

MAKALAH *INVITED SPEAKER*

ASTRONOMI YANG (SUDAH) MEMBUMI: Sejak Masa Nusantara hingga Abad Terkini¹

Judhistira Aria Utama

Laboratorium Bumi dan Antariksa, Kelompok Bidang Kajian Fisika Bumi dan Antariksa, Program Studi Fisika,
Departemen Pendidikan Fisika,
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi 229, Bandung, 40154, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: j.aria.utama@upi.edu

ABSTRAK

Di negara yang masih belum mapan secara ekonomi, menekuni sains-sains dasar termasuk di dalamnya adalah astronomi di jenjang pendidikan tinggi, tidak akan terhindar dari pertanyaan seputar keuntungan finansial/ekonomi (*financial/economical benefits*) yang dapat diraih dari pilihan tersebut. Terlebih bagi keilmuan astronomi yang secara kodrati subjek kajiannya melibatkan objek-objek luar Bumi, paradigma pragmatis di atas dan stereotip bahwa ia jauh dari aplikasi praktis seolah memperoleh pembenarannya. Sejatinya, astronomi adalah dekat karena ia merupakan “pelarian” manusia dalam usaha pencariannya atas keteraturan yang dapat dijadikan acuan dalam membangun sebuah sistem waktu. Berangkat dari pemahaman atas keteraturan gerak Matahari di bola langit yang dipadupadankan dengan irama nafas alam biotik dalam merespon paparan radiasi kalor bintang terdekat dengan Bumi ini, penduduk Nusantara yang berdiam di antara Gunung Merapi dan Merbabu pernah mengenal Pranatamangsa sebagai panduan mereka dalam bercocok tanam. Hal yang sama dikenal pula dengan sebutan Porhalaan di kalangan suku Batak, Wariga di Bali, maupun Kertamangsa di Tatar Sunda, meski kemudian kerusakan lingkungan fisik maupun biotik oleh sebab antropogenik diyakini memiliki andil pula atas hilangnya kearifan khas Nusantara tersebut pada masa kini.

Masuknya Islam di Nusantara turut pula dalam menyajikan bukti bahwa astronomi memiliki aplikasi praktis dalam kehidupan keseharian, hal mana berkaitan dengan kewajiban bagi penganutnya untuk melakukan ritual wajib lima kali dalam sehari semalam dalam waktu-waktu tertentu dengan menghadapkan wajah ke arah tertentu pula. Guna memperoleh waktu-waktu ritual tersebut manusia dituntut untuk dapat membaca tanda-tanda alam yang ditinggalkan Matahari, yang dalam bentuk sederhana ditempuh dengan mengamati bayang-bayang dan cahaya fajar ataupun senja. Hal ini berlanjut terus hingga sekarang, meski aktivitas mengobservasi tersebut telah ditinggalkan karena kemudahan yang diberikan oleh kehadiran penunjuk waktu mekanik yang didasarkan pada hasil perhitungan model matematis pergerakan Matahari maupun kehadiran teknologi GPS dalam memberikan petunjuk arah berakurasi tinggi.

Menjadi anggota dalam sebuah sistem keplanetan dengan bintang induk berupa bintang tunggal, Bumi diuntungkan karena berada di zona layak huni (*habitable zone*) yang memungkinkan air hadir dalam tiga fase sekaligus. Posisi Bumi di jarak yang tepat ini berperan vital dalam menghadirkan keanekaragaman bentuk kehidupan, mulai dari kehidupan paling sederhana bersel satu hingga yang paling kompleks berupa organisme cerdas. Ruang di sekitar Bumi yang memenuhi ketidaksamaan jarak orbit terdekat dari Matahari (*perihelion*, q) $< 1,3$ satuan astronomi dan jarak orbit terjauh dari Matahari (*aphelion*, Q) $> 0,98$ satuan astronomi disebut sebagai ruang dekat-Bumi. Dari observasi diketahui bahwa ruang ini dihuni oleh mayoritas berupa asteroid dengan jumlah

¹ Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Fisika yang diselenggarakan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya (UNESA), pada Sabtu 11 Agustus 2018.

populasi yang masih terus bertambah. Menjadi kekhawatiran tersendiri manakala asteroid berukuran besar (dalam orde kilometer) namun gelap luput dari patroli langit yang dilakukan. Meski mayoritas dari populasi asteroid dekat-Bumi (ADB) ini berakhir sebagai penumbuk Matahari atau terlempar ke bagian luar Tata Surya, sekitar 1%-nya berpeluang mengakibatkan bencana dalam skala regional hingga global saat bertumbukan dengan Bumi.

Sekelumit contoh yang dikemukakan di atas dimaksudkan untuk menunjukkan betapa dekat astronomi dengan kehidupan keseharian manusia. Bahkan astronomi dapat hadir sebagai isu bersama manakala bersinggungan dengan keberlangsungan hidup ras manusia di atas planet ini. Pemahaman yang dibangun manusia terhadap regularitas alam yang bermuara menjadi tata kelola sumber daya dan lingkungan yang baik inilah yang oleh manusia sekarang disebut sebagai kearifan (*wisdom*). Astronomi yang sejatinya adalah sains pengamatan telah mengajarkan bahwa alam selayaknya menjadi guru sekaligus sumber inspirasi yang tiada habisnya. Dengan semangat terus belajar dan menggali inspirasi dari semesta, manusia dapat memantaskan dirinya untuk menjadi pengelola Bumi dengan kearifan yang paripurna.

Kata kunci: *asteroid dekat-Bumi, gerak semu harian Matahari, gerak semu tahunan Matahari, observatorium*

ooOOOoo

Berangkat dari Kebutuhan

Sulit untuk menjawab kapankah awal mula pemahaman manusia tentang pergerakan benda langit dan pemanfaatannya untuk memenuhi berbagai keperluan dipraktikkan. Yang pasti, pada saat pola hidup berkelana masih dijalani, pada saat yang sama kelompok manusia yang demikian itu akan memerlukan pengetahuan tentang pergerakan benda-benda angkasa dan pola-pola yang tergambar di kubah raksasa sebagai kompas langit (Ammarel, 1998). Tidak saja di daratan, kebutuhan kepastian arah di lautan juga menjadi hal yang vital. Nusantara dikenal sebagai bangsa maritim sebagaimana diabadikan dalam salah satu relief di candi Budha terbesar era dinasti Syailendra, Borobudur, berupa pahatan kapal layar bercadik. Pesan kebesaran sebagai bangsa maritim ini juga tersemat di dalam lagu kanak-kanak “Nenek Moyangku Seorang pelaut”. Bahkan para ahli sejarah Indonesia meyakini bahwa kapal-kapal layar dari Nusantara sudah mengarungi samudera hingga mencapai Madagaskar di belahan timur benua hitam Afrika. Dalam perjalanan mengarungi samudera tersebut telah dipraktikkan pengetahuan tentang rasi bintang tertentu yang dimanfaatkan sebagai penunjuk arah selatan. Meski demikian, di luar faktor manfaat atau kegunaan seperti di atas, faktor lain berupa agama, keingintahuan ilmiah, dan politik turut mempengaruhi perkembangan ilmu yang mempelajari gerak dan posisi benda langit (Vahia & Yadav, 2011).

Pada saat pola hidup menetap menjadi pilihan dan pemenuhan kebutuhan pangan juga tidak lagi sekadar mengandalkan hasil buruan atau hasil hutan melainkan dari usaha bercocok tanam, maka pemahaman terhadap tanda-tanda langit menjadi kebutuhan terkait penentuan waktu dan pembentukan sistem penanggalan. Maass (1924) menunjukkan bahwa pengetahuan tentang langit beserta pola-pola bintang yang teramati dari paras Bumi telah dimiliki dan dipraktikkan oleh banyak suku di Nusantara. Bahkan setiap peradaban dan budaya memiliki imajinasinya sendiri dalam mengesani kenampakan bintang-bintang di langit malam. Rasi bintang Orion yang di dalam budaya Barat menjadi perlambang bagi Sang Pemburu yang gagah, di Nusantara kelompok bintang yang sama tersebut dikesani sebagai bentuk waluku. Demikian pula dengan rasi Crux, yang di Nusantara dikenal sebagai bentuk Layang-layang atau Gubug Penceng.

Untuk keperluan mengenali tibanya musim yang berbeda, berbagai suku bangsa di Nusantara telah mengetahui dengan baik perihai kemunculan maupun ketidaknampakan rasi-rasi bintang tertentu di kubah langit. Pada saat rasi bintang besar di khatulistiwa langit, Orion, tidak tampak menghiasi langit malam, selama periode itu aktivitas bercocok tanam padi pun dihentikan (Pannekoek, 1961). Kemunculan rasi bintang lainnya di ufuk timur sejak awal malam yang dalam budaya Barat dikenal sebagai rasi Scorpius (di tanah Jawa dikesani sebagai Klopoyong), menjadi pertanda bahwa saat itu sedang berada di musim

kering. Menurut mitos Yunani, Scorpius dan Orion adalah dua sosok yang bermusuhan satu sama lain sehingga keduanya berposisi secara diametral di langit; pada saat Scorpius merajai malam, pada saat yang bersamaan Orion justru berada di langit siang, demikian sebaliknya.

Faktor Manfaat: Penanggalan Pertanian

Tradisi pertanian padi basah oleh petani-petani yang mendiami kawasan kekuasaan kerajaan-kerajaan Jawa diketahui mengikuti irama keteraturan gerak Matahari di bola langit yang dipadupadankan dengan respon alam biotik. Sistem penanggalan pertanian yang dikenal sebagai Pranatamangsa ini (suku Batak mengenalnya dengan Porhalaan, di Bali sebagai Wariga, dan Kertamangsa di Tatar Sunda) didasarkan kepada gerak semu tahunan Matahari dengan panjang $365 \frac{1}{4}$ hari dalam setahun. Penanggalan ini dikukuhkan oleh Sri Susuhunan Pakubuwono VII di Surakarta atas bantuan ahli perbintangan kesultanan pada 22 Juni 1855 (Tanojo, 1962), meskipun telah dipraktikkan secara turun-temurun oleh petani Jawa sejak ribuan tahun sebelumnya. Pembakuan oleh sultan dimaksudkan untuk menguatkan sistem penanggalan yang mengatur irama kerja bidang pertanian dengan perubahan musim yang terjadi setiap tahunnya. Penanggalan ini sekaligus merefleksikan kearifan lokal masyarakat agraris di Nusantara, terutama yang berdiam di antara gunung Merapi dan Merbabu, melalui pengaturan waktu produktif dan waktu istirahat lahan pertanian dari keterkaitan erat antara aspek kosmografis dan bioklimatologis.

Dengan panjang $365 \frac{1}{4}$ hari dalam setahun yang terbagi menjadi 12 bulan, penanggalan Pranatamangsa menerapkan pula aturan tahun kabisat (dikenal dengan istilah tahun wastu), yaitu jumlah hari menjadi 366 hari setahun, pada tahun ke-4 setelah tiga tahun berturut-turut sebelumnya berjumlah 365 hari (tahun wuntu). Penyisipan 1 hari tambahan tersebut diberikan untuk bulan ke-8, sehingga bulan ini yang pada tahun wuntu hanya berjumlah 26 hari menjadi berdurasi 27 hari pada tahun wastu. Daldjoeni (1983) mengemukakan sifat simetri dari sistem penanggalan ini sebagai berikut:

- 1) satu tahun yang panjangnya 365 hari dibagi menjadi 2 tengah tahunan yang masing-masing terdiri atas 6 mangsa dengan panjang hari yang simetri, yaitu (dari bulan pertama hingga bulan ke dua belas): 41 – 23 – 24 – 25 – 27 – 43 (tengah tahun pertama) dan 43 – 26 – 25 – 24 – 23 – 41 (tengah tahun ke dua). Khusus pada tahun wastu, bulan ke-8 menjadi terdiri atas 27 hari.
- 2) awal bulan pertama adalah ketika Matahari berada di zenit (tengah hari) garis balik utara (*Tropic of Cancer*), yang bersesuaian dengan tanggal 21/22 Juni dalam kalender Surya Gregorian, sementara bulan ke-7 yang berselang 6 bulan kemudian terjadi saat Matahari di zenit garis balik selatan (*Tropic of Capricorn*), yang bersesuaian dengan tanggal 21/22 Desember.
- 3) kedua periode tengah tahunan bersambungan pada bulan yang paling panjang (bulan ke-12 dan ke-1 yang berjumlah 82 hari dan bulan ke-6 dan ke-7 yang berjumlah 86 hari).
- 4) bulan ke-12 dan bulan ke-1 (keduanya disebut sebagai mangsa terang) diapit oleh dua buah bulan yang kontras, yaitu bulan ke-11 (mangsa panen) dan bulan ke-2 (mangsa paceklik). Bulan ke-6 dan ke-7 (keduanya disebut mangsa udan) diapit oleh dua bulan yang bertepatan dengan saat Matahari berada di zenit kawasan dengan lintang geografis $7,5^\circ$ LS pada tengah hari, yaitu bulan ke-5 dan bulan ke-8.
- 5) bulan-bulan penuh pengharapan (mangsa pangarep-arep), yaitu bulan berbiaknya berbagai jenis hewan dan tanaman makanan pokok (bulan ke-8, 9, dan 10) berhadap-hadapan dengan bulan-bulan putus asa (mangsa semplah) yang juga terdiri atas 3 bulan, yaitu bulan ke-3, 4, dan 5.

Di manakah kesesuaian antara aspek kosmografis dan bioklimatologis dalam pembagian bulan-bulan di atas? Awal bulan ke-1 penanggalan Pranatamangsa yang bersesuaian dengan tanggal 21/22 Juni dalam kalender Surya Gregorian, ditandai langit malam yang cerah dengan kehadiran (salah satunya) rasi bintang Gubug Penceng dan fenomena hujan meteor yang berasal dari rasi Aquarius (Hidayat, 2000). Kondisi bulan Juni yang panas ini menjadi pertanda bagi para petani untuk memulai menanam tanaman kering semisal

singkong, jagung, dan kapuk. Namun demikian, perubahan kondisi lingkungan karena faktor antropogenik dan kemajuan teknologi pertanian saat ini tampak telah menggerus praktik salah satu kearifan lokal khas Nusantara di atas.

Kehadiran penanggalan Pranatamangsa yang bahkan telah dipraktikkan sejak ribuan tahun sebelumnya semakin menegaskan bahwa para petani Jawa masa itu secara tak terbantahkan memiliki kesadaran tentang fenomena langit siang maupun langit malam. Sebagai pengamat langit semestinya mudah bagi mereka untuk mengesani kehadiran fenomena spektakular yang hadir di langit mereka. Namun demikian, nyatanya fenomena supernova (ledakan bintang masif di akhir kehidupannya) yang terjadi pada 1006 M (Clark & Stephenson, 1984) di rasi bintang Centaurus justru luput dari perhatian dan tidak muncul dalam catatan sejarah khasanah perlangitan Nusantara. Menarik untuk mengaitkan fenomena spektakular di atas dengan pemindahan pusat kerajaan Mataram Hindu di wilayah yang subur Jawa Tengah ke Jawa Timur. Alasan pemindahan tersebut belum sepenuhnya dijelaskan. Penjelasan berlatar geologis yaitu oleh sebab letusan gunung Merapi yang terletak beberapa puluh kilometer di sebelah utara pusat kerajaan, nyatanya tidak didukung oleh fakta kejadian bencana alam yang terjadi pada masa tersebut. Boleh jadi ahli perbintangan kerajaan menyadari kehadiran fenomena spektakular tersebut namun menerjemahkannya sebagai sebuah tanda alam yang “tidak baik” bagi kelangsungan kerajaan yang mendasari pemindahan besar-besaran di atas. Atau dimungkinkan pula ketiadaan catatan sejarah terkait fenomena langit ini karena kurangnya rasa ingin tahu masyarakat pada masa itu terhadap fenomena yang terjadi (Hidayat, 2000).

Faktor Agama: Hadirnya Islam di Nusantara

Ada beragam teori yang mencoba menjelaskan masuknya Islam ke wilayah Nusantara. Salah satunya, yang disebut sebagai Teori Maritim (dikemukakan oleh sejarawan Pakistan, N.A. Baloch, dalam bukunya *The Advent of Islam in Indonesia*) mengungkapkan bahwa ajaran Islam mulai didakwahkan di pantai-pantai Nusantara oleh saudagar-saudagar Arab sejak abad ke-7 M atau sekitar 6 abad lebih awal daripada Teori Gujarat dari Snouck Hurgronje (Suryanegara, 2016). Perjalanan mengarungi samudera pada masa itu tentu sangat mengandalkan pengetahuan navigasi terkait gerak dan posisi benda-benda langit, mengingat baru pada abad ke-11 M instrumen kompas diadopsi dalam dunia pelayaran.

Di antara materi dalam dakwah Islam adalah kewajiban bagi para pemeluknya untuk mendirikan ritual salat wajib lima kali dalam sehari-semalam dengan cara menghadap ke arah kiblat di kota Mekah. Bagi mereka yang berada di Masjid al Haram di kota Mekah, Saudi Arabia, bukan hal yang sulit untuk mengetahui ke arah mana mereka harus menghadapkan wajahnya agar menatap bangunan Kabah. Hal ini menjadi persoalan manakala pemeluk Islam sudah semakin tersebar di berbagai penjuru dunia termasuk di Nusantara. Selain persoalan arah ini, ritual wajib 5x sehari-semalam juga memiliki waktu-waktunya tersendiri, yang menjadi tidak sah manakala dilakukan di luar waktu yang telah ditetapkan syariat. Guna memperoleh arah hadap ke Kabah secara tepat, mutlak diperlukan pengetahuan tentang posisi harian Matahari di bola langit; bilakah Matahari tepat berada di zenit Kabah saat tengah hari? Lokasi kota Mekah yang lebih barat daripada posisi wilayah Nusantara, membuat waktu tengah hari di sana saat Matahari mencapai kulminasi atas di zenit Kabah, bersesuaian dengan sore hari menjelang terbenamnya Matahari untuk kawasan barat dan tengah Nusantara. Pada saat tersebut, bayang-bayang sebuah tongkat yang tertancap tegak lurus paras Bumi akan mengarah berlawanan dengan arah kiblat. Demikian pula dengan mengenali tibanya awal waktu-waktu salat, yang dalam bentuk sederhana ditempuh dengan melakukan pengamatan panjang bayang-bayang tongkat dan kemunculan cahaya fajar ataupun hilangnya cahaya senja.

Patut pula dicatat kontribusi ilmuwan-ilmuwan muslim di jazirah Arab dalam mengembangkan trigonometri, yang variannya berupa trigonometri untuk permukaan lengkung (*spherical trigonometry*) menjadi perangkat utama dalam kalkulasi posisi benda-benda langit termasuk Matahari dan Bulan. Dengan bantuan trigonometri bola ini pula, penentuan arah kiblat pada sembarang hari dalam setahun mudah untuk

dilakukan tanpa harus bergantung hanya pada momentum Matahari berada di zenit Kabah saat tengah hari. Tidak terkecuali pemanfaatannya dalam penentuan waktu-waktu salat mengikuti tanda-tanda alam di atas maupun fenomena alam semisal gerhana Matahari dan gerhana Bulan. Berkembangnya perhitungan model matematis pergerakan Matahari dan penemuan jam mekanik yang memberi kemudahan (pertama kali diperkenalkan di Eropa pada abad 13 – 14 M) membuat aktivitas mengobservasi tanda-tanda alam dalam penentuan waktu-waktu salat pun telah ditinggalkan, demikian pula dengan dampak kehadiran teknologi GPS di era eksplorasi angkasa dalam memberikan petunjuk lokasi dan arah di paras Bumi dengan akurasi tinggi.

Hadirnya Islam di Nusantara yang memperkenalkan sistem penanggalan berbasis Bulan (*lunar calendar*) juga mendorong aktivitas pengamatan kemunculan anak Bulan (hilal) untuk pertama kali setelah “hilang” dari langit malam pada malam hari terjadinya konjungsi. Aktivitas pada setiap tanggal 29 dari bulan yang sedang berjalan ini menjadi krusial manakala dilakukan dalam kaitan penentuan awal bulan Ramadan (bulan ke-9 dalam kalender Hijriyah), awal Syawal (bulan ke-10), dan awal Zulhijah (bulan ke-12) mengingat pada ketiga waktu istimewa tersebut umat Islam bertemu dengan kewajiban berpuasa selama satu bulan penuh dari sejak terbit fajar hingga terbenam Matahari, berhari raya yang menandai akhir dari kurun waktu satu bulan berpuasa, dan jatuhnya tanggal 10 Zulhijah yang bertepatan dengan hari raya Haji atau Kurban. Pentingnya kalender Bulan bagi peradaban manusia di banyak tempat di dunia dan beragam kriteria kenampakan/visibilitas hilal global dapat dijumpai dalam literatur (misalnya Ilyas (1994) dan Odeh (2004)), demikian pula untuk kriteria visibilitas yang berlaku khusus untuk wilayah tropis (Utama & Siregar (2013), Utama & Hilmansyah (2013)).

Faktor Keingintahuan Ilmiah & Politik

Penjajahan atas Nusantara melalui politik dagang telah memberi warna jejak astronomi di Nusantara yang ditandai dengan dilibatkannya instrumen optik berupa teleskop sepanjang 550 cm dalam kegiatan pengamatan benda-benda langit melalui pembangunan Observatorium Mohr di Batavia pada masa VOC. Selama masa beroperasinya observatorium ini telah dilakukan berbagai observasi langit dan sejumlah fenomena alam, di antaranya Jupiter dan satelit-satelitnya, transit Venus 4 Juni 1769, transit Merkurius 10 November 1769, pengukuran curah hujan, dinamika angin dan deklinasi magnetik di Batavia (Sudibyo, 2012). Bahkan, pascalahirnya Indonesia astronomi menjadi semakin maju dengan diakomodasinya bidang ini dalam kurikulum pendidikan dasar hingga tinggi. Untuk saat ini, di jenjang pendidikan tinggi di Indonesia terdapat dua nomenklatur yang mengakomodasi bidang ilmu ini dengan nama Program Studi Astronomi di Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat dan Program Studi Sains Atmosfer & Keplanetan di Institut Teknologi Sumatera, Lampung.

Pada tahun 1919 dibentuk *International Astronomical Union* yang menjadi wadah bagi komunitas astronomi dunia dengan rencana strategisnya adalah:

1. *Because astronomy combines science and technology with inspiration and excitement, it can play a unique role in facilitating education and capacity building and in furthering sustainable development throughout the world;*
2. *A challenging science in itself, astronomy provides an exciting gateway into physics, chemistry, biology and mathematics;*
3. *The need to study the faintest celestial objects has driven advanced developments in electronics, optics and information technology; and*
4. *The quest to explore the Universe satisfies the deepest cultural and philosophical yearnings of our species and can stimulate a sense of global citizenship.*

Tentu saja dalam upaya memahami fenomena yang terpampang di luar Bumi ini fisika menjadi tulang punggungnya dengan bahasa yang dipandang universal pula, yakni matematika. Kedekatan antara astronomi dan fisika menjadi nyata adanya, di antaranya berkat kondisi ekstrem yang mampu disediakan alam semesta yang belum mampu diduplikasi dalam laboratorium Bumi kita. Dengan hadirnya planet-planet terestrial selain Bumi di Tata Surya, geolog menjadi memiliki contoh yang beragam tentang kondisi lingkungan dan properti di masing-masing planet. Sisi menariknya, dan hal ini sekaligus menjadi pembeda dengan ranah ilmu alam lainnya, adalah bahwa astronomi dapat didekati secara profesional maupun amatir, formal dan non-formal (Sawitar, 2016).

Pascaberhenti beroperasinya Observatorium Mohr setelah wafatnya sang pendiri, Johann Mauritz Mohr, pada 1775 juga selain karena ketiadaan sokongan dana operasional dari VOC, perlu waktu hampir 150 tahun untuk hadirnya kembali sebuah observatorium di tanah Jawa. Adalah Karel Albert Rudolf Bosscha, seorang tuan tanah pecinta ilmu pengetahuan, yang bersedia mendanai pembangunan observatorium baru di Bumi belahan selatan. Pembangunan observatorium yang dilakukan oleh Perhimpunan Bintang Hindia Belanda ini selesai dilakukan pada 1928 dengan instrumen terbesarnya berupa teleskop pembias ganda (masing-masing berdiamater 60 cm) dari pabrikan Jerman, Carl Zeiss Jena. Pemilihan lokasi observatorium di puncak sebuah bukit di kota Lembang, kawasan Bandung utara, berangkat dari pertimbangan meteorologis, di antaranya adalah banyaknya jumlah langit malam yang cerah dalam satu tahun dan *seeing* yang baik (indikator tenang atau turbulennya atmosfer Bumi yang berdampak terhadap kualitas hasil pengamatan). Lokasi observatorium yang berada di jalur sesar Lembang yang aktif telah diantisipasi dengan membuat konstruksi bangunan kubah teleskop yang tahan guncangan gempa hingga 7 skala Richter.

Dua kegiatan utama di observatorium yang selanjutnya diberi nama Bosscha ini adalah pengamatan bintang ganda visual menggunakan teleskop pembias ganda dan pengamatan survei galaksi Bima Sakti memanfaatkan teleskop Schmidt BIMA SAKTI (sebuah teleskop cermin dengan diameter 71 cm yang berfungsi sebagai kamera raksasa dengan desain optik fokus utama) hibah dari UNESCO yang selesai diinstalasi pada tahun 1960. Dari data program pengamatan bintang ganda visual yang dilakukan sejak awal beroperasinya observatorium, astronom di Observatorium Bosscha memperoleh orbit bintang ganda yang sebagiannya telah tercatat dalam katalog HIC (*Hipparcos Input Catalogue*). Pengetahuan yang akurat tentang orbit bintang ganda dapat menjadi “alat ukur” untuk menimbang massa masing-masing komponen menggunakan Hukum III Kepler. Dalam astrofisika, massa merupakan besaran fundamental yang akan menentukan jejak evolusi lanjut seperti apa yang mungkin dijalani suatu bintang. Pada masa ini astronomi tidak lagi dibatasi hanya dari sisi praktisnya namun juga untuk memuaskan rasa ingin tahu terdalam manusia tentang hakikat fenomena yang diamatinya di langit.

Pertumbuhan kawasan karena pertambahan populasi penduduk adalah hal yang tidak dapat dielakkan. Dan itulah yang mendera eksistensi Observatorium Bosscha sebagai institusi penelitian astronomi di Indonesia sejak dekade 80-an. Pembengkakan populasi penduduk sekitar observatorium telah menghadirkan jenis baru polusi, yaitu polusi cahaya, yang mendegradasi kualitas langit malam sehingga menyembunyikan benda-benda langit yang redup. Untuk menyelamatkan observatorium ini perlu adanya kehendak politik dari Pemerintah dengan menghadirkan payung hukum. Melalui Kepmenbudpar No. 51/2004, Observatorium Bosscha ditetapkan sebagai benda cagar budaya meski payung hukum ini belum mendefinisikan fungsi observatorium secara detil. Berbekal keputusan menteri ini keberadaan observatorium dilindungi Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1992 tentang Benda Cagar Budaya. Pada tahun 2008, melalui keputusan presiden, statusnya telah ditingkatkan menjadi objek vital nasional. Pada tanggal 6 Agustus 2013 DPR RI telah mengesahkan Undang Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan, yang mengamatkan bangsa Indonesia untuk mandiri dalam penguasaan sains dan teknologi keantariksaan, termasuk astronomi dan astrofisika. Sejak tahun 2017 pula tanggal 6 Agustus dicanangkan sebagai Hari Antariksa Nasional.

Astronomi di Indonesia Saat Ini

Kebutuhan untuk meneruskan tradisi “sadar langit” yang mengakar di Nusantara telah mendorong hadirnya usulan pembangunan Observatorium Nasional di lingkungan yang lebih kondusif dengan dukungan instrumentasi modern. Naskah akademik telah disiapkan oleh astronom ITB yang selama lebih dari tujuh tahun melakukan observasi dan pengukuran dan berujung pada penetapan Gunung Timau di Kec. Amfoang Tengah Kab. Kupang NTT sebagai lokasi Observatorium Nasional. Pembangunan telah dimulai pada tahun 2018 ini dan diharapkan *first light* untuk teleskop dapat terlaksana pada akhir tahun 2019 atau awal tahun 2020.

Dengan instrumen utama berupa teleskop optik jenis pemantul berdiameter total 3,8 m yang tersusun atas kepingan cermin-cermin kecil, Observatorium Nasional Gunung Timau akan menjadi observatorium dengan teleskop terbesar di Asia Tenggara. Teleskop ini nantinya akan didukung pula dengan detektor elektronik berupa kamera *Charge-Coupled Device* (CCD) dan spektrograf. Menurut informasi yang penulis terima dari peneliti LAPAN (lembaga yang mengelola Observatorium Nasional ini) Dr. Rhorom Priyatikanto, teleskop 3,8 meter ini nantinya akan memiliki arsitektur optik Ritchey-Chrétien dengan cermin primer dan sekunder berbentuk hiperbola serta sebuah cermin tersier yang memantulkan cahaya ke bidang fokus Nasmyth. Desain ini dipilih karena dapat meminimalkan cacat bayangan yang terbentuk serta memudahkan penggunaan instrumen canggih berbobot 20 ton ini. Teleskop ini dirancang oleh Dr. Mikio Kurita dan dibangun oleh pabrik dari Jepang (Nishimura Optical). Tidak bisa dipungkiri bahwa kebutuhan dalam astronomi telah mendorong kemajuan teknologi (bahan, sensor, pemrosesan citra dll) yang berarti pula menggiatkan ekonomi melalui industri astronomi.

Salah satu program penelitian yang dicanangkan dengan memanfaatkan teleskop terbesar di observatorium ini adalah pengamatan patroli terhadap benda-benda kecil Tata Surya, khususnya populasi Asteroid Dekat-Bumi (ADB). Populasi ADB diketahui berjumlah 18.443 objek berbagai ukuran dari keempat kelas yang ada (kelas Amor yang memiliki orbit memotong orbit planet Mars, Apollo dan Aten yang memiliki orbit memotong orbit Bumi, dan kelas Atira yang seluruh orbitnya berada di sebelah dalam orbit Bumi) per tanggal 5 Agustus 2018. Per tanggal yang sama, terdapat 307 ADB dengan diameter ≥ 1 km, ukuran yang cukup untuk menghadirkan katastropik global bila bertumbukan dengan Bumi. Populasi ADB adalah asteroid yang menempati ruang di sekitar Bumi yang memenuhi ketidaksamaan jarak orbit terdekat dari Matahari (*perihelion*, q) $< 1,3$ satuan astronomi dan jarak orbit terjauh dari Matahari (*aphelion*, Q) $> 0,98$ satuan astronomi (1 satuan astronomi didefinisikan sebagai jarak rata-rata Bumi dari Matahari, yaitu sebesar 150.000.000 km). Menjadi kekhawatiran tersendiri manakala asteroid berukuran besar (diameter ≥ 1 km) dengan nilai albedo rendah sehingga tampak gelap luput dari patroli langit yang dilakukan. Melalui simulasi orbit dari 3372 sampel ADB nyata yang memiliki galat orbit terkecil dengan komputasi numerik problem N-benda, Utama (2017) memperoleh bahwa mayoritas ADB akan berakhir sebagai penumbuk Matahari (~28%) atau terlempar keluar dari Tata Surya (~24%) selama 5 juta tahun waktu komputasi dari saat ini ke masa depan. Sementara itu dalam jumlah minor (~4%) berakhir sebagai penumbuk planet-planet terestrial, terutama planet Venus, Bumi, dan Mars. Hasil ini konsisten dengan yang diperoleh dari sejumlah penelitian terdahulu (Farinella et al., 1994; Gladman et al., 1997; Morbidelli & Gladman, 1998).

Selain itu, Utama (2017) juga mendapati bahwa peran efek emisi termal non-isotropik berupa gaya Yarkovsky yang bekerja bersama-sama dengan gaya gravitasi pada populasi ADB mampu mengubah orbit asteroid. Orbit yang berubah dapat mempengaruhi estimasi laju tumbukannya dengan planet-planet terestrial di Tata Surya. Nilai laju tumbukan antara Bumi dengan seluruh kelas ADB berdiameter ≥ 1 km adalah $4,8 \times 10^{-8}$ per tahun, dengan nilai terbesarnya diperoleh untuk tumbukan yang melibatkan ADB kelas Apollo, yaitu sebesar $4,9 \times 10^{-8}$ per tahun, diikuti kelas Aten sebesar $3,2 \times 10^{-8}$ per tahun (Utama, 2017). Mampukah

Bumi, rumah besar yang kita huni, dan ras manusia yang hidup di atasnya selamat dari peristiwa katastrofik di atas? Uraian beragam metode mitigasi yang disesuaikan dengan informasi properti fisis asteroid yang tersedia dapat dijumpai dalam Michel (2013). Hyland et al. (2010) mengusulkan teknik mitigasi bencana dengan skenario yang memanfaatkan kebergantungan efek Yarkovsky terhadap Bond albedo. Dalam skenario yang diusulkan, sebuah wahana antariksa yang dilengkapi *The Albedo Change System* (ACS) diterbangkan ke orbit asteroid untuk melakukan modifikasi albedo. Wahana akan menaburkan serbuk halus ke seluruh permukaan asteroid sampai dengan ketebalan yang diperlukan untuk mampu mengubah gaya Yarkovsky. Perubahan gaya Yarkovsky yang dipicu oleh perubahan albedo diharapkan akan mengubah orbit asteroid dari yang semula berpotensi membahayakan Bumi menjadi orbit yang aman bagi Bumi. Tampaknya, upaya manusia dalam menjaga kelestarian lingkungan hidupnya melalui tata kelola sumber daya dan lingkungan yang baik perlu juga disertai upaya proteksi dari bencana yang mungkin timbul dari luar angkasa.

Epilog

Berdasarkan uraian di atas, nyata adanya *sky awareness* di dalam masyarakat agraris maupun penjelajah samudera Nusantara. Meski pada awalnya lingkup “ilmu tentang langit” ini terbatas pada aplikasi praktis untuk menjawab tantangan hidup keseharian, seiring berjalannya waktu pengetahuan praktis dan pengetahuan murni astronomi menemukan kesetimbangannya.

Astronomi yang sejatinya adalah sains pengamatan telah mengajarkan bahwa alam selayaknya menjadi guru sekaligus sumber inspirasi yang tiada habisnya. Suatu peradaban tidak akan dapat eksis tanpa astronomi; semakin maju suatu peradaban semakin dalam pula pemahaman astronomi yang dimilikinya. Melanjutkan tradisi berakrab-akrab dengan langit dan fenomenanya, lebih dari sekadar mengekalkan ikatan emosional primordial antara manusia dengan langit. Berakrab-akrab dengan langit justru untuk senantiasa mengingatkan manusia supaya terus belajar dan menggali inspirasi dari semesta, agar manusia dapat memantaskan dirinya untuk menjadi pengelola Bumi dengan kearifan yang paripurna.

Referensi

- Ammarel, G., 1998. Astronomy in the Indo-Malay Archipelago. Dalam *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*, Helaine Selin, ed. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Clark, D. H. dan F. R. Stephenson, 1976. *The Historical Supernovae. The Study of Supernova Remnants Based on Historical Observations*. Oxford: Pergamon Press.
- Daldjoeni, N., 1983. Penanggalan Pertanian Jawa Prananotomongso. Dalam *Proyek Javanologi*, Departmen P dan K (Monograf Departmen Pendidikan). Jakarta.
- Farinella, P., Ch. Froeschlé, C. Froeschlé, R. Gonczi, G. Hahn, A. Morbidelli, dan G.B. Valsecchi, 1994. *Asteroids Falling onto the Sun*, Nature, 371, 314–317.
- Gladman, B.J., F. Migliorini, A. Morbidelli, V. Zappalà, P. Michel, A. Cellino, Ch. Froeschlé, H. Levison, M. Bailey, dan M. Duncan, 1997. *Dynamical Life-Times of Objects Injected into Asteroid Belt Resonances*, Science, 277, 197–201.
- Hidayat, B., 2000. Indo-Malay Astronomy. Dalam *Science Across Cultures: The History of Non-Western Science*, Helaine Selin, ed. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hyland, D.C., H.A. Altwaijry, S. Ge, R. Margulieux, J. Doyle, J. Sandberg, B. Young, X. Bai, J. Lopez, dan N. Satak, 2010. *A Permanently-Acting NEA Mitigation Technique via the Yarkovsky Effect*, Cosmic Research, 48(5), 430–436.
- Ilyas, M., 1994. *Lunar Crescent Visibility Criterion and islamic Calendar*, Quarterly Journal of Royal Astronomical Society, 35, 425–461.
- Maass, A., 1924. Sternkunde und Stern deuterei in Malaiischen Archipel.' Tijdschrift v. Taal. Land en Volkenkunde 64.

- Michel, P., 2013. *Physical Properties of Near-Earth Objects that Inform Mitigation*, Acta Astronautica, 90, 6–13.
- Morbidelli, A. dan B. Gladman, 1998. *Orbital and Temporal Distributions of Meteorites Originating in the Asteroid Belt*, Meteorites and Planetary Sciences, 33, 999–1016.
- Odeh, M. Sh., 2004. *New Criterion for Lunar Crescent Visibility*, Experimental Astronomy, 18, 39–64.
- Pannekoek, A., 1961. A History of Astronomy. London: George Allen and Unwin Ltd.
- Sawitar, W., 2016. Tersedia di: <https://planetarium.jakarta.go.id/index.php/artikel-astronomi/63-sekilas-sejarah-perkembangan-astronomi-di-indonesia>
- Sudibyo, M.M., 2012. Tersedia di: <https://langitselatan.com/2012/06/19/pelacakan-tapak-observatorium-tertua-di-indonesia/>
- Suryanegara, A.M., 2016. *Api Sejarah: Mahakarya Perjuangan Ulama dan Santri dalam Menegakkan Negara Kesatuan Republik Indonesia Jilid Kesatu*. Bandung: Surya Dinasti.
- Tanojo, R., 1962. Primbon Jawa: Sabda Pandita Ratu. Sala: T.B. Pelajar.
- Utama, J.A. dan S. Siregar, 2013. *Usulan Kriteria Visibilitas Hilal di Indonesia dengan Model Kastner*, Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, 9(2), 197–205.
- Utama, J.A. dan Hilmansyah, 2013. *Penentuan Parameter Fisis Hilal sebagai Usulan Kriteria Visibilitas di Wilayah Tropis*, Jurnal Fisika, 3(2), 122–127.
- Utama, J.A., 2017. Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, 98 & 102.
- Vahia, M.N. dan N. Yadav, 2011. The Origin and Growth of Astronomy as Viewed from an Indian Context. Dalam *Highlighting the History of Astronomy in the Asia-Pacific Region*, Wayne Orchiston et al., ed. New York, Astrophysics and Space Science Proceedings.