, ada juga objek astronomi yang sangat kuat pancaran cahayanya, seperti Matahari sehingga perlu ada tindakan khusus untuk meredam cahaya yang datang agar analisisnya bisa lebih mudah. Kondisi ekstrem yang lain misalnya adalah temperatur yang sangat rendah di ruang antarplanet atau temperatur yang sangat tinggi pada inti Matahari (belasan juta derajat Celsius) (Phillips, 1992). Contoh lain, misalnya adalah kerapatan materi yang sangat rendah di ruang antarbintang atau kerapatan yang sangat tinggi pada bintang katai putih atau bintang netron yang memerlukan analisis fisis yang berbeda dengan materi yang biasa kita temui. Jarak antar-objek langit dan jarak objek-objek langit dengan kita yang sangat besar membuat para astronom menemukan cara baru untuk mengukur jarak tersebut. Beberapa metode pengukurannya

menggunakan metode, seperti paralaks trigonometri, paralaks spektroskopik, dan penggunaan obyek-obyek yang memiliki periodisitas tertentu (Pasachoff, 1977). Kondisi-kondisi ekstrem seperti yang disebutkan di atas selanjutnya menantang para astronom dan perancang peralatan pengamatan astronomi beserta aksesorisnya untuk memikirkan teori baru tentang astronomi atau membuat berbagai peralatan yang bisa mengamati objek-objek ekstrem tersebut.

1. Perkembangan Awal Teknologi Pengamatan Astronomi

Masyarakat zaman dahulu sudah menyadari tentang adanya keteraturan dalam pergerakan dan dinamika benda-benda langit. Mereka lalu sadar bahwa keteraturan ini bisa dijadikan dasar untuk mengamati pergerakan waktu, navigasi, dan pertanian. Oleh sebab itu, dibuatlah berbagai alat yang dapat digunakan untuk memudahkan mereka dalam mencapai tujuan-tujuan tersebut di atas.

Bangsa Yunani Kuno, Persia, dan Mesir merancang astrolabe (Gambar 2.1)—alat untuk menentukan posisi bintang—dan jam Matahari untuk menentukan posisi bintang dan berjalannya waktu (Ruggles, 2015). Dua hal ini sangat penting untuk kegiatan navigasi dan perkembangan kalender. Tak kalah penting adalah dibuatnya bangunan-bangunan megalitik, seperti Stonehenge di Inggris dan piramida di Mesir yang dikaitkan dengan berbagai fenomena astronomi (Wilson, 1997). Selanjutnya, para astronom Timur Tengah, seperti Al-Biruni dan Nasir Al-Din Al-Tusi menyempurnakan pembuatan astrolabe sehingga pengamatan astronomi makin akurat dan hal ini juga didukung dengan dibangunnya observatorium pengamatan bintang seperti Observatorium Maragheh (Blake, 2015).



Keterangan: Museum Sains, London

Sumber: London Science Museum (2023).

Gambar 2.1. Astrolabe Persia

Langkah penting selanjutnya yang kemudian menghasilkan revolusi dalam astronomi adalah penemuan teleskop oleh Hans Lippersey yang kemudian disempurnakan oleh Galileo Galilei (Chapman, 2014). Penyempurnaan ini menjadi bukti tentang hipotesis heliosentrik dan mendorong inovasi dalam dunia optika. Peralatan-peralatan astronomi makin disempurnakan, terutama yang terkait dengan perhitungan waktu, dan akhirnya terciptalah kronometer oleh John Harrison (seorang tukang kayu dan pembuat jam otodidak asal Inggris), yang sangat penting dalam penentuan posisi bujur di lautan (Langone, 2000). Oleh karena itu, bukan kebetulan kalau Inggris sangat menguasai lautan dalam abad-abad 16–18.

2. Teleskop, Detektor, dan Pengolahan Data Astronomi

Upaya menangkap pancaran radiasi objek-objek yang sangat lemah membuat para astronom dan perancang teleskop untuk membuat teleskop yang makin canggih dan detektor yang makin peka dalam

menangkap radiasi yang sangat lemah dari objek-objek langit yang mereka amati. Di sini makin besar diameter teleskop maka makin mampu melihat objek yang sangat lemah pancaran cahayanya.

Dalam melakukan pengamatan benda langit, pada awalnya para astronom menggunakan teleskop bias yang merupakan gabungan lensa-lensa yang dipakai untuk mengumpulkan cahaya benda langit ke titik api sistem lensa tersebut. Makin besar diameter lensa teleskop ini, makin lemah cahaya bintang yang bisa diamati. Teleskop bias terbesar di dunia adalah refraktor di Observatorium Yerkes yang memiliki diameter 102 cm (Graham-Smith, 2016).



Sumber: [Wikimedia \(2006\)](#)

Gambar 2.2 Teleskop bias Observatorium Yerkes

Akan tetapi, untuk diameter yang lebih besar dari teleskop Yerkes ini (Gambar 2.2), teleskop bias sudah tidak lagi menjadi pilihan para astronom. Objektif yang dipasang pada teleskop hanya disangga oleh bagian dalam tabung teleskop itu. Semakin besar diameter lensa, semakin berat pula lensa itu dan akan cenderung untuk berubah bentuk. Akibatnya, mutu bayangan yang dihasilkannya menjadi tidak sempurna. Perubahan bentuk lensa ini disebabkan lensa yang terbuat dari gelas sebenarnya adalah cairan yang terlambat membeku sehingga apabila dipasang tegak, bagian yang terletak lebih tinggi akan cenderung “mengalir” ke bawah.

Kesulitan lain berkaitan dengan proses pembuatan lensa. Semakin besar ukuran lensa, semakin sulit pula membuat lensa yang benar-benar bebas dari gelembung-gelembung udara serta cukup homogen agar bayangan yang diambil dengan menggunakan teleskop ini tidak mengalami distorsi. Oleh sebab itu, para astronom lebih memilih teleskop pantul yang bisa memiliki diameter yang lebih besar daripada diameter lensa teleskop bias. Teleskop pantul terbesar yang ada sampai sekarang adalah Gran Telescopio Canarias yang ada di Observatorium Roque de los Muchachos di Pulau La Palma, Kepulauan Canary, Spanyol dengan diameter 104 cm (Bely, 2003). Para astronom bahkan merencanakan untuk membuat teleskop pantul yang lebih besar lagi diameternya, seperti *Extremely Large Telescope* (ELT) milik European Southern Observatory di Chili dengan diameter of 393 cm, *Giant Magellan Telescope* (GMT) di Chili dengan diameter 245 cm, dan *Thirty Meter Telescope* (TMT) yang akan dipasang di Mauna Kea, Hawaii dengan diameter 300 cm (McCray, 2004).

Sementara itu, untuk kegiatan penelitian astronomi, sampai sekarang Indonesia baru memiliki teleskop yang terdapat di Observatorium Bosscha, Lembang yang sudah beroperasi selama 90 tahun lebih. Teleskop itu adalah teleskop bias berdiameter 60 cm, dan teleskop pantul berdiameter 71 cm (Mumpuni et al., 2017). Lembang yang terletak berdekatan dengan kota Bandung telah mengalami polusi cahaya yang parah sehingga pengamatan astronomi tidak bisa berjalan secara optimal. Oleh karena itu, lalu dipikirkan untuk membangun

sebuah observatorium baru di tempat yang bebas dari polusi cahaya. Setelah dilakukan berbagai kajian, diputuskan untuk membangun sebuah observatorium tingkat nasional di Kupang, Nusa Tenggara Timur.

Dalam hubungan ini, Indonesia memiliki masalah kesenjangan kualitas sumber daya manusia antara Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur, kurangnya partisipasi Indonesia dengan dunia internasional dalam bidang astronomi, dan sedikitnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya lingkungan yang murni, bebas dari polusi, terutama polusi cahaya. Pembangunan fasilitas ini diharapkan dapat mengatasi masalah-masalah yang disebutkan di atas.

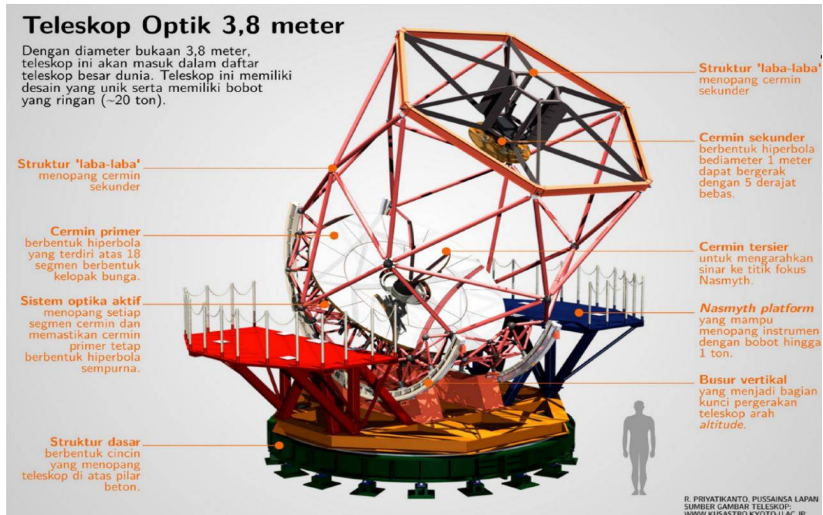
Fasilitas ini terletak di Amfoang Tengah, lereng gunung Timau pada posisi $9^{\circ}35'50",2$ LS, $123^{\circ} 56' 48",5$ BT dan berada pada ketinggian 1.300 meter di atas permukaan laut. Posisinya terletak di tengah hutan lindung dan pada lokasi yang cukup tinggi diharapkan bisa memberikan hasil yang optimal.



Sumber: Abdul Rachman (2025)

Gambar 2.3 Bangunan di Timau tempat diletakkannya teleskop utama berdiameter 380 cm.

Teleskop Timau ini adalah teleskop pantul yang tidak berupa satu buah cermin tunggal (Gambar 2.3 dan Gambar 2.4), tetapi tersusun dari 18 buah cermin independen yang digerakkan melalui sebuah sistem optika aktif. Delapan belas buah cermin ini secara bersama-sama dikendalikan sedemikian rupa sehingga akan menjadi satu sistem tunggal berbentuk hiperbola yang setara dengan sebuah cermin dengan diameter 380 cm.



Sumber: Badan Riset dan Inovasi Nasional (2023)

Gambar 2.4 Teleskop utama Observatorium Nasional Timau yang memiliki diameter 3,8 meter

Teleskop ini dilengkapi dengan kamera CCD serta spektrograf resolusi menengah yang dipakai untuk pengamatan galaksi dan ektragalaksi. Kamera yang digunakan berupa CCD ultrasensitif yang dilengkapi dengan filter pita lebar Bessel (UBVRI) dan Sloan (ugriz). Di samping teleskop 3,8 meter ini, terdapat juga teleskop survei dengan diameter 50 cm yang terdiri atas dua teleskop dengan diameter sama, tetapi dengan panjang fokus yang berbeda. Teleskop pertama dirancang untuk pengamatan survei yang memerlukan medan pandang yang luas, sedangkan teleskop kedua dipakai untuk

pengamatan yang lebih spesifik pada satu objek tertentu karena medan pandang teleskop ini lebih sempit. Teleskop kedua ini juga bisa digunakan untuk fotometri atau spektroskopi.

Teleskop canggih perlu dilengkapi dengan detektor yang canggih pula. Oleh sebab itu, para astronom merancang peralatan perekam cahaya yang diberi nama *charged coupled device* (CCD). Karena dirancang untuk merekam data pengamatan dari objek-objek yang sangat lemah cahayanya, maka peralatan ini harus memiliki kualitas setinggi-tingginya. Dari sini data yang diperoleh akan sangat membantu para astronom dalam melakukan analisis untuk mendukung teori yang mereka buat. Teknologi pembuatan teleskop dan kamera CCD (Gambar 2.5) yang dipakai para astronom itu akhirnya ada yang digunakan orang-orang yang bergerak di bidang lain untuk meningkatkan kualitas barang-barang yang mereka buat.



Sumber: Astroshop (t.t.)

Gambar 2.5. Kamera CCD (ZWO Optical ASI120MC Color CMOS camera)

Sebagai contoh, berbagai inovasi optika dalam pembuatan teleskop dipakai untuk meningkatkan kualitas pembuatan mikroskop sehingga meningkatkan resolusi mikroskop yang dipakai dalam dunia biologi dan ilmu material. Inovasi ini juga dipakai dalam teknologi pembuatan kacamata (Porter et al., 2006). Inovasi dalam pembuatan kamera CCD untuk astronomi selanjutnya juga diterapkan dalam

dunia medis, sebagai contoh kamera-kamera ini dipakai pada mesin-mesin MRI, pencitraan sinar X, serta berbagai peralatan medis lainnya. Inovasi dalam pencitraan cahaya yang sangat lemah dan yang beresolusi tinggi dalam kamera CCD juga dikembangkan dalam pembuatan kamera-kamera digital dan kamera video serta dalam pembuatan peralatan untuk melihat di dalam gelap yang banyak dipakai dalam dunia militer dan penegakan hukum (Holts, 1998).

Pengamatan objek langit menggunakan teleskop yang kemudian direkam menggunakan kamera CCD menghasilkan data yang sangat banyak. Sebagai contoh, data yang datang dari teleskop Hubble mencapai 10–15 gigabyte per hari yang setara dengan 2 DVD per hari (Fischer & Duerbeck, 1996), dari SDO mencapai 1 terabyte per hari yang setara dengan 319 DVD per hari (Chamberlin et al., 2012), dan dari teleskop James Webb mencapai 1–2 terabyte per hari yang setara dengan 426 DVD per hari (Thronson et al., 2009). Data yang begitu banyak ini tidak bisa ditangani secara biasa dan akhirnya berkembanglah berbagai teknik untuk mengolah data yang sangat banyak dengan perhitungan yang rumit (Thronson et al. 2009). Kemudian, teknik-teknik ini terus diterapkan pada berbagai bidang lain seperti keuangan, cuaca dan iklim dalam rangka membuat model prediksi dan analisis data. Di samping itu juga, algoritma pengolahan citra astronomi, seperti penghilangan derau, penumpukan gambar-gambar dan penajaman citra dipakai di fotografi, penginderaan jauh, dan pencitraan medis (Škoda & Fathalrahman, 2020).

Pengamatan astronomi tidak hanya berlangsung pada panjang gelombang optik, tetapi juga pada panjang gelombang radio. Pancaran gelombang radio dari objek-objek langit direkam untuk diteliti. Di samping itu, gelombang radio juga dipakai untuk melakukan komunikasi dengan wahana-wahana antariksa yang dipakai untuk melakukan pengamatan astronomi, seperti teleskop Hubble, Solar Dynamics Observatory (SDO), dan teleskop ruang angkasa James Webb. Teknologi canggih yang dikembangkan untuk kegiatan-kegiatan ini ternyata banyak diterapkan pada bidang komunikasi satelit dan meningkatkan kualitas rancangan dan efisiensi satelit-satelit komunikasi tersebut

(Maral et al., 2009). Di samping itu, penerapan metode pemrosesan citra dan rancangan antena yang dipakai dalam astronomi radio meningkatkan teknologi komunikasi nirkabel, teknologi wifi, dan jaringan *mobile* (Rappaport, 2002).

Wahana-wahana, seperti teleskop Hubble, SDO, teleskop ruang angkasa James Webb diluncurkan untuk berada di ruang angkasa dan mereka akan berada di dalam lingkungan yang tidak ramah, tidak seperti di permukaan Bumi yang terlindungi oleh atmosfer. Saat berada di ruang angkasa, wahana-wahana ini akan mengalami radiasi dari Matahari yang bisa merusak komponen-komponen elektronik yang ada di dalam wahana-wahana tersebut. Oleh karena itu, para peneliti berupaya mengembangkan bahan-bahan yang bisa bertahan di dalam lingkungan yang ekstrem, seperti yang terdapat di luar angkasa dan menerima bombardemen partikel-partikel energi tinggi dari Matahari atau galaksi. Di samping itu, bahan-bahan tersebut harus kuat dan ringan. Contoh di sini adalah pembuatan bahan komposit serat karbon dan *alloy* titanium yang membuat bobot wahana-wahana antariksa menjadi ringan, tetapi sangat kuat. Upaya pengembangan bahan-bahan seperti ini akhirnya memicu perkembangan ilmu material dalam bidang industri pesawat terbang, otomotif, olah raga, dan konstruksi yang membutuhkan bahan-bahan yang kuat dan ringan (Skrzypek et al., 2008).

Terkait dengan kondisi ruang angkasa yang sangat ekstrem temperaturnya, dalam upaya melindungi berbagai wahana antariksa yang dipasang di orbit atau melakukan perjalanan antarplanet, para ahli membuat rancangan wahana-wahana ini agar bisa bertahan dalam suhu yang sangat dingin. Akhirnya teknologi pendinginan ini juga diterapkan pada industri elektronika yang berhasil meningkatkan kinerja berbagai peralatan elektronik (Barron, 1985).

Di atas disebutkan bahwa untuk bisa bekerja dengan optimal sebuah observatorium harus berada di dalam lingkungan yang bebas polusi cahaya. Apakah polusi cahaya itu? Polusi cahaya adalah cahaya buatan manusia yang berlebihan dan salah arah sehingga mengganggu

gelapnya malam dan berdampak buruk pada pengamatan astronomi, ekosistem, dan kesehatan manusia.

Fenomena polusi cahaya sudah berlangsung global. Oleh karena itu, kita makin jarang menemukan daerah yang pada saat malam hari terbebas dari cahaya buatan manusia. Hal ini mengakibatkan kita makin sulit mengamati objek-objek langit yang tidak terlalu terang. Para astronom di seluruh dunia terus berjuang untuk mengupayakan mitigasi polusi cahaya ini dengan berbagai cara. Beberapa mitigasi yang dilakukan, seperti mengedukasi masyarakat untuk mengatur pencahayaan luar ruang, mengampanyekan pentingnya malam yang gelap tanpa polusi cahaya, dan mendesak pihak berwenang untuk membuat berbagai peraturan dalam rangka mengurangi polusi cahaya (Mizon, 2002; Goronczy, 2021).

Penelitian polusi cahaya juga sudah dilakukan di Indonesia (Admiranto et al., 2021). Pengamatan dilakukan di beberapa lokasi, seperti Agam (Sumatra Barat), Pontianak (Kalimantan Barat), Sumedang (Jawa Barat), Garut (Jawa Barat), Pasuruan (Jawa Timur), Kupang (Nusa Tenggara Timur), dan Biak (Papua). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa beberapa tempat, terutama yang berada di dekat kota-kota besar, polusi cahaya sudah cukup signifikan. Akan tetapi, ada juga tempat yang masih belum mengalami polusi cahaya, yaitu Garut.

3. Navigasi, Penjelajahan Antariksa, dan Teknologi Satelit

Sudah sejak lama para petani menggunakan bintang/rasi bintang sebagai pedoman mereka untuk bercocok tanam. Para petani di Jawa menggunakan saat *heliacal rising* rasi Orion (Lintang Waluku menurut orang Jawa) sebagai tanda saat dimulainya menanam padi. Mereka meletakkan segenggam beras di telapak tangan mereka dan diarahkan ke arah rasi Orion tersebut. Jika beras ini kemudian meluncur ke bawah, ini berarti masa tanam telah tiba. Contoh yang lain, para petani pemanen lebah madu hutan di Gunung Mutis, Timor juga menggunakan saat *heliacal rising* rasi Pleiades sebagai tanda dimulainya masa panen lebah madu hutan. *Heliacal rising* adalah terbitnya

satu benda langit yang waktu terbitnya bersamaan dengan Matahari (Mumpuni et al., 2017).

Ini juga berlaku pada para pelaut. Sudah sejak zaman dahulu para pelaut menggunakan rasi-rasi bintang sebagai alat navigasi mereka dalam mengarungi lautan. Berdasarkan posisi bintang di langit pada suatu saat mereka bisa menentukan orientasi dan kedudukan mereka di permukaan Bumi/laut.

Dengan berkembangnya teknologi navigasi dan internet, metode penentuan posisi sudah bisa lebih akurat lagi dengan ditemukannya sistem navigasi dengan menggunakan satelit yang disebut global positioning system (GPS). Teknik-teknik yang dikembangkan dalam navigasi benda langit dipakai juga dalam sistem GPS yang kemudian dipakai dalam dunia penerbangan, navigasi maritim, dan pemetaan permukaan Bumi.

Meskipun demikian, bintang-bintang tidak begitu saja ditinggalkan dalam upaya kegiatan navigasi, bahkan makin penting perannya dalam navigasi ruang angkasa. Ini terkait dengan kegiatan penjelajahan antariksa dan penempatan satelit di orbit Bumi. Ketika sebuah wahana antariksa atau satelit diluncurkan, pada wahana tersebut terdapat sebuah pelacak bintang yang dipakai untuk membandingkan posisi bintang yang teramati dengan katalog bintang yang ada di peralatan tersebut untuk menentukan orientasi wahana tersebut di ruang angkasa. Hal ini karena sistem GPS sudah tidak mungkin lagi dipakai dalam menentukan posisi dan orientasi wahana antariksa.

Sekarang ini sedang dikembangkan penggunaan pulsar (bintang neutron yang berputar sangat cepat dan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik) sebagai sarana untuk melakukan navigasi di ruang angkasa. Pancaran sinyal radiasi pulsar sangat teratur dan bisa dimanfaatkan seperti sinyal GPS dalam rangka menentukan posisi wahana ruang angkasa saat berada jauh dari Bumi (Becker et al., 2013; Witze, 2018).

Salah satu cabang ilmu astronomi adalah mekanika benda langit. Cabang ilmu ini memanfaatkan hukum-hukum Kepler dan Newton dalam menelaah pergerakan benda langit, mulai dari planet, asteroid,

sampai orbit bintang ganda. Mekanika benda langit ini kemudian dimanfaatkan untuk melakukan analisis pergerakan satelit buatan, mulai dari peluncuran, manuver untuk berada pada orbit tertentu yang dikehendaki, sampai manuvernya jatuh ke Bumi saat sudah selesai masa aktifnya. Pemanfaatan satelit-satelit ini ternyata memberikan dampak yang sangat besar bagi berbagai kegiatan manusia, seperti komunikasi jarak jauh, pemantauan lahan dan perkotaan, navigasi, dan pengamatan cuaca.

Pengetahuan mekanika benda langit juga sangat membantu para ahli dalam merancang dan melaksanakan kegiatan eksplorasi ruang angkasa. Dengan mengandalkan pengetahuan mereka tentang mekanika benda langit, diluncurkanlah berbagai wahana yang dipakai untuk melakukan misi-misi tak berawak dalam rangka menjelajahi tata surya. Misi-misi ini antara lain Venus Express dan Venera untuk mengamati Venus, Galileo untuk mengamati Jupiter dan satelit-satelitnya, Cassini Huygens untuk menjelajahi Saturnus dan satelitnya, Titan, New Horizon untuk mengamati Pluto, dan banyak misi lain di mana yang paling banyak dijelajahi adalah Mars dengan berbagai wahana yang sampai mendarat di permukaannya (Daniels, 2009; Seeds dan Backman, 2016). Hasil dari misi-misi ini sangat banyak meningkatkan pengetahuan kita tentang tata surya dan anggota-anggotanya. Selanjutnya, pengetahuan tentang dinamika wahana-wahana ruang angkasa ini lalu diterapkan pada dinamika satelit-satelit yang mengorbit Bumi dalam rangka meningkatkan kinerja mereka (Markley dan Crassidis, 2014).

C. Pengaruh Astronomi pada Kebudayaan Manusia

Sebelum cahaya buatan membanjiri langit malam, manusia sering mengamati dan mengagumi langit malam. Tidak heran berbagai fenomena langit malam sangat memengaruhi alam pikiran dan membentuk cara pandang mereka terhadap alam. Pada gilirannya, banyak aspek-aspek kehidupan manusia yang tanpa disadari bersumber dari pengamatan astronomi dan segala interpretasinya.

1. Sistem Kalender dan Penetapan Perhitungan Waktu

Pernahkah kita bertanya mengapa dalam satu minggu ada tujuh hari? Mengapa tidak tiga atau delapan hari. Lalu mengapa dalam satu hari ada 24 jam, dalam 1 jam ada 60 menit, dan dalam 1 menit ada 60 detik? Jawaban atas semua pertanyaan ini ternyata terkait dengan astronomi.

Bangsa Babilonia adalah sebuah bangsa yang sangat rajin mengamati langit. Mereka mengamati ada tujuh benda langit yang sangat menarik perhatian mereka, yaitu Matahari, Bulan, Mars, Merkurius, Jupiter, Venus, dan Saturnus. Tujuh benda langit ini kemudian menjadi dasar penentuan jumlah hari dalam satu minggu. Tradisi tujuh hari dalam satu minggu ini juga terkait dengan bangsa Yahudi di mana di dalam Kitab Kejadian Tuhan menciptakan dunia dan seisinya dalam enam hari dan beristirahat pada hari ketujuh. Selanjutnya, tradisi ini diteruskan oleh bangsa Romawi dan dikaitkan dengan tradisi ibadah agama Kristen (Dreyer, 1953).

Pembagian satu hari menjadi 24 jam berasal dari bangsa Mesir Kuno. Mereka membagi satu malam menjadi 12 bagian berdasarkan pengamatan pada 12 kelompok bintang yang teramati melintasi langit malam. Pembagian yang sama kemudian diterapkan pada jumlah jam pada siang hari (Munitz, 1957).

Selanjutnya, pembagian satu jam menjadi enam puluh menit dan satu menit menjadi enam puluh detik datang dari bangsa Sumeria dan Babilonia yang menggunakan sistem seksagesimal (berbasis enam puluh). Sistem ini juga yang membagi lingkaran menjadi 360 derajat yang selanjutnya dibagi lagi menjadi 60 menit busur dan 60 detik busur. Tradisi ini diteruskan oleh astronom Yunani, seperti Hipparchos dan Ptolomeus yang menggunakan sistem seksagesimal di dalam karya-karya astronomi mereka dan dipertahankan oleh para ilmuwan Abad Pertengahan dan bertahan sampai sekarang.

Bagaimana dengan 1 tahun yang terbagi menjadi 365 hari? Ini terkait dengan pengamatan oleh bangsa-bangsa Mesir Kuno dan Babilonia tentang perubahan musim yang berlangsung secara teratur.

Mereka menyimpulkan bahwa 1 tahun berlangsung selama 365 hari. Selanjutnya, kita juga bisa bertanya kenapa dalam satu tahun ada 365 hari, dan kadang-kadang ada satu tahun yang jumlah harinya tidak 365 hari, tetapi 366 hari (tahun kabisat). Ini terkait dengan waktu yang diperlukan Bumi mengelilingi Matahari, yaitu sebesar 365,2419 hari yang kemudian dibulatkan menjadi 365,25 hari. Selisih 0,25 hari setiap tahunnya diakumulasikan menjadi 1 hari yang menjadi tambahan 1 hari pada saat tahun kabisat (Langone, 2000).

Kemudian, lama bulan yang berjumlah 30 hari sering dikaitkan dengan periode sinodis Bulan (waktu yang diperlukan Bulan untuk mencapai dua fase serupa berturut-turut). Ini terjadi pada kalender yang mengikuti peredaran Bulan seperti kalender Hijriyah.

2. Pengaruh Astronomi pada Bahasa dan Sastra

Fenomena langit (astronomi) banyak memengaruhi budaya manusia, tidak terkecuali pada bahasa. Kita bisa menemui banyak contoh bagaimana berbagai pengertian astronomi memasuki bahasa. Sagan (1980) menunjukkan kata *consider* dalam bahasa Inggris yang artinya mempertimbangkan. Ternyata kata ini berasal dari kata *con* dan *sider* dari bahasa Latin yang artinya 'bersama dengan bintang'. Jadi, kalau kita mau memutuskan sesuatu, kita perlu ke luar rumah sejenak, menengadah ke atas dan melakukan perenungan tentang keputusan yang akan kita buat bersama dengan bintang-bintang. Sagan (1980) juga menunjukkan *disaster* yang artinya bencana, dalam bahasa Yunani artinya adalah 'bintang yang buruk'. Akar kata *lunatic* yang artinya gila adalah *luna* yang artinya Bulan karena sudah sejak lama diamati bahwa saat Bulan purnama orang-orang yang mengalami gangguan kejiwaan tampak makin 'kumat'. Dalam banyak bahasa kita akan menemukan kata-kata yang terkait dengan astronomi, seperti bintang film, dan anggaran yang astronomis.

Sejak zaman dahulu astronomi banyak memberikan inspirasi kepada para sastrawan. Banyak karya sastra dari zaman Yunani Kuno, zaman Pertengahan, sampai zaman modern yang terkait dengan astronomi. Contoh dari zaman Yunani Kuno adalah karya-karya

Homerus dan Hesiod. Dalam *Iliad* dan *Odyssey* karya Homeros (terj. Green, 2015) berbagai peristiwa di langit ditafsirkan sebagai pertanda akan adanya intervensi Ilahi atau nasib yang akan menimpa suatu kelompok. *Works and Days* karya Hesiod (terj. Athanassakis, 2004) memberikan panduan praktis kepada para petani berdasarkan posisi bintang dan konstelasi. *Metamorphoses* karya Ovidius mengisahkan transformasi yang berlangsung di langit, seperti mitos Phaethon yang nyaris menghancurkan Bumi karena kehilangan kendali atas kereta Matahari (terj. Martin, 2004).

Di dalam literatur Abad Pertengahan, *Divina Comedia* karya Dante Alighieri pada bagian “Paradiso” (terj. Musa, 1984) memberikan gambaran tentang alam semesta di mana penggambaran ini mencerminkan pandangan kosmologi abad pertengahan yang dipengaruhi Ptolomeus dan teologi Kristen. Karya-karya sastra berikutnya di zaman Renaissance juga ada beberapa yang terkait dengan astronomi misalnya pada karya Shakespeare *Julius Caesar* (pengantar Wells, 2005) di mana Cassius mengungkapkan “rusaknya wajah” karena pengaruh buruk peristiwa yang berlangsung di langit. *Paradise Lost* karya John Milton (pengantar Pullman 2005) mengungkapkan besarnya alam semesta dan pertarungan antara kebaikan dan kejahatan.

Masa Romantik yang memberikan penekanan pada emosi dan alam mendapatkan saluran yang tepat dalam mengungkapkan inspirasi yang datang dari keindahan langit malam. Contoh di sini adalah puisi William Wordsworth berjudul *The Prelude* (1996) yang mengungkapkan kekaguman pada alam dan mendapatkan ketenangan spiritual dari maha besarnya alam semesta. Karya Percy Bysshe Shelley, *To a Sky-Lark* (1996) mengagumi kosmos yang penuh misteri dan pandangan Shelley tentang alam semesta yang bergerak dalam keabadian mencerminkan dinamika benda-benda langit. Masa ini juga ditandai dengan mulai munculnya kisah-kisah fiksi ilmiah, seperti yang dituliskan oleh H. G. Wells dan Jules Verne. Mereka mulai memikirkan tentang adanya pengembaraan ruang angkasa dan kehidupan di planet lain. Karya H. G. Wells, *War of the Worlds* (2012)

menunjukkan minat orang-orang sezamannya tentang kemungkinan adanya kehidupan di planet di luar Bumi.

Fenomena astronomi juga bisa menjadi latar belakang perenungan filosofis seperti pada karya Fyodor Dostoevsky yang berjudul *The Brothers Karamazov* (terj. Pevear dan Volokhonsky, 2021). Di situ Ivan Karamazov yang merenungkan ketakbermaknaan kehidupan manusia di hadapan alam semesta yang tak berhingga mencerminkan sebuah krisis eksistensial. Bintang-bintang menjadi simbol kemahaluasan alam semesta yang tidak peduli pada nasib manusia.

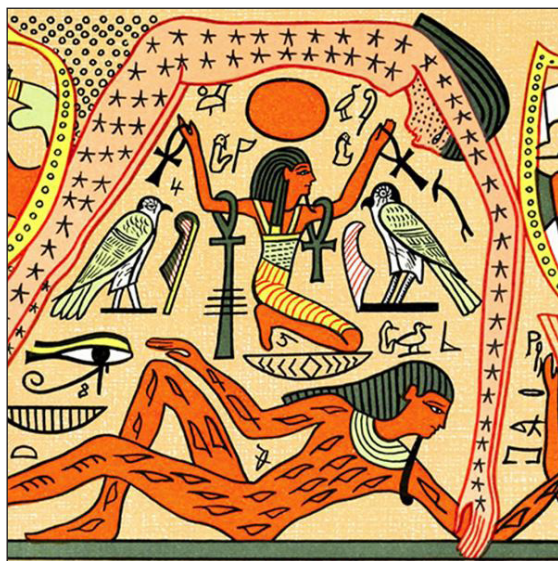
Pengaruh astronomi pada karya-karya sastra modern muncul dalam bentuk gabungan konsep ilmiah dengan narasi. Contoh di sini adalah *Cosmicomics* karya Italo Calvino (2015) yang mengeksplorasi asal-usul alam semesta dan sifat ruang dan waktu dalam bentuk fiksi ilmiah. Contoh lain adalah *Contact* karya Carl Sagan (1986) tentang upaya untuk mencari kecerdasan di luar Bumi, tetapi dengan narasi yang memiliki akurasi ilmiah. Karya ini juga berupaya mencari makna eksistensi kosmos itu sendiri.

3. Pengaruh Astronomi pada Seni Lukis

Astronomi dan seni lukis memiliki ikatan sejarah yang panjang. Ikatan ini mencerminkan kekaguman manusia pada alam semesta dan kerinduan mereka untuk memahami kedudukan mereka di alam semesta tersebut. Para pelukis yang terpesona pada keindahan alam semesta mencoba membuat penafsiran mereka tentang berbagai fenomena alam semesta melalui lukisan-lukisan mereka dan ini menjadi penghubung antara sains dan seni, khususnya astronomi dan seni lukis.

Lukisan-lukisan tentang alam semesta sudah ada sejak zaman Mesir Kuno. Pada makam raja-raja Mesir Kuno terdapat lukisan tentang langit malam, bintang, dan konstelasi yang menunjukkan kosmologi mereka dan keyakinan mereka tentang kehidupan setelah kematian. Ada lukisan Dewi Nut (Gambar 2.6) yang tampak membentuk busur melingkungi Bumi dan tubuhnya bertaburkan bintang menyimbolkan langit. Pada beberapa langit-langit makam dan kuil

juga tampak lukisan tentang langit. Di langit-langit makam seorang tokoh tampak ada lukisan konstelasi bintang yang mencerminkan pentingnya astronomi pada masyarakat Mesir Kuno pada waktu itu (Thuan, 1995). Selanjutnya, pada masa Yunani dan Romawi Kuno banyak lukisan yang menampilkan tema-tema antariksa dan tokoh-tokoh mitologis yang terkait dengan langit. Ditampilkannya konstelasi sebagai makhluk-makhluk mitologis seperti Orion dan Hercules menunjukkan bersatunya astronomi dan mitologi dalam seni pada masa itu (Hartt, 1976).



Keterangan: Ilustrasi Dewa Geb (berbaring di tanah) dan Nut (melengkung di atas Geb), diambil dari buku *The Gods of the Egyptians* Vol. II, oleh E. A. Wallis Budge.

Sumber: Rosicrucian Egyptian Museum. (t.t.).

Gambar 2.6 Dewi langit Mesir Kuno, Nut

Pada abad Pertengahan, kemajuan di dalam astronomi muncul dalam banyak lukisan dan menghasilkan teknik dan perspektif baru dalam lukisan. Contohnya lukisan Raphael berjudul *The School of*

Athens (Gambar 2.7). Di situ tampak Ptolomeus dan Zoroaster sedang memegang bola langit yang menyimbolkan penggabungan seni, sains, dan filsafat. Hal ini mencerminkan adanya minat untuk mendalami astronomi pada masa itu. Penggunaan teleskop oleh Galileo membuat beberapa pelukis mendapatkan ilham untuk membuat lukisan tentang langit sebagaimana yang dibuat oleh Caravaggio (Hartt, 1976).



Sumber: Pulimood (2025)

Gambar 2.7 *The School of Athens* karya Raphael

Salah satu lukisan tentang langit yang paling terkenal adalah *Starry Night* oleh Vincent van Gogh. Lukisan ini dibuatnya pada tahun 1889 saat ia mendiami sebuah rumah sakit jiwa di Saint-Rémy-de-Provence. Lukisan itu menampilkan langit malam yang penuh dengan bintang dan tampak juga Bulan sabit. Ini menunjukkan minat van Gogh yang besar pada kosmos dan yang ilahi. Ketika para astronom mengamati lukisan itu lebih lanjut, ternyata menurut mereka van Gogh cukup akurat dalam menggambarkan langit malam di dalam lukisannya itu. Ada lagi yang menafsirkan bahwa van Gogh mendapatkan ilhamnya dari fenomena dinamika fluida.



Sumber: van Gogh (1889)

Gambar 2.8 Lukisan Berjudul *_Starry Night_* Karya van Gogh

Perkembangan astronomi dan penjelajahan antariksa pada masa modern memberikan inspirasi lain bagi para pelukis. Joan Miro dan Paul Klee memasukkan tema-tema surealis ke dalam lukisan-lukisan mereka. Di dalam lukisan-lukisan yang mereka buat, tercermin suasana bawah sadar manusia yang terhubung dengan alam semesta yang maha luas.

4. Pengaruh Astronom pada Musik

Astronomi dan musik berupaya memahami alam semesta dengan cara yang berbeda. Astronomi berupaya untuk memahami alam semesta melalui pengamatan dan analisis berbagai fenomena di langit, sedangkan musik berupaya memahaminya melalui suara dan harmoni. Manusia selalu berupaya mencari harmoni dan irama dalam segala sesuatu termasuk di alam karena harmoni dan irama ini memberikan rasa aman melalui proses keterulangan yang berlangsung.

Sejak zaman Yunani Kuno musik dan alam dianggap bisa se-
laras satu sama lain. Seorang filsuf bernama Pythagoras menyatakan bahwa prinsip-prinsip yang mengatur dinamika musik juga mengatur

dinamika planet-planet dan bintang. Ia memperkenalkan konsep *Harmoni Bola-bola* yang menyatakan bahwa dalam pergerakannya di langit planet-planet menampilkan sejenis irama musik yang tidak bisa terdengar oleh manusia. Pythagoras juga menemukan bahwa interval musik bisa diungkapkan dalam perbandingan sederhana yang ia yakini juga berlangsung di dalam kosmos. Selanjutnya, dalam karyanya *Timaieus* Plato mengembangkan gagasan Pythagoras ini dalam pandangannya bahwa kosmos adalah suatu maujud yang hidup, memiliki jiwa, dan menghasilkan suara-suara tertentu. Ia yakin bahwa gerakan benda-benda langit menghasilkan sejenis musik ilahi yang mencerminkan alam semesta yang teratur dan rasional (Munitz, 1957).

Pada Zaman Pertengahan, Johannes Kepler juga ingin memahami keselarasan dalam pergerakan planet-planet. Dalam karyanya *Harmonices Mundi*, ia berpikir bahwa orbit planet-planet menghasilkan nada-nada musik tertentu. Hukum Kepler III yang mengaitkan periode orbit planet dengan jaraknya dari Matahari bisa dianggap sebagai upaya untuk memahami simfoni alam semesta sebagaimana diungkapkan Pythagoras. Kemudian Galileo mencoba menerapkan prinsip-prinsip matematika dan fisika ke bidang astronomi dan musik. Penelitiannya tentang bandul dan getaran memberikan pemahaman tentang gelombang suara dan nada, dan ini disejajarkan dengan penelitiannya tentang pergerakan benda-benda langit (Dreyer, 1953).

Selanjutnya, berbagai komposisi terkenal juga banyak mendapatkan inspirasi dari astronomi. Contohnya adalah *Moonlight Sonata* dari Ludwig von Beethoven. Komposisi ini sering dikaitkan dengan langit malam yang misterius, dengan nada-nada yang membangkitkan suasana kontemplatif dan misterius dan datang dari cahaya Bulan (Jones, 1999). Karya lain misalnya adalah *The Creation* karya Franz Joseph Haydn yang mencerminkan kekaguman pada alam semesta. Karya ini mengisahkan tentang penciptaan menurut Alkitab dan bagian-bagian penciptaan langit dan benda-benda langit (Temperly, 1991).

Pada masa modern, kemajuan astronomi dan penjelajahan antariksa memberikan inspirasi baru kepada para pemusik dan menghasilkan berbagai komposisi yang unik dan ikonik. Salah satu yang terkenal adalah karya John Williams yang menjadi musik latar belakang film *Star Wars*. Karya ini membangkitkan rasa kagum pada besarnya alam semesta (Audissino, 2014). Dalam musik rock, yang cukup terkenal adalah album karya Pink Floyd *The Dark Side of the Moon* yang mencoba mengeksplorasi ruang, waktu, dan eksistensi manusia. Di sini mereka menggunakan efek-efek suara eksperimental sehingga menghasilkan suasana yang memberikan rasa besarnya alam semesta (Harris, 2006).

5. Pengaruh Astronomi pada Arsitektur

Hubungan antara astronomi dan arsitektur merupakan satu bentuk keterikatan dan rasa kagum manusia pada alam semesta. Hubungan ini mencerminkan keinginan mendalam manusia untuk memahami dan terhubung dengan alam semesta. Hal ini membentuk sistem budaya, religius, bahasa, termasuk arsitektur. Korelasi ini bisa dilacak sampai masa-masa kebudayaan kuno, seperti yang ada di Mesir, Yunani Kuno, Amerika Tengah, China, di mana orientasi berbagai bangunan dikaitkan dengan berbagai konfigurasi astronomi tertentu.

Pada kompleks piramid yang terdapat di Giza (Gambar 2.9) tampak bahwa orientasi piramid-piramid ini mengarah ke titik-titik utara-selatan dengan ketelitian yang sangat tinggi. Walaupun ini masih menjadi bahan perdebatan, tata letak piramid-piramid ini sesuai dengan rasi Orion, terkait dengan dewa Osiris yang merupakan dewa di kehidupan setelah kematian (Bauval & Gilbert, 1995). Orientasi piramid sangat terkait dengan bintang-bintang. Hal ini menunjukkan pemahaman mereka tentang astronomi yang diungkapkan dalam arsitektur bangunan yang mereka buat. Kemudian pada kuil Amon-Re di Karnak, titik pusat kuil ini dibuat segaris dengan titik terbitnya Matahari ketika Matahari tampak berhenti di musim gugur (solstice

22 Desember). Hal ini menandakan kelahiran kembali dewa Matahari (Belmonte & Lull, 2023). Ini menunjukkan pentingnya posisi Matahari di dalam mitologi Mesir Kuno yang tampil dalam rancangan arsitektur mereka. Pada bangsa Yunani Kuno, kuil Parthenon di Athena disejajarkan dengan terbitnya rasi Pleiades (Heggie, 1982).



Sumber: Egypt Tours Portal (2021)

Gambar 2.9. Kompleks piramid di Giza

Bangsa Maya yang ada di Amerika Tengah membuat bangunan bernama El Castillo di Chichen Itza (Gambar 2.10). Bangunan ini dikaitkan dengan peristiwa yang ada di langit. Saat ekuinoks terjadi, yaitu tanggal 21 Maret dan 23 September, muncul bayangan pada anak-anak tangga piramid itu yang menyerupai dewa ular Kukulkan. Selain itu, pada kebudayaan Inca terdapat peninggalan bernama Machu Picchu dengan struktur bangunan yang mengarah ke titik musim semi/gugur dan ekuinoks. Hal ini menunjukkan keterikatan masyarakat setempat pada astronomi yang kemudian dimanifestasikan pada bangunan yang mereka buat (Freidel et al., 1993).



Ket.: Tampak bayangan menyerupai ular yang merepresentasikan dewa ular Kukulkan yang terjadi saat ekuinoks

Sumber: Chichen Itza. (t.t.)

Gambar 2.10 Piramid El Castillo di Chichen Itza,

Beberapa contoh bangunan yang memiliki nuansa astronomi misalnya adalah Observatorium Griffith (Gambar 2.11) yang terdapat di Los Angeles dan Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) yang terdapat di Chile. Pada bangunan Observatorium Griffith ini terdapat berbagai aspek yang menonjolkan keterkaitannya dengan astronomi. . Sementara itu, rancangan arsitektur bangunan ALMA mencerminkan hubungan yang erat antara astronomi dan arsitektur.

Pada zaman modern, kemajuan ilmu astronomi mendorong berbagai upaya untuk menghubungkannya dengan bidang lain, termasuk arsitektur. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mendekatkan astronomi kepada masyarakat. Harapannya agar makin banyak anggota masyarakat, terutama generasi muda menjadi tertarik untuk mengenal dan memahami ilmu astronomi. Generasi muda diharapkan menjadi generasi yang tidak hanya tertarik, tetapi juga berpotensi menjadi astronom masa depan.



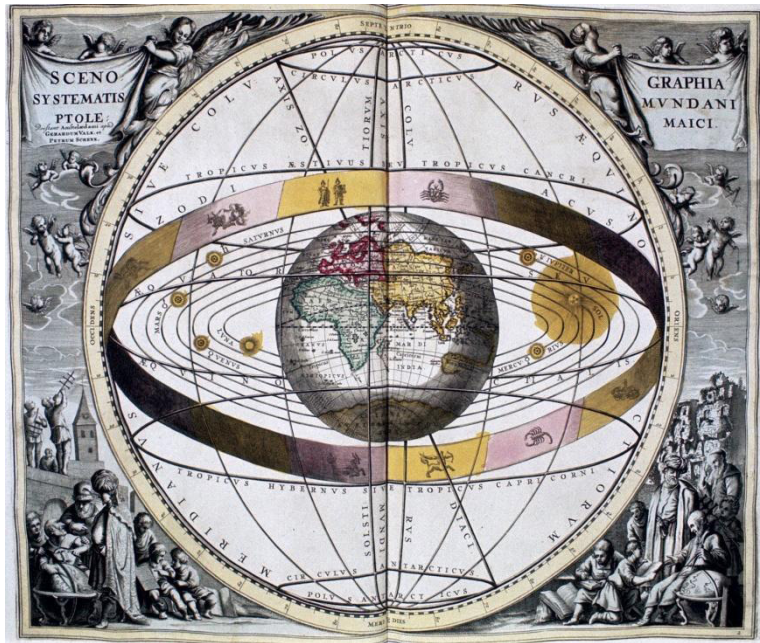
Sumber: Sunnydayscoot (t.t)

Gambar 2.11 Griffith Observatory

6. Pengaruh Astronomi pada Filsafat dan Spiritualitas

Astronomi adalah sebuah cabang ilmu yang sudah sangat tua umurnya, setua umur peradaban manusia. Oleh sebab itu, pandangan manusia tentang alam semesta sangat memengaruhi kemajuan astronomi, sebaliknya astronomi juga memberikan pengaruh yang tidak sedikit pada pandangan manusia tentang alam semesta.

Pada zaman Yunani Kuno, para filsuf seperti Aristoteles dan Ptolomeus mengembangkan model geosentris tentang alam semesta, yang menempatkan Bumi di pusat alam semesta. Walaupun ada pandangan yang mengemukakan bahwa Bumi bukan pusat alam semesta, seperti yang diusulkan oleh Aristarchus dari Samos, model geosentris (Gambar 2.12) ini membentuk pemikiran filosofis dan teologis selama berabad-abad (Dreyer, 1953).



Sumber: Augustyn et al. (2024)

Gambar 2.12. Model geosentris

Selanjutnya, pada Abad Pertengahan muncullah revolusi Copernicus tentang alam semesta. Di sini Nicolaus Copernicus mengusulkan model heliosentris, yang menempatkan Matahari di pusat tata surya. Pergeseran ini tidak hanya merevolusi astronomi, tetapi juga berimplikasi mendalam bagi pemahaman manusia tentang tempatnya di alam semesta, menantang keyakinan filosofis dan agama yang telah lama dianut (Dreyer, 1953).

Perubahan besar dalam cara pandang terhadap alam semesta ini kemudian dijadikan contoh oleh Thomas Kuhn dalam bukunya *The Structure of Scientific Revolutions* (1962) tentang pergeseran paradigma di dalam sains. Ia berpendapat bahwa proses kemajuan sains tidak selalu berlangsung mulus dan gradual, tetapi berlangsung dinamis melalui berbagai proses yang bisa dikategorikan sebagai suatu revolusi. Misalnya revolusi Copernicus yaitu model alam semesta geosentris

(Bumi sebagai pusat) yang dikembangkan oleh Ptolomeus digantikan dengan model alam semesta heliosentris (Matahari sebagai pusat). Contoh lain adalah pergeseran dari fisika klasik yang berkembang menjadi fisika kuantum, serta dari mekanika Newton yang berkembang menjadi teori relativitas Einstein.

Mengapa semua ini terjadi? Hal ini karena pada suatu ketika model atau teori yang dipegang tidak bisa menjelaskan fenomena yang diamati. Model alam semesta menurut teori geosentris menjelaskan bahwa pergerakan planet-planet melalui lintasan tertentu. Copernicus menilai bahwa penjelasan tersebut menjadi lebih rumit dan tidak sesuai dengan gagasan tentang keteraturan ciptaan Tuhan. Oleh karena itu, Copernicus menawarkan model heliosentris dengan menempatkan Matahari sebagai pusat tata surya. Model ini menyederhanakan pemahaman mengenai pergerakan planet dan dianggap lebih konsisten serta elegan dibandingkan dengan model geosentris. Revolusi fisika klasik menjadi fisika kuantum diawali dengan ketidakmampuan fisika klasik dalam menjelaskan fenomena radiasi benda hitam yang kemudian dijelaskan dengan sangat memuaskan oleh fisika kuantum. Demikian juga, mekanika Newton tidak bisa menjelaskan fenomena tertentu (dijelaskan di bawah) yang kemudian bisa dijelaskan oleh teori relativitas Einstein.

Sebelum Einstein mengemukakan teori relativitas umumnya, ruang dianggap sebagai sesuatu yang mutlak, permanen, homogen, dan meluas ke segala arah secara tak berhingga. Ruang menjadi tempat bermain segala sesuatu, mulai dari partikel terkecil sampai objek terbesar di alam semesta. Dalam hal ini, waktu dianggap sebagai dimensi yang berbeda dengan ruang dan juga bersifat mutlak.

Munculnya teori relativitas Einstein mengubah pandangan manusia tentang ruang dan waktu. Ruang dianggap sebagai sesuatu yang dinamis dan tidak homogen sebagaimana yang dipikirkan sebelumnya. Waktu juga dianggap sebagai suatu dimensi yang menyatu dengan 3 dimensi ruang lainnya sehingga membentuk suatu ruang empat dimensi.

Yang menjadi contoh di sini adalah orbit Merkurius mengelilingi Matahari yang tampak mengalami presisi sebesar 43 detik busur per abad. Hal ini coba dijelaskan melalui mekanika Newton dengan membuat hipotesis tentang adanya sebuah planet yang orbitnya terletak lebih dalam dari orbit Merkurius (planet Vulcan). Planet ini tidak pernah ditemukan dan ketika Einstein mencoba menjelaskan fenomena presisi ini melalui teori relativitasnya, semuanya menjadi jelas. Hal ini menunjukkan bahwa ada pergeseran paradigma Newton ke paradigma Einstein terkait dengan gravitasi ruang dan waktu. Dalam hal ini, mekanika Newton tetap berlaku pada daerah-daerah dengan medan gravitasi lemah, tetapi untuk daerah dengan medan gravitasi kuat yang berlaku adalah mekanika Einstein (Thorne, 1994).

Salah satu cabang filsafat adalah epistemologi. Epistemologi meninjau bagaimana pengetahuan itu diperoleh, apa metode perolehan pengetahuan itu, serta keterbatasannya (Honderich, 1995). Ketika Galileo menggunakan teleskop untuk melakukan pengamatan benda-benda langit, dengan ketergantungannya pada observasi dan data empiris, ia menunjukkan pentingnya pengalaman sensorik dalam memperoleh pengetahuan. Penekanan pada bukti empiris ini telah memengaruhi pengembangan metode ilmiah dan membentuk pandangan filosofis tentang bagaimana kita memahami alam semesta. Di sisi lain, teleskop dan instrumen astronomi lainnya telah menunjukkan bahwa kemampuan sensorik kita dapat diperluas dan ditingkatkan oleh teknologi. Perkembangan teknologi dalam astronomi, seperti dalam spektroskopi, teleskop radio, dan wahana-wahana ruang angkasa, dapat meningkatkan kemampuan para astronom dalam mengamati alam semesta. Hal ini menjadi contoh jelas bahwa kemajuan sains sangat bergantung pada kemajuan teknologi. Hubungan ini mencerminkan satu tema penting di dalam filsafat ilmu, yaitu adanya saling keterkaitan antara teori, pengamatan, dan instrumentasi (Wilson, 1997).

Selanjutnya, berkembang masalah empirisme dan realisme ilmiah. Di satu sisi empirisme menekankan bahwa semua objek dianggap nyata apabila hasil dari pengamatan indrawi atau perluasannya (penggunaan

teleskop, mikroskop, dan sebagainya), dan empirisme menekankan adanya eksperimen dan digunakannya metode induksi. Di pihak lain, realisme ilmiah berpendapat bahwa alam semesta yang dipahami melalui teori-teori ilmiah ada secara independen terhadap persepsi manusia. Selain itu, teori-teori ilmiah berupaya untuk menguraikan kebenaran tentang alam semesta, termasuk berbagai maujud yang tak bisa teramati. Di dalam astronomi, ada objek-objek, seperti bintang katai putih, bintang netron, lubang hitam, dan materi gelap yang tidak bisa diamati secara biasa. Keberhasilan sains dalam menjelaskan semua hal ini menunjukkan bahwa teori-teori ilmiah memang bisa dianggap sebagai representasi dari realitas yang terbebas dari pikiran manusia. Meskipun demikian, sebagian besar peneliti berpendapat bahwa kedua pandangan ini saling mendukung di mana bukti-bukti empiris bisa dipakai untuk mendukung kebenaran teori ilmiah, dan selanjutnya teori ilmiah bisa digugurkan melalui data pengamatan. Contoh paling jelas dari hal ini adalah penemuan planet Neptunus oleh John Couch Adams (yang meramalkannya secara matematis berdasarkan gangguan yang dialami Uranus dalam orbitnya) dan Galle dan d'Arrest (yang menemukannya melalui pengamatan dengan mengikuti saran-saran John Couch Adams) (Jones, 1984).

Disepakatinya teori *Big Bang* sebagai teori pembentukan alam semesta yang paling absah akhirnya menyatukan bidang ilmu yang membahas materinya dalam ukuran terkecil (fisika kuantum) dengan ilmu yang membahas materi dalam ukuran yang terbesar (kosmologi). Menurut teori *Big Bang*, alam semesta tercipta sekitar 13 miliar tahun yang lalu dalam kondisi sangat panas sehingga seluruh materi masih berupa partikel-partikel elementer. Pada fase awal ini hukum yang berlaku adalah fisika kuantum. Saat itu alam semesta didominasi oleh partikel-partikel elementer, seperti quark dan lepton, dengan temperatur ekstrem mencapai 10^{32} kelvin, sedangkan alam semesta masih berukuran sangat kecil. Selanjutnya, terjadi inflasi kosmik, yaitu pengembangan alam semesta secara luar biasa cepat. Dalam waktu yang sangat singkat sekitar 10^{-35} detik, ukuran alam semesta mengem-

bang hingga 10^{26} kali lipat dari ukuran semula sekaligus menurunkan temperatur (Committee on the Physics of the Universe, 2003).

Setelah fase inflasi berakhir, quark-quark ini bergabung menjadi proton dan netron. Beberapa menit kemudian berlangsung proses nukleosintesis yang menghasilkan inti-inti atom ringan, seperti hidrogen, helium, helium-3, dan litium. Alam semesta terus mengembang dan menurun temperaturnya hingga sekitar 380 ribu tahun sesudah Big Bang, terbentuklah atom-atom netral ketika elektron mulai terikat pada inti. Selanjutnya, sekitar 30 ribu tahun setelah *Big Bang*, gravitasi makin mendominasi dalam membentuk alam semesta. Proses ini memicu pembentukan bintang-bintang dan diikuti dengan pembentukan galaksi dalam rentang waktu antara 300 juta sampai 5 miliar tahun berikut setelah Big Bang (Silk, 1989).

Pengembangan alam semesta terus berlangsung sampai sekarang. Bahkan, dari hasil pengamatan terhadap beberapa objek langit tampak bahwa laju pengembangan alam semesta semakin meningkat. Fenomena percepatan ini belum sepenuhnya dapat dijelaskan, namun para astronom menduga bahwa penyebab percepatan pengembangan ini adalah suatu maujud yang mereka namai energi gelap (*dark energy*) (Silk, 1989; Smoot dan Davidson, 1993).

Bintang-bintang yang ada di galaksi-galaksi selalu mengalami evolusi. Di dalam inti bintang-bintang tersebut berlangsung pembentukan unsur-unsur yang lebih berat dari helium dan litium, seperti karbon dan nitrogen. Pada tahap tertentu, sebagian bintang tersebut ada yang kemudian meledak menjadi supernova. Ledakan ini menyebarkan unsur-unsur berat tersebut ke ruang antarbintang. Unsur-unsur berat tersebut akan bergabung kembali membentuk bintang-bintang atau tata surya baru. Bintang yang terbentuk dari materi yang kaya akan unsur-unsur yang lebih berat dari helium ini disebut bintang generasi II atau generasi berikutnya. Jadi, Matahari kita termasuk bintang generasi II karena terbentuk melalui proses yang kurang lebih sama (Lewis, 1995).

Walaupun uraian di atas sangat menyederhanakan proses yang sebenarnya terjadi, tetapi paling tidak gambaran ini cukup untuk

menunjukkan tentang evolusi alam semesta. Hal ini juga menyadarkan kita bahwa segala sesuatu—mulai dari unsur-unsur penyusun tubuh manusia hingga galaksi yang terjauh—adalah satu kesatuan dan saling terkait. Selanjutnya, dengan melihat betapa luas dan besarnya alam semesta, tampak bahwa kita tidak berarti apa-apa di hadapannya. Hal ini membuat kita merasa kecil di hadapan alam semesta.

Namun, dalam kehidupan sehari-hari, manusia justru berhadapan dengan dunia yang terpecah belah. Banyak peperangan terjadi karena motif-motif agama, sumber daya, dan perebutan kekuasaan. Selain itu, manusia sering merusak lingkungan tanpa memikirkan dampak yang akan diwariskan kepada bagi generasi mendatang, anak cucu kita. Semua ini mencerminkan sikap bahwa manusia merasa sebagai penguasa alam dan memperlakukan alam dan lingkungan sekitar hanya sebagai objek yang bisa dikuasai.

Sikap ini diawali sejak manusia mulai memandang alam semesta secara rasional dan mengambil jarak terhadap alam semesta. Keberjarakan ini mencapai puncaknya pada zaman modern ketika manusia melihat alam semesta sebagai objek yang dapat dipelajari menggunakan pisau rasionalitas melalui analisis fisis dan matematis. Keberjarakan ini membuat manusia tidak merasa menjadi bagian dari alam semesta tersebut. Akan tetapi, justru pada puncak keberjarakan ini rasionalitas membawa manusia kembali kepada sebuah kisah kosmik tunggal dalam model *Big Bang*.

Munculnya model *Big Bang* sebagai satu-satunya kisah kosmik pada zaman modern membawa pesan penting. Menurut penulis, hal ini merupakan ajakan bagi manusia untuk mengakhiri sikap berjarak terhadap alam semesta.. Kita perlu kembali memiliki sikap dan rasa keterhubungan dengan alam semesta, seperti halnya manusia pada zaman berlakunya kisah kosmik mitologis yang merasa bersatu dengan alam semesta. Untuk itu, sejak dini penting untuk menanamkan sikap menghargai alam semesta kepada anak-anak kita agar mereka tidak mengulang kesalahan karena mengambil jarak dengan alam semesta.

Selain bintang, salah satu contoh objek astronomi adalah nebula. Nebula merupakan gas dan debu yang terdapat di ruang antarbintang

yang sering menjadi tempat kelahiran bintang baru. Jarak nebula dari Matahari sangat jauh, bisa mencapai ribuan tahun cahaya. Sebagai contoh, nebula Orion berjarak sekitar 1.344 tahun cahaya, nebula Carina 8.500 tahun cahaya, nebula Heliks 694,7 tahun cahaya, dan nebula Mata Kucing 3.300 tahun cahaya. Ukuran nebula-nebula itu juga sangat besar, nebula Orion memiliki ukuran 30–40 tahun cahaya, Carina sekitar 300 tahun cahaya, dan Heliks sekitar 2,5 tahun cahaya. Meskipun begitu, gas dalam nebula itu juga sangat renggang, dengan kepadatan hanya sekitar 10 hingga 10.000 partikel per sentimeter kubik (Gendler & GaBany, 2015).

Apabila kita mengamati foto-foto nebula, tampak bahwa bentuknya sangat indah dan artistik, seolah-olah ada satu sosok yang merancanginya sempurna. Keistimewaannya terletak pada kenyataan bahwa keindahan nebula-nebula itu baru dapat terlihat ketika diamati dari jarak yang sangat jauh. Hal ini menunjukkan bahwa si perancang tersebut jauh lebih besar daripada nebula-nebula itu sendiri. Pertanyaan yang kemudian muncul adalah “Siapakah dia?”



sumber: Chekalin (2011)

Gambar 2.13 Nebula Orion



Sumber: European Southern Observatory (2009)

Gambar 2.14. Nebula Heliks



Sumber: The European Space Agency (2004).

Gambar 2.15. Nebula Carina

Di samping itu, berdasarkan pada berbagai analisis dan pengamatan yang dilakukan para astronom, disimpulkan bahwa alam semesta ini terbentuk demi munculnya kehidupan. Pemikiran ini muncul karena ada semacam *fine tuning* pada beberapa besaran dasar, seperti konstanta gravitasi, massa beberapa partikel dasar (proton, elektron, dan netron), perbandingan gaya elektromagnetik dengan gaya gravitasi, serta beberapa besaran dasar lain. Sebagai contoh, gravitasi harus memiliki harga tertentu dengan ketelitian sebesar $10^{-43}\%$. Jika gravitasi lebih kuat maka pembakaran di Matahari berlangsung tidak konstan, sedangkan jika gravitasi lebih lemah maka unsur yang lebih berat dari helium tidak mencukupi. Selain itu, saat baru terbentuk, ketika baru berumur satu detik, kecepatan pengembangan alam semesta harus memiliki harga tertentu dengan ketelitian sebesar $10^{-15}\%$. Selain itu, jika massa bintang di seluruh alam semesta $10^{-60}\%$ lebih banyak atau kurang, tidak akan ada bintang yang terbentuk. Jika ada lebih banyak massa bintang, alam semesta akan runtuh. Akan tetapi, jika massa bintang lebih sedikit, alam semesta akan lebih menyebar dan proses yang berlangsung tidak akan seperti yang berlangsung sekarang (Pagels, 2012).

Hal ini kemudian memunculkan satu prinsip yang dinamakan *prinsip kosmologi antropik*. Prinsip ini berangkat dari kenyataan bahwa sejak awal terbentuknya alam semesta, semuanya mengarah pada satu titik dalam evolusinya yang memungkinkan munculnya kehidupan (Barrow et al. 1988). Hal ini kemudian menimbulkan pertanyaan lebih lanjut, siapakah yang mengatur alam semesta menjadi seperti sekarang ini? Apakah memang ada satu sosok Perancang Agung yang membuatnya demikian?

Daftar Pustaka

- Alighieri, D. (1984). *Divina Comedia: Paradiso* (M. Musa, Penerj.). Indiana University Press.
- Athanassakis, A. (Trans.). (2004). *Works and days* (Hesiod). Johns Hopkins University Press.
- Astroshop. (t.t.). Camera ASI 120 MC-S Color. <https://www.astroshop.eu/astronomical-cameras/zwo-camera-asi-120-mc-s-color/p,45258>

- Atacama Large Millimeter Array (ALMA). (n.d.). *Home*. Diakses pada tanggal 18 Juli 2024 dari [https://www.almaobservatory.org/en/home/..](https://www.almaobservatory.org/en/home/)
- Athanassakis, A. (2004)., *Works and Days*, terjemahan Hesiod (t.t). Johns Hopkins University Press.
- Audissino, E. (2014). *John Williams's film music: Jaws, Star Wars, Raiders of the Lost Ark, and the return of the classical Hollywood music style*. University of Wisconsin Press
- Augustyn, A., Chauhan, Y., Lotha, G., Rodriguez, E., & Tikkanen, A. (2024, 6 Desember). Geocentric model. *_Encyclopedia Britannica_*. <https://www.britannica.com/science/geocentric-model>
- Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2023, 28 September). *_BRIN Kenalkan Teleskop 3,8 meter di Timau_*. <https://www.brin.go.id/news/115506/brin-kenalkan-teleskop-38-meter-di-timau2023>.
- Barron, R. F. (1985). *Cryogenic system*. Oxford University Press.
- Barrow, J. D., Tipler, F. J., & Wheeler, J. A. (1988). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford University Press.
- Bauval, R., & Gilbert, A. (1995). *The Orion mystery: Unlocking the secret of the pyramids*. Three Rivers Press,
- Becker, W., Bernhardt, M. G., & Jessner, A. (2013). Autonomous Spacecraft Navigation with Pulsars, *Acta Futura* 7, 11–28.
- Belmonte, J. A., & Lull, J. (2023). *Astronomy of ancient Egypt: A cultural perspective*. Springer.
- Bely, P. Y. (Ed.). (2003). *The design and construction of large optical telescopes*. Springer.
- Blake, S. P. (2015). *Astronomy and astrology in the Islamic world*. Edinburg University Press.
- Calvino, I. (2015). *Cosmicomics*. Mariner Books Classic.
- Chamberlin, P., Pesnell, W. D., & Thompson, B. (Ed.). (2012). *The solar dynamics observatory*. Springer New York.
- Chapman, A. (2014). *Stargazers: Copernicus, Galileo, the Telescope, and the Church*. Lion Books.
- Chekalin, I. (2011, 19 Januari). The Orion Nebula. European Southern Observatory. <https://www.eso.org/public/images/eso1103a/>
- Chichen Itza. (t.t.). El Castillo | The Castle | Pyramid of Kukulcan. <https://www.chichenitza.com/chichen-itza-pyramid>
- National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences, Board on Physics and Astronomy, Committee on the Physics

- of the Universe. (2003). *Connecting Quarks with the Cosmos: Eleven science questions for the new century*. The National Academic Press.
- Daniels, P. S. (2009). *The new solar system: Ice worlds, Moons, and planets redefined*. National Geographic Society.
- Dostoyevsky, F. (2021). *The Brothers Karamazov* (R. Pevear & L. Volokhonsky, Translator). Mint Editions
- Dreyer, J. L. E. (1953). *A history of astronomy from Thales to Kepler*. Dover Publication.
- Egypt Tours Portal. (2021, 30 November). Giza pyramids complex. <https://www.egypttoursportal.com/en-us/giza-pyramids-complex/>.
- European Southern Observatory.(2009, 25 Februari). The Helix Nebula. <https://www.eso.org/public/images/eso0907a/>
- Fischer, D., & Duerbeck, H. (1996). *Hubble: A new window to the universe*. Springer-Verlag.
- Freely, J. (2014). *Celestial revolutionary: Copernicus, the man and his universe*. I.B. Tauris & Co Ltd.
- Freidel, D. A., Schele, L., & Parker, J. (1993). *Maya cosmos: Three thousand years on the Shaman's Path*. William Morrow.
- Gendler, R., & GaBany, R. J. (2015). *Breakthrough! 100 astronomical images that changed the world*. Springer.
- Goronczy, E. E. (2021). Light pollution in Metropolises. *Analysis, Impacts and Solutions*. Springer.
- Graham-Smith, F. (2016). *Eyes on the Sky: A spectrum of telescopes*. Oxford University Press.
- Gribbin, J. R., & Rees, M. J. (1989). *Cosmic coincidences: Dark matter, mankind, and anthropic cosmology*. Bantam Books.
- Harris, J. (2006). *The dark side of the Moon: The making of the pink floyd masterpiece*. Da Capo Press.
- Hartt, F. (1976). *Art: A history of painting, sculpture, and architecture*. Abrams.
- Heggie, D. C. (1982). *Archaeoastronomy in the old world*. Cambridge University Press.
- Holst, G. C. (1998). *CCD Arrays, cameras, and displays*. JCD Publishing.
- Homeros. (2015). *The Iliad: A new translation* (P. Green, Penerj.). University of California Press.
- Honderich, T. (Ed.). (1995). *The Oxford companion to philosophy*. Oxford University Press

- Hufnagel, L. (Ed.). (2021). *Light pollution, urbanization and ecology*. IntechOpen DOI: 10.5772/intechopen.96897
- Jones, B. W. (1984). *The solar system*. Pergamon Press.
- Jones, T. (1999). *Beethoven: The 'Moonlight' and other sonatas, op. 27 and op. 31*. Cambridge University Press.
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of scientific revolution*. University of Chicago Press.
- Langone, J. (2000). *The mystery of time: Humanity's quest for order and measure*. The National Geographic Society.
- Lewis, J. S. (1995). *Physics and chemistry of the solar system*. Academic Press.
- London Science Museum (2023, 30 Agustus). Persian astrolabe. _World History Encyclopedia_. <https://www.worldhistory.org/image/17845/persian-astrolabe/>
- Maral, G., Bousquet, M., & Sun, Z. (2009). *Satellite communications systems: Systems, techniques and technology*. John Wiley and Sons.
- Markley, F. L., & Crassidis, J. L. (2014). *Fundamentals of spacecraft attitude determination and control*. Springer.
- McCray, W. P. (2004). *Giant telescopes: Astronomical ambition and the promise of technology*. Harvard University Press
- Milton, J., (2005). *Paradise Lost* (P. Pullman, kontributor). Oxford University Press.
- Mizon, B. (2002). *Light pollution: Responses and remedies*. Springer.
- Mumpuni, E. S., Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Puspitarini, L., Nurzaman, M. Z., Mumtahana, F., Yatini, C. Y., & Tanesib, J. L. (2017). *Selayang pandang Observatorium Nasional Timau*. Kepustakaan Populer Gramedia.
- Munitz, M. K. (Ed.). (1957). *Theories of the Universe: From Babylonian Myth to Modern Science*. The Free Press.
- Observatorium Griffith. (t.t.). Diakses pada tanggal 18 Juli 2024 dari <https://griffithobservatory.org>
- Ovidius. (2004). *Metamorphoses* (C. Martin, Penerj.). W. W. Norton & Co.
- Pagels, H. R. (2012). *The cosmic code: Quantum physics as the language of nature*. Dover Publications.
- Pasachoff, J. M. (1977). *Contemporary astronomy*. W. B. Saunders & Co.
- Phillips, K. J. H. (1992). *Guide to the Sun*. Cambridge University Press.

- Porter, J., Queener, H. M., Lin, J. E., Thorn, K., & Awwal, A. (2006). *Adaptive optics for vision science principles, practices, design, and applications*. Wiley-Interscience
- Pulimood, S. (2025, 8 November). School of Athens. _Encyclopedia Britannica_. <https://www.britannica.com/topic/School-of-Athens>
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless communications: Principles and practice*. Prentice Hall.
- Ruggles, C. L. N. (Ed.). (2015). *Handbook of archaeoastronomy and ethnoastronomy*. Springer Science+Business Media New York.
- Sagan, C. (1980). *Cosmos*. Random House.
- Sagan, C. (1986). *Contact*. Pocket Books.
- Seeds, M. A., & Backman, D. E. (2016). *The solar system*. Cengage Learning
- Shakerpeare, W. (2005). *The complete works* (S. Wells, pengantar). Oxford University Press.
- Shelley, P. B. (1996). *To a Sky-Lark*, Everyman Ltd.
- Silk, J. (1989). *The Big Bang: Revised and updated edition* W. H. Freeman and Company.
- Skrzypek, J. J., Ganczarski, A. W., Egner, H., & Rustichelli, F. (2008). *Advanced materials and structures for extreme operating conditions*. Springer.
- Škoda, P., & Fathallahman, A. (2020). *Discovery in big data from astronomy and Earth observation*. Elsevier Inc.
- Smoot, G., & Davidson, K., (1993). *Wrinkles in time*. Little, Brown, and Company.
- Temperly, N. (1991). *Haydn: The creation*. Cambridge University Press.
- The European Space Agency. (2004, 14 Januari). Carina Nebula (NGC 3372). https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Space_sensations/Carina_Nebula_NGC_3372
- Thorne, K. S. (1994). *Black holes and time warps: Einstein's outrageous legacy*. W. W. Norton and Company.
- Thronson, H. A., Stiavelli, M., & Tielens, A. G. G. M. (Ed.). (2009). *Astrophysics in the next decade: The James Webb Space Telescope and concurrent facilities*. Springer Science+Business Media B.V.
- Thuan, T. X. (1995). *The secret melody*. Oxford University Press.
- van Gogh, V. (1889). The starry night [Painting]. The Museum of Modern Art, New York, NY, United States. https://www.moma.org/learn/moma_learning/vincent-van-gogh-the-starry-night-1889/

- Way, M. J., Scargle, J. D., Ali, K.M., & Srivastava, A. N. (2012). *Advances in machine learning and data mining for astronomy*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Wells, H. G. (2012). *War of the worlds*. Atria Books.
- Wikimedia. (2006, 9 Desember). _Yerkes 40 inch refractor telescope-2006_. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yerkes_40_inch_Refractor_Telescope-2006.jpg
- Wilson, R. (1997). *Astronomy through the ages: The story of the human attempt to understand the universe*. Taylor & Francis.
- Witze, A. (2018). *NASA test proves pulsars can function as a celestial GPS*. *Nature* **553**, 261–262.
- Wordsworth, W. (1996). *The Prelude*. Penguin Classic.
- Rosicrucian Egyptian Museum. (t.t.). Deities in Ancient Egypt – Geb. *Egyptian Museum*. Diakses pada 25 Oktober 2025 dari <https://egyptianmuseum.org/deities-geb>.

