

MENYENANGI MATEMATIKA DAN SAINS MELALUI ASTRONOMI*1

Oleh

Judhistira Aria Utama

Laboratorium Bumi dan Antariksa

Jurusan Pendidikan Fisika

Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Pendidikan Indonesia

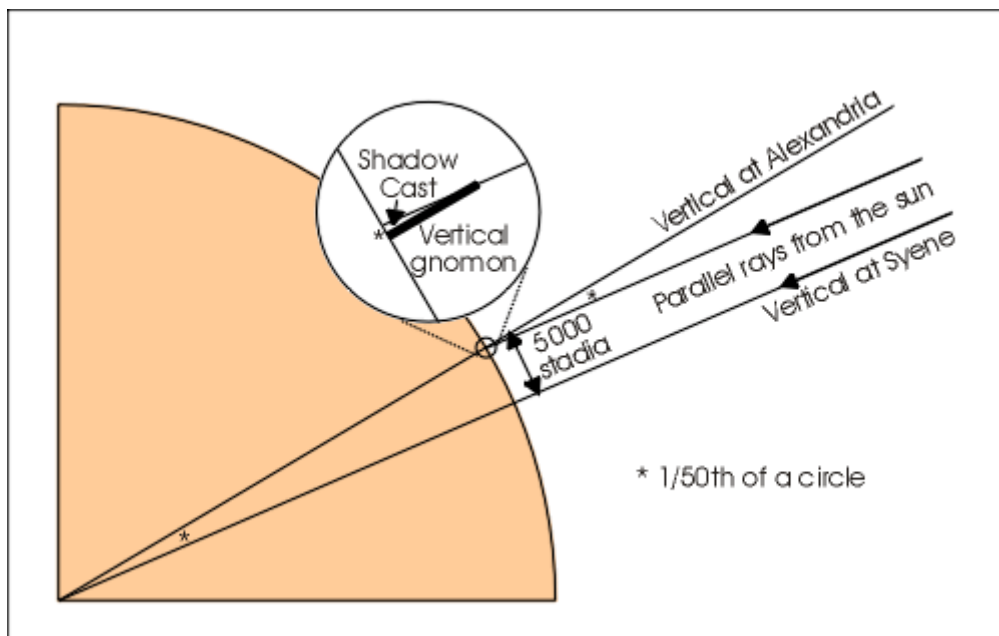
Langit telah menginspirasi umat manusia sejak peradaban di muka Bumi menengadahkan kepala ke arah kubah raksasa yang melingkunginya. Kesan magis yang pada awalnya sangat kuat mendominasi, berangsur-angsur berkurang beralih pada pertanyaan-pertanyaan cerdas yang memerlukan penjelasan. Sedikit dari pertanyaan yang teretus itu adalah *“Apa yang membuat alam semesta tampak luas seperti yang sekarang kita amati? Bagaimana ia berawal? Apakah benar alam semesta mengembang? Bagaimana alam semesta mengembang bila tidak ada ruang yang dapat diisi oleh pengembangannya?”* Fisikawan Albert Einstein pernah berujar bahwa imajinasi lebih berharga daripada pengetahuan (*knowledge*). Beruntung, astronomi dengan laboratorium alam semestanya senantiasa “mengguncang” emosi terdalam kemanusiaan kita melalui imajinasi, rasa ingin tahu, dan dorongan untuk bereksplorasi serta mengajak melakukan penemuan.

Mengukur Bumi

Sejarah sains menunjuk pada nama seorang filosof besar asal Yunani, Erathosthenes (276 – 195 SM), untuk usaha pertama manusia memahami ukuran benda langit. Dengan kecerdasannya, Erathosthenes dapat memanfaatkan rutinitas tahunan Matahari melintas di khatulistiwa langit (perluasan khatulistiwa Bumi) untuk menentukan keliling Bumi. Erathosthenes mengetahui bahwa pada tengah hari tanggal 21 Juni Matahari tepat berada di atas kota Syene, sebuah kota di sebelah selatan Mesir yang sekarang bernama Aswan, di dekat dam raksasa Sungai Nil. Dengan dapat diamatinya bayang-bayang Matahari dari sebuah sumur yang terdapat di kota tersebut (ini adalah salah satu cara mengamati Matahari dengan aman), menandakan bahwa Matahari tepat berada di atas kepala di kota itu. Bila Matahari berada tepat di atas kepala pengamat (zenit), berarti semua benda tegak di kota tersebut pada saat tengah hari akan “kehilangan” bayang-bayangnya. Pada saat tersebut bayang-bayang benda tepat berada di bawah bendanya.

* Disampaikan dalam **Seminar Nasional “Cakrawala untuk Negeri”** dalam rangka menyambut Transit Venus 2012 yang diselenggarakan oleh UKK Cakrawala, di Bandung pada tanggal 26 Mei 2012

Erathosthenes sendiri tinggal di Aleksandria, yang terletak di sebelah utara kota Syene. Di Aleksandria, pada saat tengah hari tersebut Matahari tidak tepat berada di zenit, sehingga semua benda tegak di Aleksandria masih menghasilkan bayang-bayang meskipun pendek. Dari Aleksandria Erathosthenes dapat mengamati jarak sudut Matahari dari arah zenit (disebut sebagai jarak zenit) saat tengah hari tersebut, dan mendapati besarnya $1/50$ kali sudut lingkaran atau sebesar 7,2 derajat. Dengan mengetahui jarak antara Syene – Aleksandria sebesar 840 km, bukan perhitungan yang sulit untuk memperoleh besarnya keliling Bumi. Dengan menganggap sinar Matahari tiba di Bumi secara sejajar, jarak zenit yang diperoleh Erathosthenes tidak lain menyatakan jarak sudut kedua kota tersebut diukur dari pusat Bumi yang dianggap berbentuk bulat sempurna. Dengan menggunakan perbandingan antara bukaan sudut yang diketahui (yaitu jarak sudut Syene – Aleksandria) dengan panjang busur lingkaran (yaitu jarak pisah kedua kota), Erathosthenes berhasil memperoleh keliling Bumi sebesar **42.000 km** ($= 360$ derajat $\times 840$ km / 7,2 derajat). Menakjubkannya, perhitungan yang dilakukan pada lebih dari 2000 tahun yang lalu ini hanya mempunyai kesalahan kurang dari 10% dari hasil yang diperoleh perhitungan modern!



<http://www.fes.uwaterloo.ca>

Ilustrasi pengukuran keliling Bumi oleh Erathosthenes.

Aristarchus dan Jarak ke Bulan

Memfaatkan informasi nilai garis tengah Bumi dari pengukuran keliling Bumi yang telah dilakukan Erathosthenes, filosof Yunani lainnya, yakni Aristarchus (310 – 230 SM), mengemukakan gagasan yang tidak kalah cemerlang. Seandainya Pembaca diberi tantangan untuk menentukan jarak Bumi – Bulan, penyelesaian macam apa yang terlintas di dalam benak? Ya, persoalan inilah yang ingin coba dipecahkan oleh Aristarchus. Tidak berhenti sampai di sini, Aristarchus bahkan melangkah lebih jauh lagi. Berbekal informasi jarak Bumi – Bulan yang telah diperoleh sebelumnya, filosof yang juga mengajarkan keyakinan tentang Bumi yang berotasi alih-alih diam ini, berlanjut mengembangkan metode untuk menghitung jarak Bumi – Matahari! Bagaimanakah metode yang digagas Aristarchus untuk menentukan jarak Bumi – Bulan tersebut?

Pada zaman itu tidak terbayangkan bagaimana caranya kita harus mengulur tali dari Bumi menuju Bulan bila kita tetap bertahan dengan pola pikir seperti yang biasa kita gunakan dalam keseharian. Dengan berpikir kreatif, terbukti Aristarchus dapat mengatasi tantangan pikiran tersebut. Bagaimana caranya? Yang diperlukan Aristarchus hanyalah hadirnya peristiwa gerhana. Pada masa Aristarchus, pengetahuan tentang periode sideris dan sinodis Bulan serta gerak regresi garis simpul (garis hubung kedua titik potong bidang orbit Bulan dengan bidang orbit Bumi atau ekliptika) sudah diketahui. Artinya, kapan akan terjadi momen gerhana yang dapat diamati dari lokasi mereka berada dapatlah diketahui dari kemampuan memprediksi peristiwa gerhana yang mereka miliki. Beruntung Aristarchus berkesempatan menyaksikan momen Gerhana Bulan Total (GBT). Pada peristiwa gerhana Bulan jenis ini, seluruh bundaran Bulan akan diselimuti oleh bayang-bayang gelap Bumi yang disebut umbra.

Dengan menganggap orbit Bulan berupa lingkaran (lingkaran memiliki ukuran kelonjongan 0; sebenarnya orbit Bulan berupa elips dengan ukuran kelonjongan 0,055), mula-mula Aristarchus harus menghitung terlebih dahulu besarnya kecepatan gerak Bulan di dalam orbit. Dengan mengetahui periode sideris Bulan (selang waktu yang diperlukan Bulan untuk satu kali mengitari Bumi) sebesar $27 \frac{1}{3}$ hari, besarnya kecepatan gerak Bulan di dalam orbit yang dinyatakan dalam satuan derajat per jam dapat dihitung dari hubungan

besar sudut lingkaran (= 360 derajat) dibagi dengan 656 jam (= 27 1/3 hari x 24 jam/hari), yaitu **0,55 derajat per jam**. Tambahan, saat itu Aristarchus mendapati bahwa Bulan berada di dalam umbra selama 3 jam. Untuk menyederhanakan kasus, kita dapat menganggap bahwa Bulan melintas tepat di tengah-tengah umbra selama GBT berlangsung. Dengan demikian, dalam kurun waktu 3 jam tersebut lebar bayang-bayang Bumi yang jatuh di Bulan dinyatakan dalam satuan derajat adalah **1,65 derajat** (= 0,55 derajat/jam x 3 jam).

Langkah terakhir dalam pekerjaan Aristarchus di atas adalah menentukan jarak Bumi – Bulan dengan menggunakan angka-angka yang telah diperoleh sebelumnya. Dengan menganggap Matahari terletak sangat jauh sehingga sinarnya yang mencapai tepi-tepi Bumi sejajar dengan sempurna, maka lebar total bayang-bayang Bumi adalah sebesar garis tengah Bumi, yaitu sebesar **13.364 km** menurut perhitungan yang diperoleh Erathosthenes. Akhirnya cukup hanya dengan menggunakan kesebandingan, Aristarchus memperoleh jarak Bumi – Bulan sebesar **463.874 km** (= [360 derajat / 1,65 derajat] x [13.364 km / [2xpi]] dengan pi = 22/7). Hasil yang diperoleh ini terlihat berbeda jauh dengan nilai rata-rata jarak Bumi – Bulan yang diakui saat ini, yaitu 384.400 km atau sekitar 60x jari-jari Bumi. Hal ini dapat dimengerti karena hadirnya sejumlah pengandaian di dalam perhitungan, di samping penggunaan nilai garis tengah Bumi dari pekerjaan Erathosthenes yang tidak luput dari kesalahan. Terlepas dari hal di atas kita tetap memperoleh gambaran atas kekuatan intuisi tentang pengetahuan mengenai ukuran dan jarak dari para filosof Yunani tersebut.

Hukum Gerak dan Gravitasi

Dalam pandangan filsafat Yunani, lingkaran merupakan bentuk yang sempurna. Menurut Plato, pergerakan sejati benda-benda langit dapat diterjemahkan ke dalam gerak melingkar seragam. Bahkan Nicolas Copernicus (1473 – 1543) dan Galileo Galilei (1564 – 1642) percaya bahwa satu-satunya cara untuk bergerak adalah dalam orbit lingkaran. Sampai-sampai untuk menerangkan lintasan lurus, Galileo berpendapat semata-mata karena besarnya lingkaranlah sehingga pandangan kita hanya dapat melihat potongan kecil yang tampak sebagai garis lurus tersebut. Meskipun mampu

menggoyang keamanan diktum orbit lingkaran, Johannes Kepler (1571 – 1630) belum mampu menerangkan mengapa benda-benda langit harus mengikuti ketiga buah hukum yang ditemukannya. Menjadi pertanyaan yang menggelitik, mengapa Kepler yang mampu menemukan hukum gerak benda-benda langit tidak mampu menjelaskan atas dasar apa hukum-hukumnya itu harus dipatuhi?

Pada tahun kematian Galileo, pada malam Natal lahir seorang bayi prematur yang kemudian diberi nama Isaac Newton (1642 – 1727). Dengan "matematika baru" yang dikembangkannya, yaitu kalkulus, Newton mampu menjelaskan pertanyaan di atas sekaligus membuktikan keabsahan Hukum Kepler melalui Hukum Gravitasinya. Seandainya Kepler saat itu sudah mengenal konsep gaya dan percepatan, hanya perlu selangkah lagi baginya untuk sampai kepada pencapaian monumental Newton tentang "aksi pada suatu jarak"; bahwa gaya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua benda. Sayangnya Kepler belum sampai pada pencerahan itu. Kepler berhenti sampai di kinematika, sementara untuk dapat menjelaskan keberlakuan Hukum Kepler Newton harus datang dengan memperkenalkan dinamika. Kita bisa saja mengatakan bahwa kali ini sejarahnya yang memilih tokoh. Pembaca dapat mencoba sendiri menurunkan hubungan antara gaya dan kuadrat jarak dengan menggunakan Hukum III Kepler. Penulis yakinkan bahwa Pembaca tidak akan pernah mendapatkannya kecuali berasumsi bahwa Kepler sudah mengenal konsep gaya yang menimbulkan percepatan.

Pada tahun 1781, William Herschel berhasil menemukan planet baru yang diberi nama Uranus; planet pertama yang ditemukan dengan bantuan teleskop. Namun ketika orbitnya diplotkan selama beberapa tahun ke depan, ternyata lintasan sesungguhnya tidak tepat sama. Perbedaan ini membuat Bouvard, seorang pakar matematika, menyimpulkan bahwa Hukum-Hukum Newton tidak berlaku pada jarak yang jauh dari Matahari. Meski demikian, Urbain Le Verrier (1811 – 1877) tetap yakin dengan keabsahan Hukum-Hukum Newton. Bahkan dengan menggunakan Hukum Newton, Le Verrier meramalkan bahwa gangguan orbit yang dialami Uranus ditimbulkan oleh planet asing. Setelah menyelesaikan perhitungan posisi planet asing tersebut, Le Verrier meminta bantuan Johann Galle untuk mencarinya di langit; di tempat yang menurut Le Verrier seharusnya ditemukan. Pencarian Galle

membuahkan hasil dengan ditemukannya Neptunus pada tahun 1846, sebuah penemuan yang dapat dipandang sebagai pengukuhan paling spektakuler dari Hukum-Hukum Newton dan puncak kejayaan astronomi teoritik pada masa itu.

Mengapa Astronomi?

Dari uraian singkat di atas, terlihat bahwa kita dapat menggunakan tema-tema astronomi sebagai penyerta dalam mengajarkan materi matematika dan sains. Ternyata pembahasan tentang topik lingkaran dalam matematika ataupun gravitasi dalam fisika dapat menjadi lebih menarik dan menggugah rasa penasaran manakala disertai dengan sentuhan yang mengulik emosi keingintahuan sebagai pembawaan alamiah manusia. Untuk pembahasan gravitasi misalnya, tantangan pikiran dapat berupa pencarian bobot tubuh seandainya ditimbang di planet-planet lain atau pengaruh yang dapat timbul pada orbit planet-planet seandainya massa Matahari bertambah atau berkurang sekian kali dari nilainya yang sekarang.

Lebih jauh lagi, astronomi yang futuristik telah menjadi keilmuan yang berada di garda terdepan pengetahuan umat manusia melalui laboratorium alam semestanya yang mampu menyediakan lingkungan ekstrem lebih dari apapun yang terdapat di Bumi. Astronomi telah pula memperluas khasanah pengetahuan geologi manusia dengan tersedianya beraneka contoh planet dan satelit alam di dalam jangkauan, masing-masing dengan kondisi lingkungan yang beragam. Di sini astronomi bersinggungan dengan biologi luar angkasa yang mencoba menjawab pertanyaan fundamental umat manusia: Adakah kawan bagi dirinya di keluasan semesta? Astronomi juga memacu perkembangan cabang matematika seperti trigonometri, logaritma, dan kalkulus yang kita tahu saat ini mengendalikan perkembangan superkomputer. Kaitannya dengan pendidikan, astronomi menyediakan alternatif pendekatan di dalam metode ilmiah, yaitu melalui kegiatan "observasi – simulasi – teori" melengkapi "eksperimen – teori" yang sudah lazim kita kenal. Tidak ketinggalan pula perannya dalam memberikan pengalaman berpikir secara abstrak sebagaimana dikemukakan dalam contoh sebelum ini mengenai ukuran relatif dan jarak serta usia benda-benda langit.

Dapatlah disimpulkan bahwa astronomi membangun jembatan dengan matematika, fisika, biologi, geologi, kimia, ekologi, dan beragam bidang ilmu lainnya termasuk bidang rekayasa (*engineering*). Meskipun demikian, tidak berarti bahwa pengajaran astronomi cukup dilakukan melalui masing-masing disiplin ilmu tersebut. Keterkaitan astronomi dengan berbagai disiplin ilmu memang tidak dapat dihindari, namun sebagai ilmu, astronomi tetap berbeda dengan lainnya dan merupakan sains yang independen. Dikaitkan dengan judul tulisan ini, menjadi cukup beralasan menjadikan astronomi sebagai jalan untuk lebih menyenangi matematika dan sains.

Sebagai penutup, Penulis sertakan pula tantangan pikiran yang terkait dengan astronomi bagi para hadirin. Dengan mengetahui jarak Bumi – Bulan, dapatkan Pembaca menuangkan gagasan dalam penentuan jarak Bumi – Matahari yang dikenal sebagai Satuan Astronomi (*Astronomical Unit*) dengan memanfaatkan fase Bulan setengah? Diketahui sudut yang dibentuk oleh Matahari – Bumi – Bulan sebesar 89,85 derajat. Sebagai petunjuk, mula-mula Pembaca harus dapat menggambarkan konfigurasi yang dimaksud dengan benar. Silakan menggunakan nilai 384.400 km sebagai jarak Bumi – Bulan. Tantangan yang ke dua masih berhubungan dengan Bulan. Tahukah Pembaca bahwa sebenarnya Bulan senantiasa jatuh menuju Bumi? Pertanyaannya, dapatkan pembaca menentukan berapa besar jarak jatuh Bulan setiap detik? Selamat berimajinasi!