

Bab XI

Epilog: Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Sains dan Teknologi

Thomas Djamaluddin

Kajian tentang sains dan teknologi keantariksaan untuk masyarakat dan bangsa dimulai dengan ulasan tentang aktivitas Matahari. Parameter aktivitas Matahari yang paling banyak digunakan adalah bintik Matahari atau *sunspot*. Matahari sebagai bintang terdekat berperan besar bagi Bumi. Selain sebagai sumber energi utama, Matahari juga ternyata sebagai sumber gangguan. Gangguan dari badai matahari bersumber dari aktivitas magnetik Matahari yang ditunjukkan dengan bintik matahari dan fenomena yang terkait.

Aktivitas Matahari, terutama berupa letupan (*flare*) Matahari dapat berdampak pada lingkungan Bumi. Seperti halnya cuaca di Bumi, cuaca antariksa bersifat dinamis, bergantung kondisi aktivitas Matahari sebagai sumber gangguan. Dampak paling dirasakan adalah potensi gangguan pada satelit, terputusnya komunikasi radio gelom-

T. Djamaluddin

Badan Riset dan Inovasi Nasional, *e-mail*: thom001@brin.go.id

© 2025 Editor & Penulis

Djamaluddin, T. Epilog: Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Sains dan Teknologi.

Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), *Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Sains dan Teknologi* (343–359). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1425.c1494

E-ISBN: 978-602-6303-86-8

bang pendek, gangguan jaringan listrik di negara-negara dekat kutub, dan gangguan navigasi berbasis satelit. Oleh karena itu banyak negara mempunyai lembaga yang bertugas untuk mengamati dan memprakirakan aktivitas Matahari. Di Indonesia, tugas itu dilaksanakan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Sebelumnya tugas itu dilaksanakan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).

Unit kerja di LAPAN yang melaksanakan tugas pengamatan Matahari adalah Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) di Pasuruan dan Sumedang. Balai pengamatan di Pasuruan mencatat sejarah panjang pengamatan bintik matahari yang datanya dikirimkan ke pusat data internasional di Belgia. Pengamatan bintik matahari di balai Pasuruan menggunakan teleskop yang dilengkapi filter peredup cahaya. Bintik matahari dibuat sketsanya untuk menunjukkan pola perubahannya dan dihitung jumlahnya sesuai dengan metode yang berlaku. Pengamatan bintik matahari menggunakan teleskop merupakan metode modern yang terus dikembangkan.

Generasi awal pengamatan bintik matahari dalam sejarah dunia tercatat masih menggunakan mata dengan teknik peredup cahaya yang ada pada masa itu. Itu sebabnya, sampai abad ke-16 hanya tercatat bintik matahari yang besar saja dengan periode ketampakan rata-rata setiap dekade. Hal yang menarik, pada periode pertengahan abad ke-17 sampai awal abad ke-18 tidak banyak laporan terlihatnya bintik matahari, walau pengamatan saat itu sudah relatif banyak. Ternyata, setelah dianalisis, memang pada periode itu jumlah bintik matahari sedang minim, yang kemudian dikenal sebagai “minimum Maunder” sesuai nama penelitiannya. Data pengamatan selama sekitar 40 tahun Samuel Heinrich Schwabe menunjukkan periodisitas sekitar 11 tahun yang saat ini dikenal sebagai siklus matahari. Hal ini menjelaskan alasan terlihatnya bintik matahari secara visual rata-rata setiap dekade. Standardisasi penghitungan jumlah bintik matahari dilakukan Rudolf Johann Wolf setelah mengumpulkan data dari berbagai observatorium di Eropa. Penghitungan jumlah bilangan bintik matahari yang baku tersebut kemudian dikenal sebagai bilangan Wolf (*Wolf Number*) atau bilangan bintik matahari (*sunspot number*).

Bintik matahari menjadi indikator aktivitas matahari karena bintik tersebut dibangkitkan oleh medan magnetik Matahari. Ketampakan sebagai bintik yang hitam karena suhunya lebih rendah dari pada daerah di sekitarnya. Titik paling hitam yang disebut umbra adalah lokasi munculnya garis-garis medan magnet. Bintik matahari yang kecil hanya bertahan beberapa hari, tetapi bintik matahari berukuran besar bisa bertahan cukup lama, sekitar 1–3 bulan. Hal yang menarik, siklus Matahari sekitar 11 tahunan bukan hanya ditandai oleh jumlah bintik matahari, tetapi juga oleh posisi bintik matahari tersebut.

Saat Matahari minimum, jumlah bintik matahari sangat sedikit, bahkan kadang tidak ada sama sekali. Lalu awal siklus dimulai dengan kemunculan bintik matahari di lintang tinggi, baik di utara maupun di selatan. Dengan bertambahnya waktu, jumlah bintik matahari makin bertambah dan posisinya makin mendekati ekuator matahari. Ketika jumlahnya paling banyak, saat itulah disebut matahari maksimum. Jumlahnya bisa mencapai sekitar 100 bintik. Kemudian jumlahnya makin berkurang dan posisinya makin dekat ekuator. Jumlah dan posisi bintik matahari sepanjang siklus kalau digambarkan pada belahan utara dan selatan Matahari tampak membentuk seperti pola sayap kupu-kupu. Oleh karena itu, diagram posisi bintik matahari sering disebut diagram kupu-kupu.

Para pengamat Matahari memperhatikan bentuk bintik matahari yang berkelompok. Bila jumlahnya banyak, itu menunjukkan kompleksitas medan magnet matahari di daerah tersebut. Kondisi medan magnetik yang kompleks tersebut yang perlu di waspadai. Medan magnetik yang kompleks tersebut bisa memicu terjadinya letupan (*flare*) matahari. Bila letupan tersebut besar, itu yang menyebabkan gangguan cuaca antariksa yang disebut badai matahari. Keragaman bentuk kelompok bintik matahari telah diklasifikasikan untuk identifikasi dan potensi terjadinya letupan matahari.

Untuk pembakuan indeks aktivitas Matahari telah digunakan bilangan bintik matahari (*sunspot number*). Definisinya mengalami perubahan, mulai dari lokal observatorium Zurich sampai pembakuan untuk multi-observatorium. Indonesia pun berkontribusi dengan data

pengamatan di fasilitas LAPAN Pasuruan. Pusat datanya yang semula di Zurich kini beralih ke Belgia. Kegiatannya di bawah pengawasan lembaga internasional terkait, yaitu International Union of Radio Sciences (URSI), International Astronomical Union (IAU), dan International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). Di bawah program internasional Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO), data pengamatan bintik matahari bukan hanya untuk kepentingan komunikasi radio serta kajian geofisika dan astronomis, tetapi juga untuk kajian perubahan iklim global. Dari kajian jangka panjang tersebut diketahui bahwa iklim di Bumi juga dipengaruhi oleh tingkat aktivitas Matahari. Diketahui bahwa saat aktivitas Matahari minimum, cuaca musim dingin juga cukup ekstrem (Jones, 2011).

Metode penghitungan indeks aktivitas Matahari beberapa kali diubah sesuai dengan perkembangan hasil penelitian. Demikian juga dengan metode dan peralatan pengamatan berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi. Di LAPAN/BRIN Pasuruan, sampai tahun 2022 pengamatan bintik matahari dilakukan dengan menggambarkan sketsa matahari pada kertas yang menampilkan proyeksi bayangan matahari melalui teleskop dan pengamatan digital.

Lebih lanjut, gelombang radio dari objek astronomi baru ditemukan pada abad ke-20. Penemuan itu pun tidak sengaja. Gelombang tersebut semula dikira pancaran gelombang radio dari matahari. Namun, dari pengamatan lebih dalam, disimpulkan bahwa pancaran gelombang radio itu berasal dari pusat galaksi, jauh di luar tata surya. Berkaitan dengan hal tersebut, teleskop radio pertama baru dibangun pada tahun 1930-an.

Pengamatan objek astronomi dengan teleskop radio lebih terbuka daripada dengan teleskop optik. Hal itu karena gelombang radio tidak terganggu cuaca dan serapan atmosfer lainnya. Lebih dari itu, pancara gelombang radio juga tidak terhalang oleh awan antarbintang sehingga bisa mengungkap objek-objek yang tersembunyi di dalam nebula gelap. Namun, pengamatan dengan gelombang radio lebih rendah resolusinya dari pada pengamatan dengan gelombang cahaya tampak. Hal itu terjadi karena resolusi (kemampuan untuk mengenali

objek astronomi secara rinci) berkaitan dengan panjang gelombang dan diameter teleskop. Karena gelombang radio lebih panjang dari gelombang cahaya tampak, untuk mendapatkan resolusi yang setara dengan teleskop optik, teleskop radio harus menggunakan teleskop radio yang lebih besar diameter parabolanya.

Untuk memperkecil resolusinya, maka diameter antenna harus diperbesar. Namun, tentu ada batasnya untuk memperbesar antenna. Oleh karena itu, digunakan susunan antenna yang seolah membentuk antenna besar dengan prinsip interferometri. Dengan cara kerja interferometri, sinyal radio dari beberapa antenna yang terpisah jauh kemudian digabungkan seolah berasal dari antenna tunggal yang berdiameter sangat besar. Bila teleskop radio antarbenua yang digunakan, akan terbentuk satu sistem interferometri yang luar biasa besarnya yang disebut Very Long Baseline Interferometry (VLBI). Contoh penggunaan VLBI yang terkenal adalah pengamatan citra gas panas di sekitar lubang hitam (Lutz, 2019).

Pengembangan teleskop radio secara global diarahkan untuk meningkatkan sensitivitas antenna dan resolusinya. Peningkatan resolusi antenna dilakukan dengan memperbesar diameter antenna atau dengan jejaring interferometer. Di Indonesia, penggunaan teleskop radio diawali di Observatorium Bosscha ITB dengan antenna berukuran 2,3 meter dan 6 meter serta spektrograf radio matahari di LAPAN Sumedang dengan antenna berukuran sekitar 4 meter. Ada juga teleskop radio CALLISTO (Compound Astronomical Low cost Low frequency Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory) di Observatorium Bosscha dan LAPAN Sumedang. Callisto di LAPAN Sumedang kini sudah dipindahkan ke Observatorium Nasional Timau. VLBI Global Observing System (VGOS) hasil kerja sama ITB dengan mitra internasional sedang dibangun di Observatorium Bosscha.

Rencana pengembangan teleskop radio berdiameter 20 meter oleh BRIN di kawasan Observatorium Nasional Timau saat ini masih dalam tahap perencanaan dan kajian-kajian. Ada juga rencana mengonversikan stasiun bumi telekomunikasi di Jatiluhur dan stasiun

bumi penginderaan jauh di Parepare menjadi teleskop radio. Saat ini masih dalam tahap kajian-kajian. Namun, perkembangan itu menunjukkan bahwa Indonesia juga segera akan menjadi bagian jejaring pengamatan semesta dengan teleskop radio.

Kajian selanjutnya adalah tentang sampah antariksa. Roket peluncur setelah menyelesaikan tugasnya akan jadi sampah di antariksa. Satelit pun ada batas umur operasionalnya. Setelah tidak berfungsi lagi, satelit jadi sampah yang melayang di antariksa. Selain sampah yang utuh berupa roket bekas dan satelit mati, banyak juga sampah antariksa berupa pecahan logam. Pecahan logam tersebut hasil dari tabrakan objek antariksa. Bisa sampah dengan sampah atau satelit aktif dengan sampah. Ada juga pecahan hasil eksperimen senjata anti-satelit yang ditembakkan dari darat.

Sampah antariksa berukuran setelapak tangan atau lebih jumlahnya sekitar 20.000. Bila memperhitungkan pecahan yang lebih kecil, jumlahnya bisa jutaan sampah yang memenuhi ruang orbit satelit. Sebagian besar orbitnya berada di orbit rendah (ketinggiannya kurang dari 2.000 km), tetapi banyak juga yang berada di orbit geostasioner pada ketinggian 36.000 km Dan di orbit menengah, walaupun tidak banyak. Sampah antariksa bergerak dengan gaya gravitasi. Kecepatannya sekitar 10.000 km/jam di orbit tinggi sampai sekitar 20.000 km/jam di orbit rendah. Hal itu sangat berbahaya bagi satelit aktif di orbitnya bila bertabrakan dengan sampah antariksa.

Makin padatnya lingkungan antariksa menambah risiko tabrakan satelit aktif dengan sampah antariksa. Salah satu contoh tabrakan satelit dengan sampah antariksa terjadi pada 10 Februari 2009. Sampah antariksa berupa satelit bekas milik Rusia COSMOS 2251 menabrak satelit aktif IRIDIUM 33 milik Amerika Serikat. Tabrakan tersebut menghasilkan lebih dari 2200 sampah baru (Celestrak, 2009). Bahaya tabrakan juga mengancam akibat sampah-sampah berukuran kecil yang sulit terdeteksi. Sampah-sampah kecil itu bisa merusak komponen satelit aktif yang akan mengganggu kinerja satelit. Bahkan sampah antariksa berukuran kecil pun bisa membahayakan astronot yang sedang berada di luar wahana antariksa. Baju antariksa bisa rusak tertembus sampah antariksa.

Akibat gesekan atmosfer, sampah antariksa di orbit rendah mengalami efek pengereman dan ketinggiannya makin menurun. Sampah antariksa yang berada pada ketinggian sekitar 500 km bisa bertahan beberapa tahun sebelum akhirnya jatuh. Sampah antariksa pada ketinggian sekitar 300 km akan jatuh dalam hitungan bulan. Sementara itu, sampah antariksa pada ketinggian 150 km akan jatuh dalam hitungan hari. Indonesia telah kejatuhan beberapa sampah antariksa berukuran besar, dari sampah antariksa milik Rusia, China, dan Amerika Serikat. Apakah hal itu berbahaya? Tumbukan langsung tentu sangat berbahaya. Namun, kejadiannya sangat-sangat jarang karena luasnya permukaan bumi. Sebagian besar sampah antariksa jatuh di wilayah tidak berpenghuni, seperti lautan, gurun, dan hutan. Walaupun demikian, potensi bahaya juga dihadapi pesawat yang sedang terbang bila kejatuhan sampah antariksa, walaupun ukurannya kecil.

Populasi sampah antariksa yang semakin meningkat juga mengganggu pengamatan astronomi. Sampah antariksa dan ribuan satelit konstelasi bisa menimbulkan jejak goresan pada citra pengamatan objek langit beberapa saat sesudah Matahari terbenam dan sebelum Matahari terbit. Pantulan cahaya matahari oleh objek pengorbit Bumi itulah yang terekam sebagai jejak garis pada rekaman citra astronomi.

Makin banyaknya sampah antariksa menimbulkan kekhawatiran akan keberlanjutan program keantariksaan. Bagaimanapun banyaknya sampah antariksa bisa mengancam operasional satelit aktif. Oleh karenanya, berbagai upaya dilakukan melalui Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). PBB melalui pembahasan-pembahasan di forum keantariksaan akhirnya membuat pedoman mitigasi bahaya sampah antariksa. Dalam pedoman itu antara lain diatur tentang pencegahan pecahnya roket atau satelit di orbit. Ada juga upaya untuk menangkap dan menjatuhkan sampah antariksa secara aktif, walau belum dioptimalkan. Namun secara umum pemantauan sampah antariksa perlu dilakukan untuk mengurangi risiko tabrakan atau jatuhnya di wilayah berpenduduk.

Indonesia secara aktif memantau sampai antariksa, khususnya yang melintasi wilayah Indonesia pada saat ketinggian kritis menjelang jatuh. Kegiatan itu dilakukan dengan memanfaatkan data orbit sampah antariksa dan aplikasi penjejak orbit satelit. Dengan pemantauan itu, ketika ada sampah antariksa jatuh, LAPAN/BRIN dengan cepat bisa memastikan identitas sampah tersebut, terutama negara pemiliknya dan ada/tidaknya potensi bahaya. Sampai saat ini sudah tercatat ada tujuh sampah antariksa yang jatuh di wilayah Indonesia. Negara pemiliknya adalah Uni Soviet/Rusia, China, dan Amerika Serikat. Selain dengan aplikasi, diusulkan juga pemantauan dengan menggunakan jejaring teleskop dan *all sky camera*.

Bahaya tumbukan dengan benda jatuh antariksa sesungguhnya bukan hanya disebabkan sampah antariksa. Ada juga objek langit alami yang juga mengancam Bumi. Ukurannya beragam. Ada yang berukuran kecil seperti kerikil sampai yang berukuran besar, beberapa meter sampai beberapa kilometer. Objek langit yang berukuran kecil yang menabrak bumi sering kita lihat sebagai meteor. Namun sejarah mencatat ada objek besar puluhan meter pernah jatuh di Tunguska, Siberia, pada tahun 1908 yang menghancurkan hutan seluas Jakarta. Ada juga yang jauh lebih besar, berukuran puluhan kilometer, yang jatuh 65 tahun lalu di semenanjung Yukatan, Meksiko. Tumbukan asteroid raksasa tersebut menyebabkan dampak luar biasa yang berujung punahnya dinosaurus (Uri, 2023).

Kekhawatiran jatuhnya asteroid besar telah mendorong para astronom memantau asteroid yang orbitnya dekat Bumi yang disebut NEOs (Near Earth Objects). Khusus asteroid disebut NEAs (Near Earth Asteroids). Salah satunya adalah Asteroid 99942 Apophis. Diduga asteroid Apophis akan mengancam Bumi. Apakah benar demikian? Hal itulah yang dikaji dengan analisis orbit dan gangguannya.

Ada empat jenis asteroid yang berpotensi membahayakan Bumi yang disebut PHAs (Potentially Hazardous Asteroids). Dari empat jenis tersebut, terdapat dua jenis asteroid yang orbitnya berpotongan dengan orbit Bumi. Pertama, asteroid kelompok Apollo yang setengah sumbu panjang orbitnya lebih dari 1 AU (Astronomical Unit, satuan

astronomi, jarak rata-rata bumi-matahari). Kedua, kelompok Aten yang setengah sumbu panjang orbitnya kurang dari 1 AU. Dua jenis asteroid lainnya orbitnya tidak berpotongan dengan orbit bumi. Ketiga, asteroid kelompok Amor yang setengah sumbu panjangnya lebih dari 1 AU. Keempat, asteroid kelompok Atira yang setengah sumbu panjangnya kurang dari 1 AU.

Saat pertama kali ditemukan pada 2004, Asteroid 99942 Apophis diduga berpotensi menabrak Bumi pada 2029. Namun, data orbit berikutnya menyimpulkan bahwa asteroid Apophis tidak akan menabrak Bumi pada 2029. Walaupun demikian, peluang untuk menabrak Bumi pada masa mendatang masih terbuka. Oleh karena itu, perhitungan orbit jangka panjang dengan memperhitungkan beragam faktor gangguan perlu dilakukan. Simulasi yang dilakukan adalah dengan membuat model dinamika orbit N-benda. Dari hasil simulasi diperoleh jarak terdekat lintasan Apophis dari Bumi dalam 100 tahun mendatang akan terjadi pada 13 April 2029 dan 30 Maret 2036. Namun pada kedua perlintasan tersebut Bumi masih dalam kondisi aman. Pola orbitnya berubah dengan gangguan gravitasi Bumi saat melintas pada 2029. Pola orbitnya berubah dari pola Aten menjadi pola Apollo dengan perubahan setengah sumbu panjang orbitnya makin besar.

Hal yang menarik, ketika asteroid Apophis melintas terlalu dekat dengan Bumi dan mengenai atmosfer atas, kejadian yang mungkin terjadi adalah ledakan di atmosfer. Asteroid berkecepatan tinggi akan berinteraksi dengan atmosfer menghasilkan gelombang kejut. Bisa jadi kejadian Tunguska 1908 juga disebabkan ledakan di atmosfer akibat melintasnya asteroid besar di atmosfer atas (Koberlein, 2020).

Adanya atmosfer menyebabkan Bumi relatif terlindungi dari ancaman batuan antariksa, termasuk asteroid kecil. Atmosfer akan meredam kecepatan meteoroid (batuan bakal meteor) dan asteroid kemudian membakarnya. Sebagian besar batuan antariksa itu habis terbakar di atmosfer sehingga tidak membahayakan Bumi. Selain atmosfer, bumi juga mempunyai pelindung kedua yaitu medan magnet Bumi. Setelah membahas asteroid Apophis, dilanjutkan

dengan membahas magnetosfer sebagai pelindung Bumi. Magnetosfer adalah lapisan medan magnet yang melindungi Bumi dari partikel bermuatan dan berenergi tinggi dari Matahari. Magnetosfer juga berperan melindungi atmosfer agar tidak tersapu habis oleh angin matahari (Buis, 2021).

Inti bumi terdiri dari besi dan nikel yang bersifat feromagnetik. Inti bumi inilah yang menjadi sumber utama medan magnet bumi (geomagnet). Ibarat batang magnet raksasa, Bumi juga mempunyai kutub utara dan kutub selatan magnetik. Posisinya berdekatan dengan kutub utara dan kutub selatan poros bumi. Akibat interaksi dengan angin matahari dan medan magnet matahari, bentuk magnetosfer (lapisan magnet bumi) terdistorsi. Bagian yang menghadap Matahari lebih pendek daripada bagian yang menjauhi Matahari. Bagian yang menjauhi Matahari membentuk ekor yang disebut magnetotail. Partikel bermuatan dan berenergi tinggi dari Matahari terperangkap oleh medan magnet bumi. Wilayah tempat terperangkap partikel bermuatan itu disebut sabuk Van Allen. Sabuk bagian luar terdiri dari elektron, sedangkan sabuk bagian dalam terdiri dari proton dan neutron.

Medan magnetik bumi bisa terganggu oleh aktivitas Matahari. Bila gangguan tersebut tinggi, maka disebut badai gemagnetik. Aktivitas Matahari yang menyebabkan gangguan medan magnetik bumi adalah *flare* (letupan di matahari), CME (Coronal Mass Ejection, lontaran massa matahari), dan lubang korona. Bila CME mengarah ke Bumi akan menyebabkan badai geomagnetik yang berpotensi mengganggu satelit, sinyal GPS, dan jaringan listrik di wilayah dekat kutub.

Medan magnet bumi bisa mengalami pembalikan polaritas, kutub utara magnetik menjadi kutub selatan. Itu dibuktikan dari bahan feromagnetik yang tersimpan di lava yang membeku pada masa lampau. Pergeseran titik kutub magnetik juga menunjukkan pergeseran yang mengarah pembalikan kutub magnetik. Namun, periode pembalikan polaritas tidak tentu dengan rentang waktu puluhan ribu tahun. Pembalikan polaritas juga disertai dengan penurunan

kekuatan magnetiknya walaupun tidak jelas dampak langsung pada iklim dan kehidupan di Bumi.

Alat pengukur geomagnet disebut magnetometer. Alat tersebut ada yang bersifat skalar (hanya mengukur besarnya medan magnet) dan ada yang bersifat vektor (mengukur besar dan arah medan magnetik). Magnetometer vektor biasanya dipasang permanen di stasiun pengamatan geomagnet. LAPAN/BRIN saat ini mempunyai beberapa stasiun pengamatan geomagnet yang tersebar di seluruh Indonesia, mulai di Biak di wilayah timur sampai di Agam di wilayah barat. Satelit LAPAN-A3 juga membawa muatan magnetometer untuk pengukuran medan magnet bumi secara global dari antariksa. Penelitian magnetosfer di Indonesia dikaitkan dengan dampak cuaca antariksa pada lingkungan Bumi, khususnya terkait dengan keamanan satelit, penerbangan, telekomunikasi radio, dan navigasi.

Lapisan atmosfer atas yang langsung berinteraksi dengan magnetosfer adalah ionosfer atau lapisan ion (partikel bermuatan) di atmosfer. Bahasan tentang magnetosfer dilanjutkan dengan ionosfer ini menarik untuk dilihat. Ionosfer adalah lapisan atmosfer yang terdiri dari gas terionisasi dan elektron bebas. Posisinya mulai ketinggian 60 sampai 1000 km. Sinar X dan ultraviolet ekstrem dari Matahari yang menyebabkan gas-gas terionisasi dan melepaskan elektron bebas.

Parameter penting yang menggambarkan kondisi di ionosfer adalah kerapatan elektron. Berdasarkan kerapatan elektronnya, ionosfer terbagi menjadi tiga sub-lapisan. Lapisan D adalah yang paling rendah dan berada di ketinggian 60–90 km. Lapisan E sebagai lapisan menengah berada pada ketinggian 90–150 km. Lapisan paling tinggi adalah lapisan F dan berada pada ketinggian 150–1.000 km. Dari segi perbedaan lintang magnetiknya, ionosfer terbagi menjadi ionosfer lintang rendah (0–20 derajat lintang magnetik utara/selatan), lintang menengah (20–60 derajat lintang magnetik utara/selatan), dan lintang tinggi (60–90 lintang magnetik utara/selatan).

Kondisi dinamis ionosfer bergantung pada radiasi matahari yang menyebabkannya, kondisi magnetosfer yang melingkupinya, serta pengaruh dari atmosfer bawah, karena ionosfer pun bagian dari at-

mosfer Bumi. Kondisi dinamis ini yang memengaruhi navigasi berbasis GPS dan telekomunikasi radio HF (*High Frequency*) atau gelombang pendek (SW, *short wave*) (IPS, tt). Untuk mempelajari karakteristik dan dinamika ionosfer tersebut, bisa digunakan perangkat ionosonda, yaitu semacam radar yang memancarkan gelombang radio lalu diterima pantulannya dari berbagai berbagai lapisan ionosfer. Gambaran parameter ionosfer hasil pengukuran dengan ionosonda disebut ionogram. Pancaran sinyal GPS yang mengalami keterlambatan akibat faktor ionosfer juga digunakan untuk menentukan kandungan elektron di ionosfer (*Total Electron Content*, TEC). Pengamatan optik untuk merekam pendaran cahaya di atmosfer (*airglow*) digunakan untuk menggambarkan wilayah yang mengalami ionisasi.

Pengamatan ionosfer di Indonesia dimulai sekitar tahun 1980-an oleh LAPAN. Tujuan utamanya untuk prakiraan frekuensi komunikasi radio HF dan kajian gangguan navigasi serta kajian kopling magnetosfer, ionosfer, dan atmosfer bawah. Stasiun ionosonda dan GPS Receiver ditempatkan di beberapa titik di wilayah Indonesia. Kolaborasi internasional terutama dilakukan dengan mitra Jepang dan Australia. Kolaborasi dengan Universitas Kyoto telah mewujudkan Equatorial Atmospheric Radar (EAR) di Kototabang, Agam. Salah satu fungsi EAR adalah untuk mempelajari kopling ionosfer-atmosfer bawah. Jejaring pengamatan nasional dan global juga memperkuat riset ionosfer. Jejaring penerima GPS oleh BIG (Badan Ionosfer Geospasial) dimanfaatkan untuk pengukuran TEC yang lebih luas. Diharapkan jejaring diperluas secara regional Asia Tenggara dengan kebijakan alih data yang lebih baik.

Beberapa aspek sains antariksa untuk masyarakat sudah dibahas, mulai dari aktivitas Matahari, teleskop radio, sampah antariksa, asteroid, magnetosfer, sampai ionosfer. Selanjutnya beralih pada kajian teknologi antariksa, yaitu roket. Roket adalah wahana peluncur dengan memanfaatkan prinsip kerja teori Newton, yaitu aksi akan menghasilkan reaksi. Prinsip kerja utamanya, ada bahan bakar yang disebut propelan di dalam ruang bakar berbentuk tabung. Propelan yang dibakar menghasilkan gas bertekanan tinggi yang menyembur

melalui nozel atau mulut penyembur. Semburan tersebut merupakan aksi. Selanjutnya roket terdorong maju, itu merupakan reaksinya. Karena daya dorong berasal dari pembakaran propelan saja, roket dapat meluncur dalam kondisi hampa udara seperti di antariksa (Price and Biblarz, 2024).

Secara umum, roket terbagi menjadi tiga bagian. Bagian depan terdiri dari moncong roket dan kompartemen muatan roket serta berbagai sensor kendali. Bagian tengah terdiri dari motor roket. Bagian belakang terdiri dari nozel dan sirip kendali stabilitas aerodinamis. Riset tentang struktur, motor roket, dan kendali stabilitas roket adalah kegiatan utama yang telah lama dilakukan oleh Pusat Riset Teknologi Roket sejak masa LAPAN sampai BRIN saat ini. LAPAN/BRIN berupaya menguasai pengembangan teknologi roket mulai dengan seri RX, Roket Eksperimen, juga dirintis seri RCX (Roket Cair Eksperimen), dan RKX (Roket Kendali Eksperimen).

Bagian krusial dalam sistem propulsi (sistem pendorong) roket adalah bagian nozel atau lubang pelepasan gas panas. Suhu dan tekanan sangat tinggi dialami bagian nozal ini. Itu sebabnya bagian nozel ini sering menjadi sumber kegagalan roket. Untuk mengatasi masalah kegagalan roket karena nozel yang tidak berfungsi saat proses pembakaran propelan dan pelepasan gas panas, maka dikembangkan teknik pelapisan keramik pada nozel. Ada beragam teknik pelapisan nozel yang pernah diujicoba oleh Pusat Riset Teknologi Roket. Teknik pelapisan ini bisa mengurangi dimensi nozel serta meningkatkan kinerjanya.

Ada tiga teknik pelapisan keramik yang biasa dilakukan dengan keunggulan masing-masing, yaitu *Thermal Spray*, *Chemical Vapor Deposition* (CVD), dan *Physical Vapor Deposition* (PVD). Teknik *Thermal Spray* dilakukan dengan memanaskan material pelapis sampai meleleh atau hampir meleleh kemudian disemprotkan pada bagian yang perlu dilapisi. Keunggulan teknik ini adalah bisa memberikan lapisan yang tebal dan tahan panas. Teknik CVD dilakukan dengan memanaskan gas kimia pelapis dengan suhu tinggi. Hasilnya adalah pelapisan yang merata, memiliki kekuatan mekanis, dan tahan suhu

tinggi. Teknik PVD dilakukan dengan menguapkan material pelapis yang menghasilkan lapisan tipis tetapi mempunyai ketahanan tinggi. Masing-masing teknik pelapisan memiliki tantangan tersendiri terkait dengan investasi peralatan dan sumber daya manusianya. Kolaborasi dengan mitra internasional dan industri sangat diperlukan.

Tantangan lain dalam pengembangan roket di Indonesia adalah mewujudkan propelan padat komposit yang andal. Daya jangkau roket dan beban muatan roket menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan daya dorong roket. Daya dorong bergantung pada propelan (bahan bakar roket) dan sistem motor roketnya. Secara umum, propelan terdiri dari dua macam: propelan padat dan cair. Saat ini kajian yang ada di Indonesia masih fokus pada pengembangan propelan padat komposit. Dalam pembuatannya, propelan padat menggunakan bahan padat dan cair. Bahan padat adalah Ammonium Perklorat (AP) yang berfungsi sebagai oksidator dan aluminium (Al) yang berfungsi sebagai sumber energi termal. Bahan cair terdiri dari *Hydroxyl Tterminated Polybutadiene* (HTPB) sebagai prepolimer (polimer rantai pendek) dan *Toluene Diisocyanate* (TDI) sebagai pematang. Selain itu, ditambahkan juga bahan lain dalam jumlah sedikit, seperti besi oksida Fe_2O_3 sebagai katalis pembakaran dan bahan pemlastis dioktil adipat (DOA).

Pembuatan propelan dilakukan dengan mencampurkan bahan-bahan baku tersebut dalam mesin pencampur. Dimulai dengan pencampuran HTPB dan Al. Lalu dilanjutkan dengan AP dan disusul TDI. Penambahan setiap bahan dilakukan setelah pencampuran tahap sebelumnya telah homogen. Adonan bahan kemudian dimasukkan ke pencetak dan dipanaskan untuk pemadatan propelan dengan teknik-teknik tertentu. Gambaran pembuatan propelan padat bisa dilihat di akun YouTube BPS Space (2023), walaupun dengan komposisi tambahan yang berbeda. Propelan yang diperoleh kemudian diuji sifat fisisnya dan uji statik untuk mengukur daya dorongnya (impuls spesifik, Isp). Penelitian dilakukan untuk mendapatkan komposisi terbaik yang menghasilkan Isp yang tinggi dengan sifat fisis terbaik. Namun, tantangannya adalah penambahan Al yang secara teoritis

bisa meningkatkan Isp, dalam pengujian tidak selalu meningkatkan Isp. Riset terus dilakukan untuk mendapatkan komposisi propelan yang terbaik.

Untuk mengakhiri bahasan keantariksaan untuk masyarakat di buku ini, diulas masalah pengamatan hilal yang biasanya ramai diperbincangkan menjelang Ramadhan, Idul Fitri, dan Idul Adha. Polemiknya bersumber pada perbedaan pemaknaan hilal (bulan sabit pertama) dari segi dalil fikih (dasar hukum agama) maupun metode penentuan awal bulan qamariyah, khususnya Ramadhan, Syawal, dan Dzulhijjah. Hilal awalnya menjadi dasar observasional (rukyat) penentuan bulan pada kalender Islam. Lalu berkembang ilmu hisab atau perhitungan astronomi untuk menghitung posisi bulan. Saat ini rukyat dan hisab bisa digabungkan sebagai satu kriteria imkan rukyat (kemungkinan terlihatnya hilal) atau secara astronomi disebut kriteria visibilitas hilal.

Dari dalil fikih memang Rasul hanya mengajarkan metode rukyat dalam penentuan awal bulan. Namun ada dalil juga yang dimaknai penentuan awal bulan bisa diprakiraan, salah satunya dengan menghitung posisi bulan. Secara astronomi memang akurasi penentuan posisi bulan saat ini sudah sangat akurat. Karenanya wajar ada pihak yang percaya sepenuhnya pada hasil hisab (perhitungan) tanpa menunggu hasil rukyat (pengamatan). Menarik, pada ulasan disebutkan Rasul yang memerintahkan metode rukyat tidak pernah secara langsung melihat hilal. Ada karena isyarat dari wahyu bahwa bulan telah berakhir. Ada berdasarkan laporan sahabat yang menyaksikan hilal. Ada yang berdasarkan laporan orang Badwi (orang Arab pedalaman). Dan ada yang berdasarkan kesaksi kafilah yang melihat hilal kemarin malam.

Alasan fisis tidak terlihatnya hilal di Madinah, tetapi ada laporan dari orang Badwi dan Kafilah, diulas berdasarkan topografi Madinah yang berbukit di ufuk barat. Akibatnya hilal tidak terlihat oleh Rasul dan para sahabat dari Madinah, tetapi bisa dilihat dari luar Madinah oleh orang Badwi dan kafilah. Ada juga peristiwa dalam hadis yang menyatakan terlihatnya hilal bergantung pada sensitifitas mata

pengamatnya. Ada sahabat yang bisa melihat, namun lainnya tidak bisa melihat. Secara sains, keterlihatan hilal juga bergantung pada kontras hilal yang sangat tipis dengan cahaya senja di latar depan yang masih cukup terang.

Perkembangan teknologi telah menggeser pengamatan hilal dengan mata, baik langsung maupun dibantu teleskop, ke arah deteksi hilal dengan kamera. Saat ini kamera pun dilengkapi dengan filter dan pemroses citra untuk meningkatkan kontras hilal. Citra kamera pun bisa ditumpuk beberapa puluh atau bahkan beberapa ratus citra untuk mempertajam ketampakan hilal (Djamaluddin, 2022). Hasil hisab dengan kriteria visibilitas hilal diharapkan makin mendekati dengan hasil rukyat dengan teknik fotografi hilal yang dibantu olah citra. Dengan demikian kriteria imkan rukyat atau visibilitas hilal makin diterima sebagai metode titik temu bagi pengamal rukyat dan pengamal hisab.

Daftar Pustaka

- BPS Space. (2023). "Mixing and casting rocket propellant - simplex ep 2". <https://www.youtube.com/watch?v=E0bnPb1WIuc>
- Buis, A. (2021). "Earth's magnetosphere: Protecting our planet from harmful space energy". <https://science.nasa.gov/science-research/earth-science/earths-magnetosphere-protecting-our-planet-from-harmful-space-energy/>
- Celestrak. (2009). "Iridium 33/Cosmos 2251 Collision". <https://celestrak.org/events/collision/>
- Djamaluddin, T. (2022). "Mengkaji "Hilal Syar'i" secara astronomi". <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2022/05/07/mengkaji-hilal-syari-secara-astronomi/>
- IPS. (tt). "Introduction to HF radio propagation". <https://www.sws.bom.gov.au/Category/Educational/Other%20Topics/Radio%20Communication/Intro%20to%20HF%20Radio.pdf>
- Jones, T. (2011). Clear link between solar activity and winter weather revealed. <https://phys.org/news/2011-10-link-solar-winter-weather-revealed.html>

- Koberlein, B. (2020). "The tunguska explosion could have been caused by an asteroid that still orbits the sun". <https://www.universetoday.com/146111/the-tunguska-explosion-could-have-been-caused-by-an-asteroid-that-still-orbits-the-sun/>
- Lutz, O. (2019). How scientists captured the first image of a black hole. <https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2019/4/19/how-scientists-captured-the-first-image-of-a-black-hole/>
- Price, E. W. and Biblarz. (2024). "Rocket". Encyclopedia britannica. <https://www.britannica.com/technology/rocket-jet-propulsion-device-and-vehicle>
- Uri, J. (2023). 115 years ago: the tunguska asteroid impact event. <https://www.nasa.gov/history/115-years-ago-the-tunguska-asteroid-impact-event/>