



Editor:
Thomas Djamaluddin
Fitri Nuraeni

Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa

Konsep dan Kebijakan



Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa

Konsep dan Kebijakan



Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Editor:
Thomas Djamaluddin
Fitri Nuraeni

Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa

Konsep dan Kebijakan

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan

© 2025 Editor dan Penulis

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan/Thomas Djamaluddin & Fitri Nuraeni (Ed.)—Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

xviii + 314 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-602-6303-87-5 (*e-book*)

1. Keantariksaan
3. Astronomi




2. Kebijakan
4. Sains

523.1

| | |
|--------------------|----------------------------|
| Editor Akuisisi | : Indah Susanti |
| <i>Copy editor</i> | : Risma Wahyu Hartiningsih |
| <i>Proofreader</i> | : Martinus Helmiawan |
| Penata isi | : Utami Dwi Astuti |
| Desainer sampul | : Utami Dwi Astuti |

Edisi pertama : 2025



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
WhatsApp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan

Daftar Isi

| | |
|---|------|
| Daftar Gambar..... | vii |
| Daftar Tabel..... | xi |
| Pengantar Penerbit..... | xiii |
| Prakata | xv |
| Kata Pengantar | xvii |
| BAB I Prolog: Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan | 1 |
| <i>Thomas Djamaluddin</i> | 1 |
| BAB II Astronomi dan Kemanusiaan: Seberapa Jauh Mereka Terkait? | 21 |
| <i>Agustinus Gunawan Admiranto, Ferdhiansyah Noor, Elyyani, & Siti Maryam</i> | 21 |
| BAB III Pengembangan Jejaring Patroli Langit Untuk Kedaulatan Keantariksaan di Indonesia..... | 63 |
| <i>Robiatul Muztaba & Aditya Abdillah Yusuf</i> | 63 |

| | | |
|----------|--|-----|
| BAB IV | Kajian Kebijakan Langit Gelap untuk Pembangunan Berkelanjutan..... | 97 |
| | <i>Antonia Rahayu Rosaria Wibowo</i> | 97 |
| Bab V | Kebijakan Keantariksaan Asia-Pasifik pada Masa Krisis: Perbandingan Indonesia dan Australia | 123 |
| | <i>Yunita Permatasari</i> | 123 |
| Bab VI | Analisis Teoretis Model Integrasi Keantariksaan Indonesia di Kawasan Asia Tenggara | 147 |
| | <i>Ade Meirizal</i> | 147 |
| BAB VII | Tinjauan Hukum dalam Pembangunan dan Komersialisasi Bandar Antariksa di Indonesia | 171 |
| | <i>Yaries Mahardika Putro, Aris Rahmat Julian Noor, Ridha Aditya Nugraha, dan Soraya Sakinah</i> | 171 |
| BAB VIII | Posisi Indonesia dalam Misi Eksplorasi Antariksa..... | 201 |
| | <i>Stevani Anggina dan Adhi Pratomo</i> | 201 |
| Bab IX | Konsep Ketahanan dalam Menghadapi Bencana Antariksa di Orbit Bumi..... | 229 |
| | <i>Deden Habibi Ali Alfathimy</i> | 229 |
| BAB X | Konsep dan Kebijakan Keantariksaan Indonesia Menuju Kemandirian Antariksa Untuk Kemajuan Masyarakat dan Bangsa | 259 |
| | <i>Fitri Nuraeni</i> | 259 |
| | Daftar Istilah..... | 275 |
| | Daftar Singkatan..... | 291 |
| | Indeks | 295 |
| | Tentang Editor..... | 301 |
| | Tentang Penulis | 305 |

Daftar Gambar

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Astrolabe Persia | 25 |
| Gambar 2.2 Teleskop bias Observatorium Yerkes | 26 |
| Gambar 2.3 Bangunan di Timau tempat diletakkannya teleskop utama berdiameter 380 cm..... | 28 |
| Gambar 2.4 Teleskop utama Observatorium Nasional Timau yang memiliki diameter 3,8 meter..... | 29 |
| Gambar 2.5. Kamera CCD (ZWO Optical ASI120MC Color CMOS camera) | 30 |
| Gambar 2.6 Dewi langit Mesir Kuno, Nut | 40 |
| Gambar 2.7 <i>The School of Athens</i> karya Raphael | 41 |
| Gambar 2.8 <i>Lukisan Berjudul _Starry Night_ Karya van Gogh</i> | 42 |
| Gambar 2.9. Kompleks piramid di Giza | 45 |
| Gambar 2.10 Piramid El Castillo di Chichen Itza,..... | 46 |
| Gambar 2.11 Griffith Observatory | 47 |

| | |
|---|----|
| Gambar 2.12. Model geosentris | 48 |
| Gambar 2.13 Nebula Orion | 54 |
| Gambar 2.14. Nebula Heliks | 55 |
| Gambar 2.15. Nebula Carina | 55 |
| Gambar 3.1 Sejarah Pembangunan OAIL | 74 |
| Gambar 3.2. Teleskop Barride | 76 |
| Gambar 3.3 Proses instalasi teleskop OZT-ALTS di OAIL | 77 |
| Gambar 3.4 Penggunaan Kecerdasan Buatan untuk Pendeteksian Hilal di OAIL | 80 |
| Gambar 3.5 Komet C/2023 E3 (ZTF) | 81 |
| Gambar 3.6 Trajektori C/2022 E3 (ZTF) pada 12 hingga 31 Januari 2023 di ITERA saat fajar. | 82 |
| Gambar 3.7 Trajektori C/2022 E3 (ZTF) pada 1 hingga 20 Februari 2023 di ITERA saat senja. | 82 |
| Gambar 3.8 ITERA Robotic Telescope dan hasil pengamatan satelit geostasioner. | 84 |
| Gambar 3.9 <i>All Sky Camera</i> dan sistem pendukung perangkat lainnya | 86 |
| Gambar 3.10 Prediksi orbit CZ-5B dan hasil rekaman <i>all sky</i> di ITERA | 90 |
| Gambar 3.11 <i>All-Sky Camera</i> merekam jejak puing-puing roket long march 5B CZ-5B (Chang Zeng/Long March 5B) | 91 |
| Gambar 3.12 All-Sky Camera di SAC merekam Meteor Terang pada 26 Juli 2022 pukul 22:04 WIB. | 92 |
| Gambar 3.13 All-Sky Camera di ITERA merekam Meteor Perseid pada 16 Agustus 2022 pukul 21.51. | 92 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 3.14 Utopia III sedang digunakan untuk tracking satelit. | 94 |
| Gambar 5.1 Model Analisis..... | 130 |
| Gambar 8.1 Perbandingan Persentase Government Space Budget dengan GDP | 203 |

Daftar Tabel

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabel 5.1 | Operasionalisasi Konsep | 130 |
| Tabel 8.1 | Kemampuan Keantariksaan Negara - negara..... | 212 |
| Tabel 8.2 | Manfaat dari Eksplorasi Antariksa..... | 214 |
| Tabel 8.3 | Target Rencana Induk Penyelenggaraan Kegiatan Keantariksaan Nasional 2040 | 219 |
| Tabel 8.4 | Analisis SWOT Posisi Indonesia dalam Eksplorasi Antariksa..... | 221 |
| Tabel 9.1 | Tiga Tahapan Hubungan Manusia-Alam menurut Luke..... | 232 |
| Tabel 9.2 | Ketahanan sebagai konsep tingkat-tinggi/abstrak..... | 235 |
| Tabel 9.3 | Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Ruang | 240 |
| Tabel 9.4 | Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Aktivitas..... | 240 |
| Tabel 9.5 | Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Aktualitas..... | 241 |

Pengantar Penerbit

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan ini merupakan buku Seri 2 yang merupakan lanjutan dari buku Seri 1 berjudul Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Sains dan Teknologi. Bagi Indonesia, keantariksaan saat ini masih berupa pengembangan pengamatan (space observation) dan pemanfaatan antariksa (space utilization). Harapannya ke depan kita bisa mencapai kegiatan eksplorasi antariksa (space exploration) yaitu kegiatan keantariksaan yang dilakukan di luar orbit bumi dengan menggunakan wahana antariksa, terutama ke bulan serta misi-misi ke planet-planet, matahari, dan benda-benda

Buku ini tidak diperjualbelikan

tata surya lainnya. Selain itu, keantariksaan bukan sekadar eksplorasi antariksa, melainkan sebagai motor penggerak kemajuan bangsa dan sumber manfaat bagi masyarakat.

Buku ini membongkar tuntas bagaimana kebijakan keantariksaan dirumuskan, menyeimbangkan tiga pilar utama, yaitu sains (astronomi), yang menjadi dasar eksplorasi dan teknologi; teknologi dan inovasi, yang menjadi penggerak kebijakan adaptif; dan ekonomi, yang mendukung komersialisasi luar angkasa. Kulik lebih detail dalam buku ini dari pelestarian langit gelap untuk astronomi hingga tantangan sampah antariksa di ekuator, dan ambisi pembangunan bandar antariksa. Temukan juga bagaimana Indonesia merancang strategi untuk menjadikan keantariksaan sebagai kekuatan nasional yang berkelanjutan dan mampu bersaing di kancah global.

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan

Prakata

Keantariksaan adalah topik yang sangat menarik saat ini. Bukan hanya dari aspek sains dan teknologinya, tetapi juga dari aspek kebijakan keantariksaan (Space Policy). Secara global, kita mengenal empat pilar keantariksaan dalam kaitannya dengan kebijakan nasional dan internasional dalam 'Space 2030 Agenda', yaitu space economy, space society, space accesibility, dan space diplomacy. Buku 'Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan' ini mengurai berbagai aspek terkait dengan kebijakan keantariksaan yang bersifat umum, baik dalam lingkup nasional maupun global. Kebijakan selalu berorientasi pada kepentingan publik. Demikian juga dengan kebijakan keantariksaan yang berorientasi pada kemanfaatannya di masyarakat yang diharapkan dapat mendorong kemajuan bangsa.

Dimulai dengan kajian kaitan astronomi dengan kemanusiaan, perlunya jejaring patroli langit, serta pentingnya taman langit gelap. Kajian ini berlandaskan pemanfaatan sains antartiksa untuk kemanusiaan dan masyarakat. Dalam pemanfaatan teknologi antariksa, kebijakan pemerintah Indonesia dan Australian diulas dalam kaitannya

Buku ini tidak diperjualbelikan

dengan penanganan pandemi Covid-19 yang melumpuhkan banyak sektor, terutama sektor ekonomi yang terdampak sangat parah. Terkait juga dengan pilar space diplomacy, buku ini juga mengulas model integrasi keantariksaan di kawasan Asia tenggara. Ada kebutuhan untuk berintegrasi dalam pengembangan kemampuan keantariksaan di kawasan, namun perbedaan preferensi masing-masing negara dalam kemitraan internasional juga masih jadi pertimbangan utama.

Buku ini juga mengulas posisi Indonesia dalam perkembangan keantariksaan global. Tantangan pembangunan bandar antariksa di Indonesia menarik ditinjau dari aspek kebijakan nasional. Kolaborasi internasional diperlukan karena pembangunan bandar antariksa sangat mahal dan memerlukan penguasaan teknologi tinggi. Juga banyak kajian komprehensif diperlukan sebelum memutuskan pembangunan bandar antariksa. Perkembangan mutakhir keantariksaan global adalah program eksplorasi antariksa dengan mengirimkan wahana antariksa ke bulan dan planet Mars. Posisi Indonesia terkait eksplorasi antariksa tidak luput dari bahasan di buku ini. Perubahan paradigma dari sekadar pemanfaatan antariksa di orbit bumi menuju eksplorasi antariksa perlu dipertimbangkan dengan baik dari berbagai aspek. Bahasan terakhir yang juga menarik adalah tantangan potensi ancaman dari antariksa. Perlu kebijakan yang tepat untuk mengantisipasinya. Siapkah kita dengan semua tantangan itu?

Editor

Buku ini tidak diperjualbelikan

Kata Pengantar

Kegiatan keantariksaan di Indonesia yang dilaksanakan secara sistematis sejak adanya Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan telah menghasilkan kemajuan yang signifikan di bidang sains, teknologi, pemanfaatan, dan aspek hukum keantariksaan. Buku ini merangkum berbagai aspek dalam kegiatan keantariksaan yang telah dicapai oleh Indonesia, khususnya di bidang sains Antariksa, kebijakan, perkembangan regional, ancaman bencana Antariksa, aspek hukum, dan kegiatan komersial keantariksaan kini dan kedepan.

Pada tatanan keantariksaan global, Indonesia telah memainkan peran penting, khususnya di Kawasan Asia Tenggara, maupun Asia Pasifik secara umum. Perkembangan dan trend keantariksaan dunia juga dirangkum dalam buku ini, namun yang lebih penting adalah bahwa Indonesia secara konsisten mengawal kepentingan keantariksaan nasional di berbagai forum internasional dan memanfaatkan kerjasama. Ancaman global dalam keantariksaan dengan meningkatnya jumlah satelit, khususnya mega constellation, memberikan

Buku ini tidak diperjualbelikan

peringatan tentang pentingnya menjaga kedaulatan keantariksaan melalui upaya monitoring secara berkesinambungan.

Penghargaan untuk para penulis artikel dalam buku ini yang memberikan pencerahan tentang situasi dan perkembangan keantariksaan di Indonesia dari berbagai aspek. Semoga buku ini dapat memberikan perspektif yang lebih baik bagi para pengambil kebijakan, sekaligus menginspirasi para pelaku, periset dan pegiat keantariksaan, khususnya generasi muda untuk terus mengembangkan minat di bidang keantariksaan di Indonesia.

Jakarta, November 2025

Erna Sri Adiningsih

Direktur Eksekutif

Indonesian Space Agency (INASA)

Badan Riset dan Inovasi Nasional

Buku ini tidak diperjualbelikan

BAB I

Prolog: Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan

Thomas Djamaluddin

Keantariksaan merupakan topik yang menarik tidak hanya menyangkut eksplorasi antariksa, tetapi juga menunjukkan berbagai fenomena astrofisika menakjubkan. Namun, juga telah menyentuh sisi kehidupan masyarakat, termasuk yang terkait dengan teknologi informasi dan komunikasi. Teknologi informasi dan komunikasi untuk skala global tentunya memerlukan keberadaan satelit. Basisnya merentang dari sains dasar berupa astronomi sampai teknologi peluncuran roket dan pemanfaatan beragam satelit. Bagi Indonesia, keantariksaan diarahkan untuk memberi manfaat kepada masyarakat dan mendorong kemajuan bangsa. Aspek teknis terkait hal ini, telah dibahas di buku 1 “Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Sains dan Teknologi”. Sementara itu, Buku 2 ini lebih menekankan pada aspek konsep dan kebijakan. Berbicara mengenai kebijakan keantariksaan,

T. Djamaluddin

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

© 2025 Editor & Penulis

Djamaluddin, T. (2025). Prolog: Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan. Dalam T. Djamaluddin & F. NUraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(1–19). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1495, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Buku ini tidak diperjualbelikan

pengembangannya selalu dirumuskan atas dasar konsep-konsep tertentu, seperti konsep sains, konsep teknologi dan inovasi, ataupun konsep ekonomi. Kesemuanya harus saling terkait untuk memastikan seluruh kegiatan keantariksaan berjalan secara efisien, berkelanjutan dan bermanfaat bagi masyarakat dan negara.

Konsep sains dalam keantariksaan menjadi dasar eksplorasi luar angkasa melalui penelitian astrofisika, planet, dan lingkungan kosmik. Hal tersebut memungkinkan pengembangan teori dan model yang membantu navigasi, komunikasi, serta pemantauan atmosfer dan cuaca antariksa.

Konsep teknologi pun memiliki peran penting sebagai penggerak kebijakan. Perkembangan teknologi adalah motor penggerak utama dalam evolusi kebijakan keantariksaan. Kebijakan yang adaptif, inovatif, dan berwawasan ke depan sangat penting untuk memastikan bahwa Indonesia dapat memanfaatkan potensi antariksa secara optimal untuk kepentingan nasional dan kesejahteraan masyarakat. Teknologi memungkinkan penelitian ilmiah dilakukan dengan observasi berbasis satelit, teleskop ruang angkasa, dan wahana eksplorasi. Pengembangan roket dan sistem propulsi memungkinkan manusia mencapai orbit dan ruang angkasa secara lebih efisien. Selain itu, sistem komunikasi dan AI digunakan untuk meningkatkan otomasi, keamanan, dan efektivitas eksplorasi luar angkasa.

Adapun konsep ekonomi dalam keantariksaan terkait dengan kegiatan komersialisasi luar angkasa, seperti industri satelit, telekomunikasi, maupun navigasi global. Kebijakan keantariksaan harus mendukung pertumbuhan sektor keantariksaan, seperti insentif fiskal, kemudahan perizinan, dan dukungan riset dan pengembangan, dapat menarik investasi dari sektor swasta, baik domestik maupun asing. Investasi ini penting untuk mengembangkan riset, infrastruktur, teknologi, dan layanan keantariksaan. Dengan demikian, kebijakan keantariksaan yang baik, harus mampu menyeimbangkan aspek sains, teknologi, dan ekonomi agar eksplorasi luar angkasa berjalan dengan efektif, inovatif, dan berkelanjutan.

A. Konsep Sains dalam Kebijakan Keantariksaan

Konsep sains dasar untuk keantariksaan bermula dari budaya manusia yang gemar melakukan pengamatan langit untuk berbagai keperluan praktis. Dari pengamatan jangka panjang muncullah budaya bertani yang memperhitungkan musim dari pengamatan benda-benda langit. Dari keteraturan peredaran benda-benda langit juga memunculkan formulasi untuk memprakirakan ketampakan berikutnya. Pemodelan itu mendorong pengembangan matematika yang makin rumit. Hal ini menunjukkan bahwa konsep keantariksaan telah mengalami evolusi yang signifikan dari waktu ke waktu, yang dibentuk oleh kemajuan filosofis, ilmiah, dan teknologi.

Pandangan filosofis dimulai sejak kemunculan filsuf Yunani kuno seperti Plato dan Aristoteles yang memperdebatkan hakikat ruang. Pada zamannya, Aristoteles melihat ruang sebagai tempat keberadaan suatu objek, sedangkan Plato menganggapnya lebih abstrak. Selanjutnya, kaum Stoa memperkenalkan gagasan ruang sebagai kontinum, yang memengaruhi pemikiran ilmiah selanjutnya. Kaum Stoa merupakan kelompok filsuf yang menganut Stoikisme, sebuah aliran filsafat Yunani kuno yang didirikan oleh Zeno dari Citium pada abad ke-3 SM (Long, 1974).

Evolusi konsep ruang terus bergulir dengan adanya konsep ruang absolut dari Newton dan konsep relativitas Einstein, serta teori-teori string dan gravitasi kuantum loop, yang kemudian mendorong manusia mengeksplorasi ruang angkasa melalui peluncuran satelit. Sputnik 1 merupakan satelit buatan pertama milik Uni Soviet yang diluncurkan pada 1957 dan menjadi tonggak dalam sejarah eksplorasi antariksa.

Astronomi sebagai sains dasar keantariksaan, kemudian berkembang dan menjadi fondasi bagi pemahaman tentang benda langit yang membentuk ruang angkasa dan fenomena kosmik yang terjadi di dalamnya. Astronomi juga menjadi salah satu dasar bagi perkembangan perumusan kebijakan dan hukum antariksa. Kemajuan

ilmu astronomi dan keantariksaan, sering dianggap sebagai indikator kemajuan suatu bangsa.

Bangsa-bangsa yang maju dari segi kebudayaannya, pada masanya meninggalkan jejak pemahaman langit yang direpresentasikan dengan artefak dan struktur tata letak bangunan. Struktur tiga piramid di Mesir, misalnya, diduga kuat terkait dengan konfigurasi tiga bintang di rasi Orion. Begitu pun arah bangunan timur-barat-utara-selatan dan susunan stupa candi Borobudur terkait dengan perubahan arah terbit dan terbenam matahari, serta musim. Dalam perkembangannya, konsep alam semesta berubah menjadi lebih realistis dengan makin banyaknya data yang dikumpulkan dan makin meningkatkan akurasi dengan bantuan teknologi pengamatan. Kini pengamatan tidak hanya dilakukan dari permukaan bumi, tetapi juga dari satelit yang mengorbit bumi atau mengorbit matahari.

Pengembangan teknologi pengamatan astronomi tidak semata-mata bermanfaat bagi perkembangan astronomi. Banyak hasil pengembangan teknologi pengamatan akhirnya dipakai untuk kepentingan disiplin ilmu lain dan juga digunakan untuk kepentingan publik. Kamera elektronik yang menggantikan kamera fotografi pertama kali, digunakan dalam pengamatan astronomi berupa kamera Charge Coupled Device (CCD) dan kamera Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS). Kamera ini akhirnya dipakai dalam peralatan kedokteran dan bidang ilmu lain. Kemudian berkembang lagi menjadi kamera digital yang saat ini digunakan oleh publik.

Kamera CMOS yang dikembangkan NASA pada 1990-an untuk pengamatan objek astronomi pada wahana antariksa telah dipakai dalam banyak aplikasi. Ukurannya yang kecil dan memerlukan daya yang sangat rendah memungkinkan kamera CMOS digunakan pada telepon seluler saat ini (NASA, 2010).

Keteraturan peredaran atau ketampakan benda-benda langit telah dimanfaatkan oleh berbagai kebudayaan dalam penentuan waktu. Bilangan tahun 365 hari berasal dari pengamatan keteraturan peredaran matahari di langit yang sesungguhnya karena peredaran bumi mengelilingi matahari. Bilangan bulan sekitar 30 hari berasal dari

pengamatan fase-fase bulan yang rata-ratanya mempunyai periode 29,5 hari. Bilangan pekan 7 hari terkait dengan kepercayaan tujuh benda langit utama yang dianggap berpengaruh pada kehidupan manusia di bumi. Tujuh benda langit itu adalah matahari (untuk hari Ahad), bulan (Senin), Mars (Selasa), Merkurius (Rabu), Jupiter (Kamis), Venus (Jumat), dan Saturnus (Sabtu).

Astronomi juga berpengaruh pada bahasa, sastra, seni lukis, seni musik, arsitektur, kegiatan spiritual, sampai filsafat. Kosakata, cerita rakyat, atau karya sastra banyak yang terinspirasi dari fenomena langit. Dalam bahasa Indonesia tokoh utama, orang yang berprestasi gemilang, atau suatu anugerah penghargaan disebut “bintang”, seperti “bintang film”, “bintang kelas”, atau “Bintang Mahaputra”. Kawah bulan yang tampak seolah menggambarkan orang dan binatang peliharaannya, memunculkan cerita rakyat Sunda dengan Nini (Nenek) Anteh dan Kucing Candramawa-nya. Candi Borobudur bentuk bangunannya berorientasi utara-selatan-barat-timur serta tata letak stupanya mengindikasikan pengaruh penentuan posisi matahari.

Inspirasi pengamatan benda-benda langit, baik struktur maupun dinamikanya telah mendorong pengembangan teknologi dengan segala manfaat dan dampaknya. Astronomi telah menjadi cabang sains paling tua sekaligus menjangkau masa depan yang jauh. Fenomena astronomi yang menarik untuk diamati, lalu dimodelkan dengan sains dan diimplementasikan sebagai teknologi. Hal inilah yang banyak menginspirasi generasi muda. Oleh karenanya astronomi sangat disarankan untuk disertakan dalam proses pembelajaran pada siswa, baik sebagai bagian dari kurikulum yang formal maupun dalam kegiatan ekstrakurikuler. Lebih luas lagi, astronomi diarahkan untuk semua kalangan. Astronomi untuk semua.

Di Indonesia, astronomi telah dikenal dan dimanfaatkan secara tradisional sejak zaman dulu untuk penentuan waktu tanam. Sejak era Hindia-Belanda, astronomi modern mulai diperkenalkan dengan dibangunnya observatorium Bosscha di Lembang, Bandung Barat, pada 1923. Pada sisi lain, Indonesia pun merupakan negara ketiga sesudah Amerika Serikat dan Kanada dalam pemanfaatan satelit

komunikasi dengan peluncuran satelit Palapa pada 1976. Setelah itu, sejak 1980-an Indonesia pun aktif memanfaatkan citra satelit untuk beragam kebutuhan, terutama untuk prakiraan cuaca, pemetaan, identifikasi dan pemantauan sumber daya alam, serta penanganan pasca-bencana alam.

Indonesia dituntut untuk terus berperan aktif dalam pembangunan keantariksaan, baik dalam konteks nasional, regional maupun internasional. Dalam menjalankan peran tersebut, Indonesia dihadapkan pada berbagai tantangan, seperti sustainabilitas aktivitas keantariksaan, pengembangan kelembagaan dan kolaborasi, dan aturan serta regulasi internasional di bidang keantariksaan. Adanya kepentingan berbagai negara di bidang keantariksaan, telah menyebabkan peningkatan okupansi orbit oleh sampah antariksa dan *carbon footprint* antariksa. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan keberlanjutan aktivitas keantariksaan serta implikasinya pada lingkungan terestrial dan orbital. Isu sustainabilitas ini juga termasuk sistem observasi terestrial yang telah terganggu dengan adanya penggunaan cahaya berlebihan di permukaan sehingga mengurangi kejelasan objek yang diamati. Berbagai tantangan tersebut perlu disikapi oleh kebijakan yang tepat.

Bentang wilayah Indonesia sepanjang ekuator pada satu sisi mempunyai keuntungan dalam pengembangan teknologi antariksa, seperti potensi pengembangan bandar antariksa yang lebih efisien untuk peluncuran satelit. Namun pada sisi lain, potensi kejatuhan sampah antariksa juga cukup besar karena semua objek pengorbit bumi, termasuk sampah antariksa pasti melintasi ekuator. Saat ini sampah antariksa terus meningkat dari bekas roket peluncur, satelit yang telah mati, atau pecahan akibat tabrakan sesama sampah antariksa. Beberapa sampah antariksa telah ditemukan jatuh dekat area pemukiman di beberapa wilayah Indonesia. Sampah antariksa pertama ditemukan di Gorontalo pada 1981 berupa tabung bahan bakar roket. Selanjutnya, ditemukan di Lampung (1988), di Bengkulu (2003), di Madura (2016), di Sumatera Barat (2017), di Kalimantan Tengah (2021), dan di Kalimantan Barat (2022) (Djamaluddin,

2021). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah satelit dan puing-puing ruang angkasa telah menjadi persoalan besar yang menimbulkan risiko bagi keselamatan masyarakat di Bumi, terutama bagi negara-negara yang berada di ekuator, dan juga keselamatan orbit. Dalam hal ini, memerlukan regulasi dan teknologi terkait kongesti orbital yang mengarah pada upaya penurunan risiko jatuhnya benda sampah antariksa.

Benda jatuh antariksa bukan hanya sampah antariksa. Ada juga benda jatuh antariksa alami berupa asteroid dan meteorit dengan berbagai ukuran. Biasanya yang sering terlihat adalah meteor biasa yang habis terbakar selama melintas atmosfer. Sebagian ada yang tidak terbakar habis yang disebut meteorit. Semakin besar ukurannya, semakin jarang.

Benda jatuh antariksa alami yang berukuran besar berasal dari asteroid yang mengorbit dekat bumi yang biasa disebut Near Earth Asteroids (NEAs). Pada 2009, sebuah asteroid berukuran delapan meter jatuh di Bone, Sulawesi Selatan. Peristiwa tersebut tidak memberi dampak signifikan terhadap aktivitas manusia, baik kerugian materiil maupun non-materiil karena jatuh ke laut. Namun, asteroid yang lebih besar jatuh di Rusia pada 2013. Gelombang kejutnya merusakkan gedung-gedung yang dilewatinya. Jauh sebelum kejadian tersebut, asteroid atau pecahan komet yang jauh lebih besar pernah jatuh di kawasan hutan Siberia pada 1908 yang menyebabkan pohon-pohon bertumbangan. Selain itu, asteroid raksasa yang ditaksir berukuran 10 km diduga jatuh di Semenanjung Yukatan, Meksiko, sekitar 65 juta tahun yang lalu. Debu hasil tumbukannya menutupi atmosfer bumi dalam waktu lama dan diduga menjadi sebab punahnya dinosaurus.

Potensi jatuhnya asteroid dan sampah antariksa tentu perlu diwaspadai. Jejaring patroli langit menggunakan Allsky Camera perlu diadakan untuk memantau benda jatuh antariksa tersebut. Langkah awal sudah dilakukan oleh Institut Teknologi Sumatera (Itera) dan beberapa mitra lainnya dengan membentuk jejaring yang disebut *Indonesian Space Patrol Network* (ISPN). Fasilitas Allsky Camera Itera berhasil mendeteksi sampah antariksa yang melintas dari Samudra

Hindia, Sumatra, dan akhirnya jatuh di Sanggau, Kalimantan Barat (Djamaluddin, 2021). Jejaring pengamatan antariksa bisa melibatkan perguruan tinggi terkait dan komunitas astronomi yang kini mulai tumbuh di banyak kota. Teleskop robotik di Itera bisa mengamati bulan secara otomatis dan mempunyai sistem yang bisa bergerak cepat untuk mendeteksi asteroid, komet, atau satelit pengorbit bumi.

Patroli langit dan pengamatan objek langit lainnya secara optik (dengan menggunakan teleskop) sangat bergantung pada kondisi langit cerah dan bebas polusi cahaya, selain peralatannya. Polusi cahaya adalah gangguan hamburan cahaya lampu kota oleh atmosfer yang menyebabkan langit terlihat terang, mengalahkan objek-objek langit yang redup. Suatu observatorium dibangun dengan memerhatikan aspek iklim terkait liputan awan, polusi cahaya, serta teknologi yang akan digunakan.

Pada umumnya, observatorium dibangun dengan spesifikasi iklim, polusi cahaya, dan teknologi yang terbaik pada zamannya. Namun, kondisinya semakin menurun seiring berjalannya waktu. Kondisi iklim berubah, polusi cahaya cenderung meningkat, dan teknologi makin tertinggal.

Kondisi iklim sangat bergantung pada perubahan global yang tidak bisa kita kendalikan. Perubahan teknologi pun terjadi semakin cepat. Kita sebagai pengguna cenderung beradaptasi dengan inovasi baru yang lebih efisien dan praktis. Dalam konteks teknologi observatorium, banyak orang mulai beralih ke metode pengamatan berbasis satelit dan teleskop ruang angkasa, seperti James Webb Space Telescope yang menawarkan resolusi lebih tinggi dan cakupan lebih luas dibandingkan observatorium darat. Meskipun demikian, observatorium tradisional masih memiliki peran penting, terutama dalam penelitian astronomi optik dan radio, serta dalam mendukung komunikasi ilmiah lokal.

Polusi cahaya sebagai tantangan utama yang dihadapi observatorium, masih memungkinkan untuk kita kendalikan dengan kebijakan dan kesadaran publik. Memang tidak bisa menghentikannya, tetapi upaya yang bisa kita lakukan adalah mengurangi laju peningkatan-

nya. Kebijakan pengendalian langit gelap awalnya berorientasi untuk menyelamatkan observasi langit di observatorium. Namun, dampak sesungguhnya merambah pada berbagai sektor lainnya. Kehidupan binatang malam sampai kesehatan manusia terdampak oleh makin meningkatnya cahaya buatan di kota-kota. Itu sebabnya penelitian tentang gangguan polusi cahaya kini banyak dilakukan, termasuk di Indonesia. Penelitian terutama dilakukan di sekitar observatorium, yaitu Observatorium Bosscha di Lembang, Bandung Barat, dan di Observatorium Nasional Timau, untuk menjaga agar langit menjadi terang atau mengurangi dampak polusi cahaya.

Kajian pengendalian polusi cahaya juga terkait dengan aspek sosial-ekonomi dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*, SDGs). Salah satunya dengan pembangunan taman langit gelap (Dark Sky Park). Taman langit gelap berfungsi untuk pelestarian lingkungan, edukasi, sosial-ekonomi, astrowisata, dan konservasi kondisi langit dengan tujuan ilmu pengetahuan. Taman langit gelap memberikan layanan khas berupa pengalaman unik menikmati langit bertabur bintang yang sudah hilang dari pengalaman masyarakat kota. Taman Langit Gelap Nasional yang digagas di wilayah Amfoang (Djameluddin, 2016) di sekitar kawasan Observatorium Nasional Timau, sangat tepat mengingat Gunung Timau termasuk hutan lindung. Taman Langit Gelap Nasional juga diharapkan dapat meningkatkan kondisi sosial-ekonomi masyarakat dengan adanya kegiatan astrowisata.

B. Kebijakan Pengembangan dan Pemanfaatan Teknologi Antariksa

Dari aspek kebijakan berbasis sains antariksa, kita beralih pada aspek kebijakan berbasis teknologi antariksa. Luasnya pemanfaatan teknologi antariksa telah menumbuhkan kepentingan komersial yang dapat menggeser pola-pola penggunaan teknologi dan kebijakannya, seperti roket yang dapat digunakan kembali, kekuatan komputasi yang lebih besar, dan mekanisme kontrak baru. Aturan dan regulasi internasional mutlak diperlukan. Oleh karena itu, anggapan bahwa

angkasa bebas dieksplorasi dan digunakan oleh semua negara tanpa diskriminasi, serta tidak ada negara yang dapat mengklaim kedaulatan terdapat antariksa, tentunya perlu dibatasi oleh aturan dan regulasi yang dapat menjamin keberlanjutan aktivitas keantariksaan, baik untuk tujuan ilmiah maupun komersial. Selain itu, kebijakan pemanfaatan teknologi antariksa diarahkan juga untuk dapat berkontribusi pada penyelesaian isu-isu penting yang muncul.

Salah satu kebijakan dalam aspek penerapan teknologi antariksa dapat terlihat ketika kasus pandemi Covid-19 muncul dan menuai masa krisis yang cukup panjang. Kita semua mengetahui bahwa pandemi Covid-19 telah melumpuhkan banyak sektor kehidupan. Hubungan sosial dibatasi, transportasi menjadi lumpuh, sampai sektor ekonomi terdampak parah. Teknologi antariksa telah mengambil perannya dalam mendukung upaya penanggulangan Covid-19 dengan segala dampaknya.

Wilayah Asia-Pasifik menjadi kawasan yang menarik untuk dikaji terkait dengan pola kebijakan yang diambil pada masa krisis. Sebagai contoh kasus, dikaji pola-pola kebijakan di Indonesia dan Australia yang dianggap mewakili kongsi Asia Pasifik. Indonesia mewakili negara yang sedang berkembang dalam pemanfaatan teknologi antariksa, *emerging space nation*. Sementara itu, Australia dianggap mewakili negara maju di bidang keantariksaan (*space faring nation*) di kawasan.

Topik ini mengkaji pilihan teknologi dan kerja sama yang diambil Indonesia dan Australia dalam menghadapi krisis global Covid-19. Analisis kebijakan menggunakan teori perbandingan politik dari Gabriel Almond yang membahas cara pemerintah merumuskan dan menerapkan kebijakan dalam menangani masalah masyarakat dan memenuhi kebutuhan warga negara mereka. Juga peran berbagai aktor, seperti kelompok kepentingan, partai politik, dan birokrasi dalam membentuk kebijakan publik.

Indonesia telah memiliki badan antariksa sejak 1963, yaitu LAPAN yang kemudian diintegrasikan ke BRIN pada 2021. Indonesia juga sudah mempunyai beberapa regulasi keantariksaan berupa

Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan dan meratifikasi beberapa perjanjian internasional tentang keantariksaan, seperti *outer space treaty* 1967 pada 2002, *rescue agreement* 1968 pada 1999, *liability convention* 1972 pada 1997, dan *registration convention* 1975 pada 1996. Sementara itu, Australia telah memiliki regulasi keantariksaan lebih dahulu daripada Indonesia, yaitu *Space Activities Act* 1998 (No. 123, 1998) (*as amended, taking into account amendments up to Act No. 8 of 2010*) serta *Space Activities Regulations* 2001. Badan Antariksa Australia (ASA) baru dibentuk pada 2018, walaupun industri keantariksaan telah berkembang jauh sebelumnya.

Indonesia dan Australia mempunyai kebijakan terkait penanganan Covid-19 yang berbasis teknologi antariksa. Kebijakan keantariksaan di Indonesia lebih banyak digerakkan oleh aktor birokrasi. Inisiatif pemanfaatan teknologi antariksa dilakukan oleh LAPAN dengan membangun LAPAN Hub Covid-19 yang mengintegrasikan data berbasis satelit, geospasial, dan statistik melalui antarmuka ramah pengguna yang dirancang untuk membantu pengambil keputusan mengidentifikasi area berisiko tinggi. Para periset di LAPAN (sebelum berintegrasi ke BRIN) bekerja sama dengan The United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP), untuk bersama-sama mengembangkan manual dan menyampaikan lokakarya serta pelatihan kepada peserta di berbagai sektor di Asia dan Pasifik.

Di Australia, kebijakan diambil oleh Badan Antariksa Australia dengan mempertimbangkan juga kelompok kepentingan, yaitu Australian Space Innovator dan Australian Space Community. Kebijakan yang diambil dalam penanganan Covid-19 dengan memanfaatkan teknologi satelit untuk pemantauan keramaian dan identifikasi fasilitas kesehatan, GPS untuk pemantauan pengiriman obat, serta satelit komunikasi untuk pendidikan jarak jauh. Mitra utamanya adalah Amerika Serikat dan Eropa.

Secara umum kebijakan keantariksaan, baik di Indonesia maupun di Australia dibentuk oleh peran birokrasi dengan mempertimbangkan kelompok kepentingan. Dalam masa krisis Covid-19, Indonesia

lebih aktif memanfaatkan dan mengembangkan kemampuan dalam negeri. Sementara itu, Australia tetap fokus pada industrialisasi antariksanya dan responsif memperluas kerja sama internasional dalam menghadapi krisis Covid-19.

Selain di Asia Pasifik, Indonesia juga memiliki kepentingan dalam pengembangan keantariksaan dalam konteks regional Asia Tenggara. Dalam hal ini, perlu adanya kajian yang mengarah pada analisis model integrasi keantariksaan Indonesia di kawasan Asia Tenggara. Adanya Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), menunjukkan bahwa Indonesia merupakan negara pertama di kawasan Asia Tenggara yang memiliki visi keantariksaan dengan pembentukan lembaga antariksa. Terobosan kinerja Indonesia ditunjukkan dengan keberhasilan peluncuran roket Kappa dari Pameungpeh, Garut, sebagai hasil kerja sama dengan Jepang. Dari segi pemanfaatan teknologi antariksa, Indonesia juga menjadi negara pertama di kawasan Asia Tenggara yang ditandai dengan peluncuran satelit komunikasi Palapa pada 1976. Indonesia pun menjadi negara pertama di kawasan yang berhasil membuat satelit mikro dan telah berfungsi dengan baik di orbit.

Sebagai teknologi yang *high tech*, *high cost*, dan *high risk*, mengembangkan, bahkan menguasai teknologi antariksa tentunya memerlukan banyak sumber daya. Lambatnya pengembangan dan penguasaan teknologi antariksa disebabkan oleh berbagai faktor kompleks. Tidak hanya keterbatasan investasi dan pembiayaan, sumber daya manusia, keterbatasan infrastruktur, serta ketergantungan terhadap teknologi asing, juga dipengaruhi oleh perubahan struktur kelembagaan keantariksaan. Pembentukan Sub-Committee on Space Technology and Applications (SCOSA) di ASEAN belum berdampak pada pengembangan keantariksaan di kawasan.

Analisis teoretis model integrasi keantariksaan di kawasan Asia Tenggara menarik untuk dikaji. Model integrasi tersebut dapat dikaji menggunakan pola dan teori *liberal intergovernmentalism* (LI), yang menggabungkan aspek ekonomi dan politik serta memberi penekanan pada peran negara sebagai aktor utama dalam proses integrasi. Teori

ini merupakan salah satu teori arus utama dalam diskusi berbagai integrasi di kawasan, seperti di Uni Eropa (UE). Dalil yang digunakan sebagai pembentuk pola kerja sama, yakni *national preferences*, *substantive bargaining*, dan *institutional choice*. Tiga hal tersebut berkorelasi dengan daya saing dan kompetensi sektor antariksa di masa depan.

Beberapa negara di kawasan telah memiliki pengalaman keantariksaan. Vietnam telah terlibat dalam proyek Soyuz dan telah mengirimkan kosmonotnya ke antariksa. Dalam dekade lalu, Vietnam pun telah meluncurkan satelit mikronya bersama negara mitra. Tak hanya Vietnam, Singapura, Thailand, dan Malaysia, serta Filipina juga telah menunjukkan perkembangan penguasaan teknologi antariksanya, bahkan Singapura telah menunjukkan kemampuannya untuk membuat beberapa jenis satelit (Foster, 2023).

Dalam pola LI, proses perundingan merupakan fase distribusi informasi kepada negara lainnya dalam proses integrasi agar *cost* dalam perundingan menjadi murah dan efektif. Analisis awal menggunakan dalil *National Preferences*. *National Preferences* menekankan pentingnya pembahasan tentang tuntutan masyarakat di level domestik kepada pemangku kepentingan untuk melakukan kerja sama dalam pemenuhan kepentingannya. Proses ini merupakan praktik liberalisasi dan inklusivitas antarkelompok kepentingan, yaitu masyarakat dan pemerintah. Kepentingan nasional dibahas bersama untuk dibawa ke tingkat internasional.

Dalam proses intergrasi, terjadi proses tawar menawar substantif (*substantive bargainings*) di tingkat domestik dan juga di tingkat internasional. Kondisi industri keantariksaan nasional dan kondisi lainnya yang terkait harus menjadi pertimbangan. Untuk melegalisasi kesepakatan yang sudah tercapai serta simbol dari komitmen negara anggota yang ikut dalam proses tersebut, maka diperlukan pembentukan kelembagaan. Kelembagaan itu juga merupakan media yang dapat memutuskan kebijakan bersama, implementasi kesepakatan, elaborasi, serta kendali dan pelaksanaan. Bentuk kelembagaan yang dipilih (*institutional choice*) bisa beragam sesuai dengan kepentingan

negara-negara anggota. Sebagai contoh, Uni Eropa membentuk European Space Agency (ESA) yang merupakan lembaga independen.

Tawaran model integrasi keantariksaan dalam implementasinya tentu saja akan menghadapi berbagai tantangan dan kendala. Keterbatasan sumber daya di antara negara-negara ASEAN menjadi kendala utama. Minat untuk berintegrasi pun menghadapi tantangan dengan preferensi yang berbeda di antara negara-negara di kawasan untuk berkolaborasi langsung dengan negara-negara maju di bidang keantariksaan. Namun, pembangunan bandar antariksa di Indonesia diharapkan bisa menjadi daya tarik tersendiri untuk memperkuat keantariksaan di kawasan ASEAN.

Pembangunan bandar antariksa memang menjadi salah satu cita-cita keantariksaan Indonesia. Banyak kajian diperlukan untuk menyusun rencana konkret pembangunan serta komersialisasinya. Salah satunya kajian aspek hukum. Indonesia telah meratifikasi empat dari lima sumber hukum keantariksaan internasional, yaitu Outer Space Treaty 1967 dan tiga perjanjian turunannya. Hanya Moon Agreement yang belum diratifikasi. Terbitnya Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan (UU No. 21, 2013) menjadi sumber hukum keantariksaan Indonesia. Sementara itu, sumber hukum pemanfaatan antariksa untuk telekomunikasi sudah diatur lebih dahulu oleh undang-undang tentang telekomunikasi.

Undang-Undang Keantariksaan mengatur tentang penguasaan sains dan teknologi antariksa, pemanfaatan teknologi antariksa untuk pengindraan jauh, serta peluncuran wahana antariksa dan kegiatan komersial keantariksaan. Dua kegiatan keantariksaan peluncuran wahana antariksa dan kegiatan komersial keantariksaan yang diamanatkan di dalam undang-undang memang belum ada di Indonesia. Namun, keduanya perlu diselenggarakan agar Indonesia tidak sekadar menjadi pasar teknologi antariksa mancanegara. Cita-cita membangun dan mengoperasikan bandar antariksa di wilayah Indonesia termasuk kegiatan yang dimaksud dalam Undang-undang Keantariksaan tersebut.

Dalam Undang-Undang Keantariksaan terdapat bab khusus tentang bandar antariksa, namun masih bersifat umum. Peraturan pemerintah yang diamanatkan undang-undang tentang bandar antariksa sampai saat ini tengah disusun dan dalam proses penetapan. Meskipun bandar antariksa menjadi bagian target capaian Rencana Induk Keantariksaan yang ditetapkan melalui Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2017, rincian pengaturan pembangunan sampai pengoperasian bandar antariksa perlu diatur dengan peraturan pemerintah.

Dalam pelaksanaan pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa diperlukan juga kolaborasi internasional sebagaimana diarahkan oleh Kantor Urusan Keantariksaan PBB (United Nations Office for Outer Space Affairs, atau UNOOSA) Kolaborasi ini bertujuan untuk mengelola risiko terkait kegiatan antariksa secara kolektif, menjaga manfaat yang ada, dan membuka prospek masa depan. Tujuan keberlanjutan jangka panjang dalam kegiatan antariksa agar kegiatan keantariksaan tersebut dapat berlangsung tanpa batas waktu, serta memastikan akses yang adil terhadap manfaat eksplorasi dan pemanfaatan antariksa untuk tujuan damai.

Kemitraan terkait dengan pendanaan juga sangat penting karena bandar antariksa sangat mahal biaya pembangunan dan pengoperasiannya. Upaya menggalang dan mempertahankan investor asing memerlukan regulasi nasional yang menarik dan memberikan kepastian. Pendanaan dalam negeri pun sangat dibutuhkan sehingga penggalangan partisipasi pihak swasta nasional pun perlu diwadahi dengan regulasi yang tepat. Pola pendanaan kegiatan keantariksaan kita bisa mencontoh India yang berhasil mewujudkan misi keantariksaan dengan biaya paling murah dibandingkan biaya yang dikeluarkan negara-negara lain.

Bandar antariksa memerlukan lahan yang luas dengan berbagai persyaratan lokasi. Hal ini memerlukan kajian potensi dampak lingkungan. Demikian juga kegiatan operasional peluncuran berpotensi memengaruhi lingkungan di sekitar bandar antariksa. Oleh karena itu, kajian dampak lingkungan dan regulasi yang melindungi keberadaan

bandar antariksa perlu disiapkan dengan baik. Kebijakan pemerintah tentang SDM keantariksaan untuk mendukung pengoperasian bandar antariksa juga perlu diperkuat. Selain itu, juga perlu pengembangan industri pendukung teknologi keantariksaan.

Selain kegiatan peluncuran wahana antariksa, kegiatan keantariksaan internasional yang belum secara aktif dilakukan Indonesia adalah eksplorasi antariksa. Eksplorasi antariksa adalah kegiatan keantariksaan yang dilakukan di luar orbit bumi dengan menggunakan wahana antariksa, terutama ke bulan serta misi-misi ke planet-planet, matahari, dan benda-benda tata surya lainnya. Misi eksplorasi antariksa dilakukan agar kegiatan pengamatan tidak hanya dilakukan dari permukaan bumi atau orbit bumi.

Eksplorasi antariksa (*space exploration*) adalah kegiatan keantariksaan yang lebih maju dari pengamatan antariksa (*space observation*) dan pemanfaatan antariksa (*space utilization*). Eksplorasi antariksa selain bertujuan untuk pengembangan sains tentang tata surya dan alam semesta secara umum, juga untuk pengembangan teknologi baru yang lebih maju, serta untuk inspirasi generasi muda (NASA, 2025).

Indonesia selama ini baru fokus pada pengembangan pengamatan dan pemanfaatan antariksa. Eksplorasi antariksa dianggap masih terlalu mahal untuk dilakukan. Memang belum banyak negara yang secara aktif melakukan eksplorasi antariksa. Amerika Serikat dan Rusia (dulu Uni Soviet) adalah pelopornya. Kini diikuti negara-negara Eropa, China, Jepang, dan India. Negara-negara lain umumnya sebagai partisipan kolaborator dalam proyek bersama negara-negara maju tersebut. Uni Emirat Arab dengan kemampuan ekonomi juga telah meluncurkan wahana antariksanya ke Mars, walaupun secara teknologi masih bergantung pada Amerika Serikat.

Merujuk pada perkembangan keantariksaan internasional yang mengarah pada *space resources utilization*, eksplorasi antariksa mungkin bisa diikuti oleh Indonesia dengan mekanisme kolaborasi internasional. Peluang sebenarnya terbuka, antara lain dalam program Artemis yang dipimpin Amerika Serikat. Program Artemis adalah

misi eksplorasi antariksa kembali ke bulan sebagai persiapan untuk misi yang lebih besar menuju planet Mars.

Demikian juga dengan kolaborasi internasional untuk misi ke asteroid yang menjanjikan potensi ekonomi dan lompatan teknologi. Dengan penguatan SDM keantariksaan dan status ekonomi Indonesia yang diproyeksikan makin menguat, partisipasi Indonesia dalam kolaborasi internasional untuk eksplorasi antariksa sangat memungkinkan. Program mandiri eksplorasi antariksa bukan pilihan yang baik karena eksplorasi antariksa sangat mahal dengan risiko kegagalan sangat besar.

Eksplorasi antariksa ke asteroid memang menarik dan bisa menginspirasi generasi muda. Namun, pengamatan antariksa juga penting untuk memantau potensi bencana dari antariksa. Asteroid juga menjadi objek antariksa yang bisa mengancam bumi. Demikian juga objek antariksa yang lebih dekat, yaitu sampah antariksa yang juga menjadi potensi ancaman bagi bumi. Pertanyaan terakhir yang muncul dan cukup penting adalah kebijakan apa yang perlu kita siapkan untuk mengantisipasi potensi ancaman dari antariksa tersebut? Karena kita juga sudah bergantung pada teknologi antariksa untuk berbagai keperluan primer, antisipasi juga perlu dilakukan pada potensi ancaman pada satelit-satelit yang sedang mengorbit, antara lain akibat tabrakan dengan sampah antariksa.

Hal-hal itulah yang saat ini mendorong setiap negara secara mandiri maupun kolektif melakukan penguatan ketahanan antariksa (*space resilience*). Dalam konteks Indonesia, konsep ketahanan nasional perlu juga memasukkan ketahanan antariksa karena ketergantungan kita pada teknologi antariksa dan ancaman dari antariksa tidak terhindarkan. Ketahanan antariksa menggabungkan aspek keamanan dan keselamatan dari ancaman, baik yang terjadi di antariksa maupun yang berasal dari antariksa. Ketahanan nasional mencakup ketahanan terhadap ancaman faktual, baik militer, non-militer, maupun hibrida, dan juga terhadap ancaman potensial.

Ketahanan antariksa juga bisa mencakup ancaman militer, non-militer, dan hibrida. Ancaman militer antara lain penggunaan

satelit militer untuk mata-mata sampai dengan perang antariksa yang menghancurkan satelit-satelit strategis. Ancaman non-militer bisa berupa benda jatuh antariksa dan tabrakan satelit dengan sampah antariksa. Sementara itu, ancaman hibrida bisa berwujud embargo serta perang siber dan interferensi radio. Ancaman-ancaman tersebut bisa bersifat faktual atau potensial.

Buku ini merupakan hasil pemikiran banyak ahli yang mencermati pentingnya kebijakan keantariksaan, dan diharapkan menjadi salah satu jawaban atas isu-isu dan pertanyaan-pertanyaan penting terkait penyelenggaraan keantariksaan Indonesia. Dalam Bab II, penulis menguraikan bagaimana peran astronomi sebagai sains dasar keantariksaan dalam berbagai aspek kehidupan. Dalam Bab III dibahas bagaimana upaya-upaya pengembangan jejaring patroli langit untuk mewujudkan kedaulatan keantariksaan di Indonesia. Dalam Bab IV dikupas bagaimana berbagai aspek dianalisis untuk menunjang lahirnya kebijakan langit gelap, tidak hanya untuk mempertahankan sistem observasi terestrial, tetapi juga memberikan dampak lebih luas. Dalam Bab V dikupas bagaimana kebijakan keantariksaan Asia-Pasifik dapat merespons kebutuhan dan isu masyarakat saat terjadi krisis dengan menampilkan dua kasus yang berbeda, yaitu kasus di Indonesia dan Australia. Dalam Bab VI dibahas bagaimana berbagai kepentingan keantariksaan di kawasan Asia Tenggara diintegrasikan melalui analisis teoritis model. Selanjutnya, dalam Bab VII dikupas tuntas mengenai pembangunan dan komersialisasi bandar antariksa di Indonesia berdasarkan tinjauan hukum. Terakhir, dalam Bab VIII dan Bab IX dibahas bagaimana posisi Indonesia dalam misi eksplorasi antariksa, serta bagaimana konsep ketahanan dalam menghadapi bencana antariksa di orbit Bumi.

Referensi

Djamaluddin, T. (2016, 3 Mei). Selamatkan Langit Malam Bertabrak Bintang. Diakses pada Juli 2024, dari <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2016/05/03/selamatkan-langit-malam-bertabrak-bintang/>.

- Djamaluddin T. (2021, 10 Januari). Dokumentasi Benda Jatuh Antariksa di Indonesia. Diakses pada Juli 2024, dari <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2021/01/10/dokumentasi-benda-jatuh-antariksa-di-indonesia/>.
- Foster, M. (2023, 1 Desember). The New Frontier: Southeast Asia's Emerging Space Role. *ASEAN Briefing*. <https://www.aseanbriefing.com/news/investing-asean-space-sector-emerging-opportunities-satellite-programs/>
- Long, A. A. (1974). *Hellenistic philosophy: Stoics, epicureans, sceptics*. University of California Press. Hlm. 107–147.
- NASA. (2010). Image Sensors Enhance Camera Technologies. *NASA Spinoff*. Diakses pada Januari 2025, dari https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/cg_3.html.
- NASA. (t.t.). *Why Go to Space?* Diakses pada April 2025, dari <https://www.nasa.gov/humans-in-space/why-go-to-space/>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan. (2013), <https://peraturan.bpk.go.id/Details/38897/uu-no-21-tahun-2013>

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

Buku ini tidak diperjualbelikan

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.

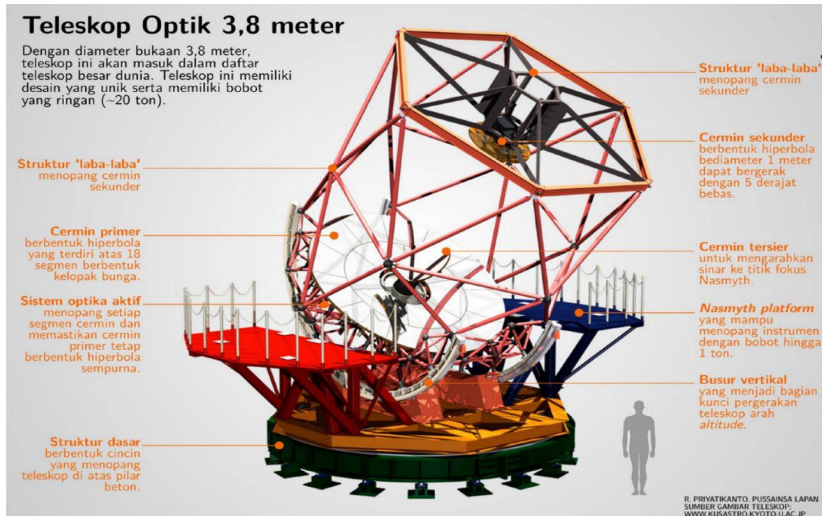
Fasilitas ini terletak di Amfoang Tengah, lereng gunung Timau pada posisi $9^{\circ}35'50",2$ LS, $123^{\circ}56'48",5$ BT dan berada pada ketinggian 1.300 meter di atas permukaan laut. Posisinya terletak di tengah hutan lindung dan pada lokasi yang cukup tinggi diharapkan bisa memberikan hasil yang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

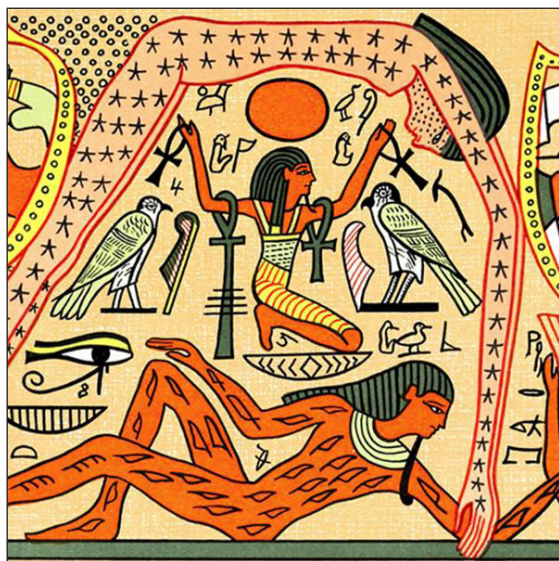
Pengaruh astronomi pada karya-karya sastra modern muncul dalam bentuk gabungan konsep ilmiah dengan narasi. Contoh di sini adalah *Cosmicomics* karya Italo Calvino (2015) yang mengeksplorasi asal-usul alam semesta dan sifat ruang dan waktu dalam bentuk fiksi ilmiah. Contoh lain adalah *Contact* karya 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 *Timaeus* 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)

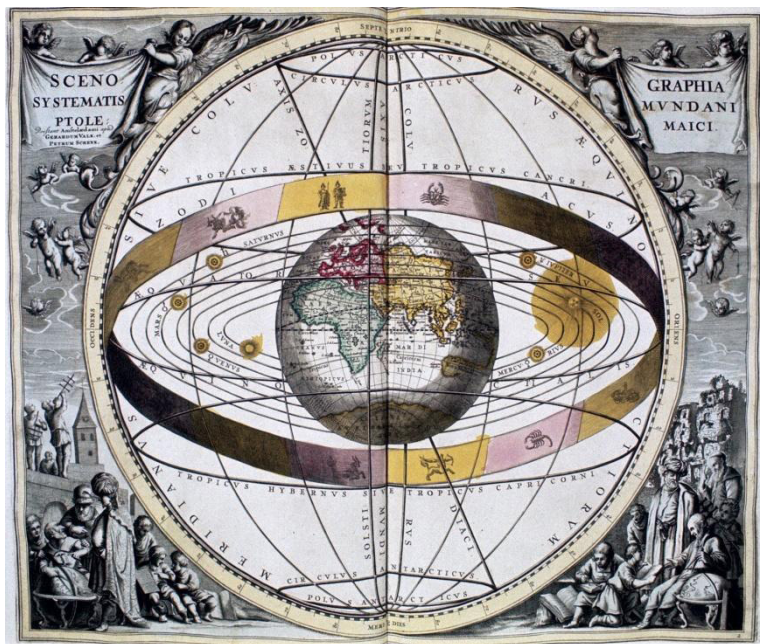
Gambar 2.11 Griffith Observatory

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).

Buku ini tidak diperjualbelikan



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 arasa 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>.

Buku ini tidak diperjualbelikan

BAB III

Pengembangan Jejaring Patroli Langit Untuk Kedaulatan Keantariksaan di Indonesia

Robiatul Muztaba & Aditya Abdillah Yusuf

A. Urgensi Penguasaan Keantariksaan Bagi Bangsa Indonesia

Perkembangan astronomi optik dimulai pada tahun 1609 ketika Galileo Galilei, mengarahkan teleskop sederhananya ke arah beberapa benda langit, seperti permukaan Bulan, fase-fase planet Venus, planet Jupiter dan satelitnya. Hasil dari pengamatan ini ternyata dapat membuka horizon baru bagi manusia dan pada akhirnya hasil-hasil pengamatan tersebut memperbarui keyakinan tentang kebenaran konsep heliosentris. Pada hakikatnya astronomi dikenal sebagai *observational science*, yaitu cabang ilmu yang dikembangkan berdasar atas pengamatan benda-benda langit. Salah satu tantangan bagi bangsa Indonesia adalah penguasaan ilmu dan teknologi keantariksaan.

R. Muztaba & A. A. Yusuf

Institut Teknologi Sumatera, e-mail: robiatul.muztaba@sap.itera.ac.id

© 2025 Editor & Penulis

Muztaba R. & Yusuf, A.A. (2025). Pengembangan Jejaring Patroli Langit Untuk Kedaulatan Keantariksaan di Indonesia. Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(63–96). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1592.c1497, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Buku ini tidak diperjualbelikan

Penggunaan antariksa untuk perdamaian dan kesejahteraan umat manusia merupakan landasan universal dalam mempelajari langit di atas wilayah Indonesia.

UU Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan, mengamanatkan eksplorasi langit untuk perdamaian, kepentingan nasional, dan pemenuhan kewajiban internasional. Kegiatan keantariksaan sebagaimana dimaksud pada UU dilaksanakan dengan memperhatikan:

- 1) kepentingan nasional;
- 2) keamanan dan keselamatan;
- 3) perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi;
- 4) sumber daya manusia keantariksaan yang profesional;
- 5) manfaat, efektivitas, dan efisiensi;
- 6) keandalan sarana dan prasarana keantariksaan;
- 7) perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dan lingkungan antariksa; dan
- 8) ketentuan peraturan perundang-undangan nasional dan perjanjian internasional yang Indonesia menjadi negara pihak yang terlibat.

Selain itu, imbauan IAU pada tahun 2003 untuk mengajarkan astronomi dalam kurikulum nasional mungkin akan dapat direalisasi sebagian melalui kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh komunitas astronomi yang tersebar di Indonesia, pendidik dan peneliti yang memublikasikan hasil observasi dan mengajak masyarakat untuk ikut serta mengamati fenomena benda langit menggunakan fasilitas teleskop yang ada di Observatorium, dan bentuk kegiatan edukasi lainnya yang disajikan melalui Planetarium. Hasil pengamatan landas bumi dan landas antariksa, serta penelitian astronomi menyebabkan terdapat akselerasi pengetahuan baru dalam bidang astronomi dan astrofisika. Pengetahuan baru tersebut tidak jarang mengganti pemahaman atau teori - teori yang ada saat ini.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki eksistensi teknologi keantariksaan sejak zaman Hindia Belanda. Hal ini tertulis

dalam buku sejarah observatorium Bosscha. Observatorium Bosscha berdiri pada tahun 1928, dan menjadikannya sebagai observatorium yang memiliki teleskop terbesar di Asia Tenggara. Sejak saat itu astronomi di Indonesia berkembang dengan pesat dan didukung oleh keberadaan program studi Astronomi di Institut Teknologi Bandung (ITB). Berbagai penelitian panjang telah dilakukan, seperti pengamatan bintang variabel dan pengamatan gerhana matahari. Seiring dengan perkembangan peradaban Islam modern, pemanfaatan teknologi keantariksaan juga dimanfaatkan untuk pengamatan bulan sabit untuk menentukan awal bulan Qomariyah. Selain itu, saat ini semakin besar animo masyarakat terhadap suatu fenomena alam yang berkaitan dengan keantariksaan. Bahkan jauh sebelum teknologi keantariksaan mulai dikembangkan di Indonesia, negara dengan banyak kepulauan ini merupakan negara yang kaya dengan ragam budaya termasuk beragamnya cerita rakyat atau mitos yang berkembang di masyarakat dan berkaitan dengan fenomena alam, khususnya benda langit. Hal ini tampak, misalnya pada fenomena gerhana Matahari, gerhana Bulan, dan Bulan purnama. Selain itu, juga termasuk pada bangunan sejarah. Dewasa ini telah dilakukan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa sebuah bangunan pun berkaitan dengan fenomena benda langit dari sisi kesimetrisan antara sebuah bangunan dan arah terbit dan tenggelamnya Matahari. Misalnya candi Borobudur dan relief yang terkandung di sisi bangunan candi secara fisik terdapat gambar tujuh buah bintang, Matahari, dan Bulan. Selain itu, juga terdapat tulisan kuno yang menjelaskan tentang kebiasaan masyarakat terhadap aktivitas sehari-hari, misalnya nelayan yang berlayar dan petani yang bercocok tanam. Semua kegiatan mereka dilakukan dengan melihat pola bintang rasi tertentu yang ada di langit. Hal ini membuktikan bahwa ilmu astronomi telah berkembang sejak lama di Indonesia dan telah mengakar menjadi budaya yang diwariskan secara turun menurun. Oleh karena itu, tidak bisa dipungkiri kita harus mampu bersaing secara teknologi untuk mengeksplorasi pengetahuan.

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak pada lintang garis khatulistiwa memiliki keuntungan tersendiri dalam upaya mengeksplorasi keindahan langit. Oleh karena itu, Indonesia harus memproyeksikan perkembangan teknologi keantariksaan pada masa depan. Indonesia dengan membangun observatorium nasional sudah menjadi langkah yang sangat strategis. Hal tersebut membuktikan sekali lagi bahwa Indonesia mampu bersaing dalam perkembangan ilmu keantariksaan, baik dari sisi sumber daya manusia maupun kemajuan teknologi dalam skala landas Bumi. Memang pada dasarnya tidak bisa dibandingkan secara langsung dengan beberapa negara maju yang bahkan sudah masuk dalam ranah pengembangan teknologi landas antariksa. Indonesia masih sibuk dalam hal pembahasan kesejahteraan masyarakat, dan belum banyak membahas terkait eksplorasi keantariksaan. Namun, eksplorasi keantariksaan secara keilmuan di Indonesia tentu tidak kalah hebat dengan para ilmuwan di seluruh dunia. Hal ini membuktikan Indonesia dalam fase siap secara sumber daya manusia yang profesional untuk bersaing dengan negara-negara lain. Tidak sedikit astronom dari Indonesia yang berkarya dan berkiprah tersebar di berbagai negara. Termasuk jurnal-jurnal hasil publikasi di bidang ilmu astronomi yang sudah banyak disitasi oleh peneliti lintas negara. Kolaborasi di bidang pendidikan dan penelitian dalam skala perguruan tinggi juga sudah bersifat internasional. Sekali lagi, Indonesia memiliki kapasitas sumber daya manusia yang luar biasa untuk terus berkiprah dalam mengembangkan ilmu keantariksaan.

Pembahasan mengenai wilayah keantariksaan, wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia memiliki pengertian berdasarkan UU No. 43 Tahun 2008 tentang Wilayah Negara. Dalam Pasal 1 angka 1 UU tentang Wilayah Negara yaitu Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia yang selanjutnya disebut dengan Wilayah Negara adalah salah satu unsur negara yang merupakan satu kesatuan wilayah daratan, perairan pedalaman, perairan kepulauan, dan laut teritorial beserta dasar laut dan tanah di bawahnya, serta ruang udara di atasnya, termasuk seluruh sumber kekayaan yang terkandung di dalamnya. Kemudian Pasal 1 angka 1 UU No. 21 Tahun 2013

menjelaskan tentang antariksa merupakan ruang beserta isinya yang terdapat di luar ruang udara yang mengelilingi dan melingkupi ruang udara. Indonesia adalah negara kepulauan yang membentang sepanjang garis khatulistiwa, serta kedudukannya sebagai wilayah penghubung yang terletak pada posisi silang antara dua benua dan dua samudra. Indonesia sebagai negara khatulistiwa terpanjang, secara geografis merupakan negara yang memiliki wilayah Antariksa yang sama panjangnya dengan segmen *Geo Synchronous Object* (GSO). Apalagi jika dibandingkan negara-negara di kawasan khatulistiwa lainnya, seperti Columbia, Congo, Ecuador, Kenya, Uganda, Zaire, dan Brazil, Indonesia adalah satu-satunya negara yang memiliki jalur GSO terpanjang di atas wilayah teritorialnya, yakni 13% dari panjang GSO seluruhnya atau sepanjang 34.000 km. Oleh karena itu, sebagai negara yang memiliki wilayah geografis yang potensial untuk kepentingan bangsa Indonesia saat ini dan masa yang akan datang, perlu usaha-usaha untuk menjaga keamanan dalam pemanfaatan wilayah Antariksa yang berada di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Di sisi lain, pemanfaatan antariksa seiring dengan perkembangan teknologi peluncuran roket membuat jumlah populasi satelit di antariksa semakin meningkat. Kerusakan satelit pun dapat terjadi karena tabrakan dengan satelit lain ataupun kerusakan pada sistem kendali sehingga menjadi sampah antariksa (*space debris*). Meningkatnya jumlah sampah di ruang angkasa menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan dan membawa risiko yang lebih tinggi terhadap fungsi dan misi satelit (Bigdeli dkk., 2023; Yozkalach, 2023). Puing-puing tersebut dapat menimbulkan ancaman tabrakan dengan Stasiun Luar Angkasa Internasional, pesawat ulang-alik, dan satelit komersial, dan terdapat di berbagai bagian orbit Bumi, dengan ukuran, bentuk, kecepatan, dan massa yang bervariasi (Neflia dkk, 2022). Akumulasi puing-puing luar angkasa dapat membuat beberapa jalur orbit menjadi terlalu berbahaya untuk digunakan sehingga berpotensi membatasi kemampuan kita untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan ruang angkasa (Schmalenbach, 2022). Selain itu, benda luar

angkasa yang masuk kembali ke atmosfer bumi dapat jatuh ke bumi sehingga menimbulkan bahaya bagi wilayah yang garis pantainya panjang seperti Indonesia. Potensi bahaya dari meteoroid dan asteroid juga dapat menimbulkan ancaman bagi lingkungan Bumi. Implikasi yang ditimbulkan benda jatuh Antariksa antara lain:

- 1) fenomena tabrakan antara satelit rusak dan satelit yang masih aktif,
- 2) membahayakan lingkungan Bumi jika satelit tersebut tidak habis terbakar di atmosfer Bumi, dan
- 3) membahayakan kesehatan jika benda antariksa yang jatuh mengandung unsur radioaktif.

Benda antariksa juga berpotensi dapat masuk ke dalam atmosfer Bumi, jika objek tersebut tidak habis terbakar oleh atmosfer maka sudah dapat dipastikan akan jatuh dan memberikan ancaman terhadap lingkungan di Bumi. Benda jatuh antariksa merupakan benda yang jatuh dari antariksa ke Bumi, baik itu benda buatan manusia, seperti satelit, pecahan satelit, pecahan roket, dan peralatan lainnya, maupun benda alamiah, seperti meteorit, komet, dan asteroid. Jika kita tinjau sejarah fenomena benda jatuh antariksa buatan manusia di beberapa negara antara lain.

- 1) Pecahan ledakan roket Vanguard selama misi percobaan jatuh di sekitar lokasi Cape Canaveral pada tahun 1958.
- 2) Pecahan roket Sputnik IV jatuh di Manitou Amerika Serikat tahun 1960.
- 3) Pecahan satelit Amerika tidak teridentifikasi jatuh di Samudra Pasifik tahun 1961.
- 4) Satelit Cosmos 954 milik Uni Soviet di Kanada tahun 1978.
- 5) Pecahan satelit Rusia tidak teridentifikasi jatuh di Samudra Pasifik pada 27 Maret 2007 yang melintas dan membahayakan sebuah pesawat Lan Airlines-Airbus A340 dengan 270 penumpang.
- 6) Pecahan satelit tidak teridentifikasi jatuh di Saskatoon Kanada tahun 2008.

Dalam catatan blog pribadi Profesor Thomas Djamaludiin sebagai peneliti aktif di Pusat Riset Antariksa ada beberapa contoh benda antariksa yang jatuh ataupun ditemukan di Indonesia (Djamaluddin, 2021) antara lain.

- 1) Pecahan roket SL-8 milik Uni Soviet dengan nomor katalog 11610 jatuh di Gorontalo pada 16 Maret 1981.
- 2) Pecahan roket SL-4 milik Uni Soviet dengan nomor katalog 19042 jatuh di Lampung pada 16 April 1988.
- 3) Pecahan roket CZ-3 milik RRC dengan nomor katalog 23416 jatuh di Bengkulu pada 13 Oktober 2003.
- 4) Pecahan roket Falcon-9 milik SpaceX Amerika Serikat dengan nomor katalog 41730 jatuh di Sumenep Madura pada 26 September 2016.
- 5) Pecahan roket CZ-3A milik RRC dengan nomor katalog 31116 milik Tiongkok jatuh di Sumatra Barat pada 18 Juli 2017.
- 6) Pecahan roket LM/CZ-8 milik RRC jatuh di Selat Karimata pada 4 Januari 2021.
- 7) Pecahan roket CZ-5B RRC jatuh di Desa Pengadang, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat pada 30 Juli 2022, yang sebelumnya sempat melintas di atas langit Lampung.

Sementara itu, contoh fenomena benda alamiah yang jatuh ke Bumi dan tercatat di Indonesia antara lain.

- 1) Meteorit Punggur yang jatuh pada tahun 2021 di Desa Astomulyo, Punggur, Lampung Tengah.
- 2) Meteor jatuh di Bone, Sulawesi Selatan, pada tahun 2009.
- 3) Meteor jatuh di Gianyar, Bali, pada tahun 2008.
- 4) Meteor jatuh di Curup Timur, Bengkulu pada tahun 2015.
- 5) Meteor melewati atas Gunung Merapi, pada 2021.
- 6) Meteor dengan kilauan cahaya hijau terang (*fireball*) yang melintas di langit Yogyakarta pada 2024.

Oleh karena itu, pengembangan instrumentasi keantariksaan dan jejaring patroli langit terhadap objek luar angkasa atau benda

antariksa adalah salah satu cara yang efektif untuk memantau secara kontinu dan mengatalogkan benda-benda luar angkasa yang dapat menimbulkan ancaman bagi kehidupan di Bumi.

B. Konsep Pembentukan dan Pengembangan Jejaring Patroli Langit Untuk Kedaulatan Keantariksaan di Indonesia

Jaringan Patroli Langit Indonesia (Indonesian Space Patrol Network, ISPN) terbentuk pada 2 Agustus 2022, hasil kerja sama Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) dan Surabaya Astronomy Club (SAC). ISPN saat ini mempunyai tujuh anggota yang dikelola secara individual oleh lembaga-lembaga di Jawa Timur, Lampung, DI Yogyakarta, Kalimantan Tengah, dan Nusa Tenggara Timur. Titik posisi *All-Sky Camera* dikelola oleh Jaringan Patroli Langit Indonesia dan dapat diakses di website <https://allskycam.or.id/>. Lebih lanjut, misi didirikannya Jaringan Patroli Langit Indonesia adalah melakukan patroli langit dengan mengajak seluruh observatorium dan komunitas astronomi di Indonesia untuk menggunakan *All-Sky Camera*.

Setiap anggota Jaringan Patroli Langit Indonesia memiliki tanggung jawab utama sebagai berikut”

- 1) memantau langit Indonesia, khususnya terhadap benda jatuh seperti meteor atau sampah luar angkasa;
- 2) memantau polusi cahaya di Indonesia;
- 3) membuat jaringan *All-Sky Camera* yang dapat langsung diakses oleh masyarakat; dan
- 4) berkolaborasi untuk membangun database *All-Sky Camera*.

Adapun *stakeholder* yang dapat dilibatkan dalam jejaring patroli langit untuk kedaulatan keantariksaan di Indonesia, yaitu observatorium, perguruan tinggi yang memiliki laboratorium keantariksaan, dan komunitas astronomi. Berikut beberapa pemangku kepentingan tersebut.

- 1) Observatorium adalah sebuah lokasi dengan perlengkapan yang diletakkan secara permanen agar dapat melihat langit dan peristiwa yang berhubungan dengan angkasa.
- 2) Perguruan tinggi yang memiliki fokus studi keantariksaan, yaitu institusi pendidikan tinggi yang menawarkan program dan kursus yang berkaitan dengan ilmu keantariksaan yang dapat mencakup astronomi, astrofisika, teknik *aerospace*, dan bidang terkait lainnya. Program-program ini dirancang untuk mempersiapkan mahasiswa untuk berkarier di industri keantariksaan, penelitian, dan pengembangan ilmu pengetahuan tentang alam semesta.
- 3) Komunitas astronomi adalah sekelompok orang yang memiliki minat bersama dalam bidang astronomi. Mereka sering berkumpul untuk berbagi pengetahuan, mengamati langit, dan mendiskusikan topik terkait astronomi, seperti bintang, planet, galaksi, dan fenomena kosmik lainnya. Komunitas ini bisa terdiri dari amatir, profesional, atau campuran keduanya.

Ilmu astronomi telah menunjukkan kekuatannya dalam masyarakat melalui pembentukan komunitas-komunitas astronomi yang tersebar di berbagai kota. Keberadaan komunitas ini mencerminkan minat yang luas dan mendalam terhadap ilmu pengetahuan tentang alam semesta, serta keinginan untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman dalam mengamati langit. Dengan adanya pertukaran ide dan kegiatan observasi bersama, komunitas-komunitas ini memperkaya pemahaman kolektif tentang kosmos.

Di tingkat akar rumput, komunitas astronomi berperan penting dalam menginspirasi generasi baru pengamat langit dan para peminat astronomi. Mereka menyediakan platform bagi individu dari segala usia untuk belajar, bertanya, dan tumbuh dalam pengetahuan mereka tentang astronomi. Kegiatan-kegiatan, seperti *workshop*, pengamatan bintang, dan diskusi publik menjadi bukti bahwa ilmu astronomi tidak hanya berkembang di lingkungan akademis, tetapi juga telah menjangkau dan mengakar di masyarakat luas.

Kolaborasi ketiga *stakeholder* di atas dapat mendukung satu sama lainnya sesuai peran dan fungsinya. Misalnya Komunitas Astronomi Lampung (KALA) merupakan komunitas pertama di Lampung yang lingkupnya di bidang astronomi (Susilo, 2020). Warid Zul Ilmi adalah ketua KALA pertama yang terpilih. KALA dibentuk atas dasar banyaknya minat masyarakat terhadap dunia astronomi pada berbagai fenomena astronomi yang terjadi di Lampung tepatnya pada fenomena Gerhana Matahari Total pada tahun 2016 silam. Hal tersebut membuat KALA menjadi wadah berkumpulnya para pecinta astronomi dari berbagai kalangan untuk berbagi dan belajar tentang dunia astronomi. Peran komunitas adalah sebagai jembatan informasi pengetahuan yang sebelumnya melalui proses pengamatan dari observatorium, penelitian di perguruan tinggi, dan penyampaian kepada masyarakat. Sesuai dengan visinya, KALA dapat menjadi fasilitator masyarakat untuk mendapatkan pengetahuan tentang ilmu astronomi, khususnya mengenai fenomena-fenomena alam yang terjadi di Bumi. Peran lainnya adalah menjalankan kegiatan seputar ilmu keantariksaan, seperti edukasi wisata astronomi, *star party*, *astrocamp*, diskusi tentang sains astronomi, dan pergerakan sosial serta lingkungan. Komunitas KALA juga melakukan gerakan sosial dan lingkungan, yaitu ikut andil dalam beberapa penyelenggaraan acara, seperti World Clean Up Days, Earth Hours, dan juga membuat donasi yang kemudian direalisasikan sebagai kegiatan eduwisata astronomi di sekolah terpencil. Kegiatan sederhana seperti itu dapat dilakukan oleh siapa pun selama ada kolaborasi antara *stakeholder* perguruan tinggi, observatorium, dan komunitas.

C. Pemantauan Langit dari ITERA untuk Indonesia

Catatan sejarah tentang pembentukan Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) tidak lepas dari peran orang-orang yang memiliki pandangan jauh ke depan tentang pentingnya penguasaan teknologi keantariksaan modern di Indonesia. Sedikitnya jumlah observatorium astronomi di kawasan ekuator, dan minimnya luas daratan (30%) dibanding dengan luas lautan (70%), serta lokasi

yang memenuhi persyaratan untuk pengamatan astronomi, menjadi motivasi utama Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Institut Teknologi Bandung (ITB), dan Pemprov Lampung menginisiasi untuk mendirikan sebuah observatorium baru yaitu Astronomical Observatory, Earth and Space Sciences Education Center in Sumatera (IAO ESSECS) pada awal 2017 yang akan dibangun di Taman Hutan Raya Wan Abdur Rahman (TAHURA WAR), Gunung Betung, Bandar Lampung. Pada 2018, kolaborasi ketiganya kemudian menular pada banyak astronom di Asia Tenggara melalui pertemuan penting membahas keberlanjutan kegiatan keastronomian dari berbagai perwakilan negara yang hadir termasuk perwakilan dari Indonesia dalam acara SEAAN Meeting yang ke-10 di Bandar Lampung. Namun, seiring berjalannya waktu program kegiatan pembangunan observatorium di Provinsi Lampung dihentikan. Ilustrasi tentang sejarah pembangunan OAIL dapat dilihat pada Gambar 3.1.



HISTORIS

2019 : Observatorium Kampus

- Fokus dalam upaya mendukung Tri Dharma Perguruan Tinggi dan tetap sebagai *Center of Excellent*

OAIL

Observatorium Astronomi
ITERA Lampung

@oail.itera

oail@itera.ac.id


oail.itera.ac.id

UPT OAIL, Gedung C Lantai 2 ITERA
Jalan Terusan Ryaosari
Vijay Mei, Karanganyar, Lampung


- Visi dan Misi**
 - Visi Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) identik dengan visi ITERA, yakni: **Mencerdaskan masyarakat, sebagai laboratorium pendidikan tersier di lingkungan ITERA, dan secara proaktif berpartisipasi dalam jejaring eksplorasi dan patroli langit.**
- Misi**
 - Melakukan penelitian dan eksplorasi langit dari wilayah Indonesia,
 - Memfaatkan langit untuk pendidikan keantariksaan bagi mahasiswa ITERA dan ITB serta masyarakat Lampung dan Sumatera,
 - Memfaatkan lokasi OAIL untuk wisata edukasi, terutama dalam bidang sains antariksa, kebumihan, dan teknologi instrumentasi,
 - Membangun kerjasama nasional maupun internasional dalam melakukan eksplorasi langit untuk kesejahteraan manusia
- Tekad OAIL**

OAIL bertekad untuk mengembangkan diri menuju satu unit dengan karakter kuat *center of excellence* di bawah panji-panji visi dan misi Institut Teknologi Sumatera. Bersama Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan dan Pusat Riset Inovasi Geopark Global dan Wisata Langit, melaksanakan dharma pendidikan dan penelitian dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi. OAIL menyelenggarakan *public outreach* sebagai manifestasi dharma ketiga perguruan tinggi, yakni pengabdian masyarakat.

**2020 - 2021 :
Pembangunan OZT - ALTS**



**2021 - 2022 :
Pengembangan ITERA Robotic Telescope (IRT) V1 dan V2**



Sumber: Robiatul Muztaba (2021)

Gambar 3.1 Sejarah Pembangunan OAIL

Pada 2019 terjadi perubahan nama dari IAO-ESSECS menjadi Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) dan dilanjutkan pembangunannya menjadi sebuah observatorium yang ada di lingkungan kampus. Berbeda dengan laboratorium di perguruan tinggi yang umumnya hanya berfungsi sebagai sarana praktikum bagi mahasiswa, Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) hadir dengan visi dan misi, serta tekad yang lebih luas sebagai berikut.

1) Visi

Visi Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) sejalan dengan visi ITERA, yakni mencerdaskan masyarakat, sebagai sebuah laboratorium pendidikan tersier di lingkungan ITERA, dan ikut secara proaktif berpartisipasi dalam jejaring eksplorasi dan patroli langit.

2) Misi

- a) Melakukan penelitian dan eksplorasi langit dari wilayah Indonesia;
- b) Memanfaatkan langit untuk pendidikan keantarkasaan bagi mahasiswa ITERA dan ITB serta masyarakat Lampung dan Sumatra. Memahami isi dan fenomena langit merupakan tantangan untuk meningkatkan kualitas berpikir manusia, menguasai dan mengembangkan sains dan teknologi, baik melalui observasi maupun eksplorasi, membangun budaya, mengajak manusia lebih banyak menggunakan pemikiran rasionalitas, menyinergikan antara dzikir dan pikir, serta membangun kerja sama lintas negara, lintas budaya dan lintas generasi.
- c) Memanfaatkan lokasi OAIL untuk wisata edukasi, terutama dalam bidang sains antariksa, kebumihantaran, dan teknologi instrumentasi,
- d) Membangun kerja sama, baik nasional maupun internasional dalam melakukan eksplorasi langit untuk kesejahteraan manusia

3) Tekad OAIL

- a) OAIL bertekad untuk mengembangkan diri menuju satu unit dengan karakter kuat *center of excellence* yang sejalan dengan visi dan misi Institut Teknologi Sumatra dan bersama Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan (SAP) melaksanakan dharma pendidikan dan penelitian dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi. Selain itu, OAIL menyelenggarakan *public outreach* sebagai manifestasi dharma ketiga perguruan tinggi, yakni pengabdian kepada masyarakat.



Keterangan: Rektor Pertama ITERA berfoto bersama beberapa teleskop Barride. Beliau mendukung penuh pendirian OAIL hingga saat ini.

Sumber: Elin Humas (2016)

Gambar 3.2. Teleskop Barride

Pada awal berdirinya, OAIL mendapatkan dukungan hibah teleskop dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebanyak 10 teleskop refraktor Barride melalui Tim Pelaksana Olimpiade Astronomi (TPOA) yang berpusat di Institut Teknologi Bandung (ITB). Kemudian keluarga Bapak Ofyar Z. Tamin (alm.) menghibahkan 2 (dua) buah teleskop refraktor Lunt dan Meade 8 inch, dan menerima banyak dukungan dari berbagai CSR. Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) terus berkembang di bawah Pimpinan Kepala Unit Pelayanan Teknis (UPT) OAIL pertama yaitu Dr. Hakim L. Malasan dengan melibatkan banyak kerja sama di bidang astronomi. *Memorandum of Understanding* - MoU antara ASTELCO GmbH dan ITERA telah dilaksanakan pada Maret 2020. Kemudian disepakati bahwa ASTELCO akan mengirimkan dua kontainer berisi seperangkat Astelco Lunar Telescope System (ALTS) yang belum dirakit. Pada

awal Maret 2021, tim OAIL melakukan proses instalasi ALTS yang dipandu oleh teknisi ASTELCO GmbH.



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2021)

Gambar 3.3 Proses instalasi teleskop OZT-ALTS di OAIL

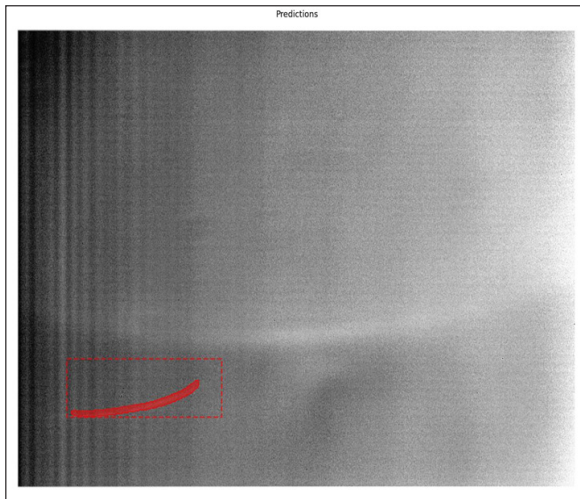
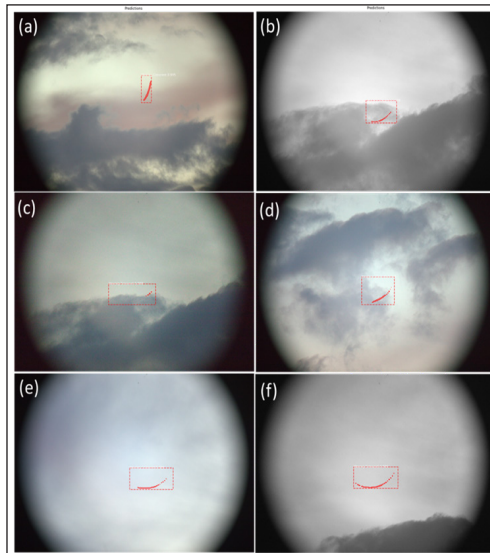
Teleskop ini adalah teleskop robotik pertama di kampus ITERA dan dikhususkan untuk pengamatan Bulan terutama Hilal. Nama OZT-ALTS berasal dari almarhum rektor pertama ITERA (Prof Ofyar Z Tamin) dan juga nama dari sistem teleskop ini yaitu Astelco Lunar Telescope System. OZT-ALTS adalah teleskop robotik produksi Astelco System GmbH, yang merupakan teleskop untuk program stasiun pemantauan internasional dengan objek khusus yaitu Bulan. Program ini digagas oleh Kerajaan Arab Saudi dengan nama programnya adalah *International Moon Sighting Station Program* (IMSSP). OZT – ALTS dipasang di Stasiun Pengamatan Meteorologi-

Klimatologi-Geofisika dengan koordinat geografis $5^{\circ} 21' 45.9''$ S $105^{\circ} 18' 41.7''$ E pada ketinggian 90 mdpl. Teleskop yang terpasang di ITERA ini adalah satu dari 14 teleskop pengamat Bulan yang tersebar di berbagai belahan dunia. Jenis teleskop adalah refraktor triplet apokromat dengan diameter 152 mm dan panjang fokus 1200 mm. Teleskop dilengkapi dengan *baffle* untuk menapis cahaya Matahari, dan dilengkapi kamera inframerah. Teleskop ini mampu mengamati Bulan secara robotik tanpa campur tangan manusia dan juga dapat dikontrol dari jarak jauh dengan internet. Teleskop ini dihibahkan kepada ITERA dan dikelola oleh OAIL. Dengan adanya teleskop ini, diharapkan dapat berguna bagi pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia terutama pemanfaatannya bagi sivitas akademika ITERA.

Salah satu kelebihan dari teleskop OZT-ALTS adalah kemampuannya menangkap cahaya melalui dua jalur cahaya yang terhubung ke dalam dua buah kamera yang berbeda secara simultan selama mengamati objek benda langit. Kamera pertama menggunakan jenis kamera *Charge-Coupled Device* (CCD) yang mampu menerima cahaya inframerah yaitu kamera Allied Vision Manta G-031B. Sementara itu, kamera kedua menggunakan kamera jenis *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* (CMOS) berwarna yaitu kamera ZWO ASI 533 MM Pro yang digunakan untuk menangkap cahaya tampak. Untuk pelacakan (*tracking*) objek langit, teleskop ini dilengkapi dengan *mounting ekuatorial* yang sangat baik yaitu Astelco NTM-500. Alat ini adalah sebuah *mounting direct drive* yang mampu mengikuti gerak objek langit dengan sangat presisi karena memiliki encoder yang sangat baik. NTM-500 mampu mengikuti pergerakan objek langit dengan akurasi sangat baik, bahkan dapat melacak objek yang bergerak cukup cepat di langit hingga kecepatan normal maksimal 10 derajat per detik. Kemampuan ini menjadikan teleskop OZT-ALTS sangat cocok tidak hanya untuk pengamatan objek langit statis, seperti bintang dan planet, tetapi juga untuk objek yang bergerak cepat, seperti komet, asteroid, bahkan satelit buatan manusia.

OAIL sebagai titik baru patroli langit dengan teleskop modern sekaligus menjadi pos observasi hilal nasional yang ditetapkan oleh Kementerian Agama. Keberadaan teleskop tersebut menjadi hal yang sangat baik bagi Indonesia dan OAIL menjadi jembatan komunikasi dengan negara lain terkait pengamatan Bulan, terutama fase Bulan sabit atau lebih dikenal dengan istilah hilal. Selain itu, juga dikembangkan sistem pendeteksian otomatis berbasis sistem cerdas pembelajaran mendalam (*deep learning*) menggunakan Mask-RCNN. Adapun beberapa hasil dari pemantauan Bulan sabit dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Selain pengamatan Bulan Sabit, OZT-ALTS dapat digunakan untuk pengamatan objek lainnya, seperti komet dan eksoplanet. Salah satunya adalah foto citra komet C/2022 E3 yang diperoleh pada 16 Januari 2023 seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Adanya citra komet C/2022 E3 yang didapatkan oleh OAIL ini dapat dijadikan sarana pembelajaran bagi masyarakat di bidang astronomi. Pengamatan komet C/2022 E3 dilakukan di ITERA sejak 12–20 Januari 2023 dengan menggunakan teleskop robotik OZT-ALTS yang terpasang di Taman Alat MKG ITERA. Adapun model dari trajektori komet C/2022 E3 menggunakan perangkat lunak Stellarium dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7. Gambar 3.5 menjelaskan tentang model trajektori C/2022 E3 (ZTF) pada 12 hingga 31 Januari 2023 di ITERA yang dapat diamati saat fajar. Gambar 3.6 menjelaskan tentang model trajektori C/2022 E3 (ZTF) yang dapat diamati pada 1 hingga 20 Februari 2023 di ITERA saat senja.



Sumber: Muztaba et al. (2023)

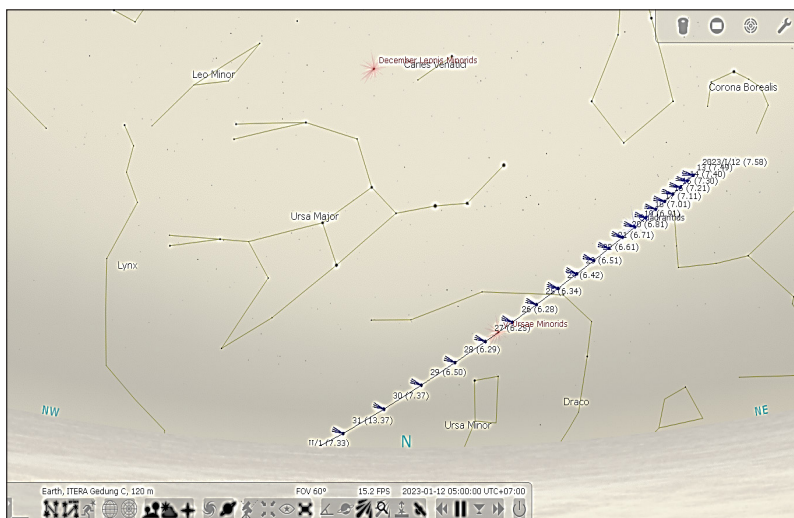
Gambar 3.4 Penggunaan Kecerdasan Buatan untuk Pendeteksian Hilal di OAIL



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2023)

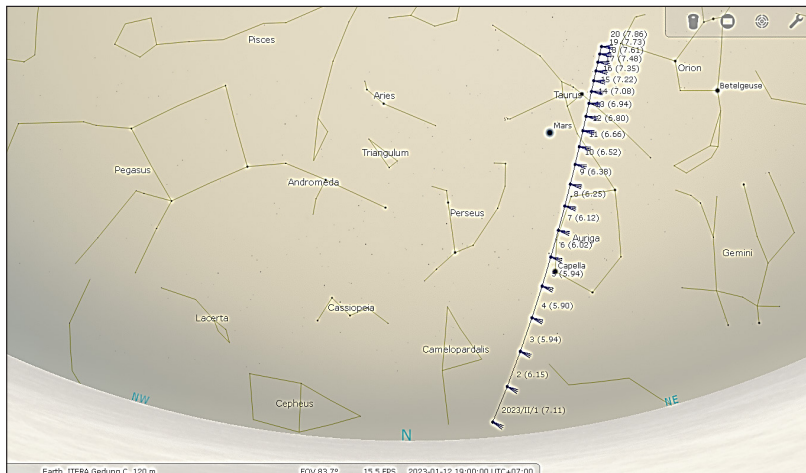
Gambar 3.5 Komet C/2023 E3 (ZTF)

Buku ini tidak diperjualbelikan



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2023)

Gambar 3.6 Trajektori C/2022 E3 (ZTF) pada 12 hingga 31 Januari 2023 di ITERA saat fajar.



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2023)

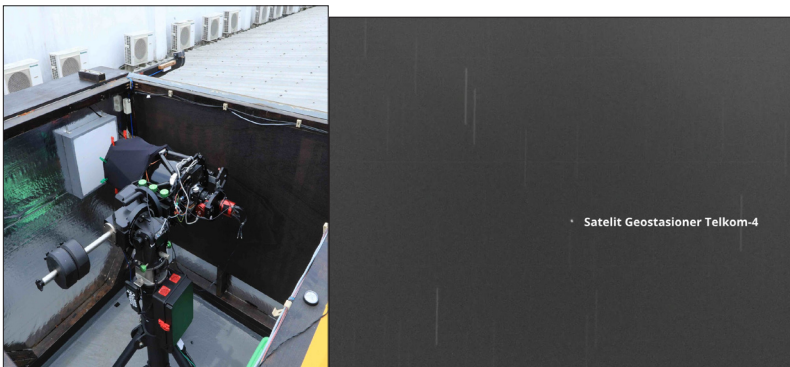
Gambar 3.7 Trajektori C/2022 E3 (ZTF) pada 1 hingga 20 Februari 2023 di ITERA saat senja.

Komet C/2022 E3 merupakan salah satu komet yang memiliki periode panjang. Pada umumnya bahan penyusun komet sudah habis terbakar dalam rentang waktu umur tata surya kita selama 4,6 miliar tahun. Komet ini mungkin sudah lebih dari 1.000 kali menghampiri kawasan perihelion yang panas, materi komet yang mudah menguap dalam bentuk gas dan debu sudah habis tercecer sepanjang perjalanannya, tinggal materi padat saja. Oleh karena itu, penampakan komet C/2022 E3 terlihat hanya memiliki ekor yang relatif lebih pendek dari komet lainnya, bahkan lebih mirip dengan objek asteroid. Di sisi lain, pengamatan komet akan memberikan informasi kepada kita tentang materi penyusun pembentukan tata surya. Hal tersebut sangat bermanfaat untuk melakukan studi tentang pemodelan tata surya.

D. Pengembangan Instrumentasi Astronomi di OAIL

Eksistensi keberadaan OAIL diharapkan mengakomodasi antusiasme masyarakat untuk memperoleh pengetahuan atau penjelasan astronomi yang mutakhir dan menjadi bagian dari jejaring patroli langit. Oleh karena itu, OAIL dan Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan (SAP) memiliki salah satu fokus penelitian dalam bidang instrumentasi untuk pemanfaatan benda jatuh antariksa yang dinilai sebagai upaya dalam mitigasi bencana dampak dari benda jatuh antariksa pada masa depan dengan melakukan pemantauan terhadap benda langit secara kontinu. Keberadaan teleskop robotik OZT-ALTS di ITERA dijadikan sebagai role model untuk mengembangkan teleskop robotik yang dikembangkan secara swakriya berbasis printer 3D, NINA, dan Onstep, seperti ITERA Robotik Telescope (IRT), Ultra Compact ITERA Robotik Telescope (UTOPIA) I, UTOPIA II, dan UTOPIA III. ITERA Robotik Telescope (IRT) merupakan teleskop robotik yang dikembangkan oleh tim OAIL dalam menjawab kebutuhan atas adanya teleskop permanen yang dapat digunakan untuk penelitian dan juga praktikum mahasiswa. ITERA Robotik Telescope (IRT) terus dikembangkan untuk kepentingan pemantauan benda jatuh telah berhasil dibuat dan dipraktikkan dalam misi observasi dengan berbagai teknik pengamatan astrometri, fotometri, dan spektroskopi.

IRT terdiri dari beberapa perangkat pendukung primer, seperti *sliding roof*, *auto-guider*, *auto-focuser*, dan *auto-cover*. Adapun perangkat pendukung sekunder lainnya adalah *All Sky Camera*, *Automatic Weather Station*, *Sky Quality Meter*, *Rain Safety Monitor*, *Off-Grid Electrical System*, *Web-based switch*, dan CCTV. IRT dilengkapi dengan baterai aki 12V yang mampu bertahan selama 6 jam dengan proses pengisian daya menggunakan panel surya. IRT saat ini dipasang di Rooftop Gedung C Kampus ITERA, Lampung, Indonesia dengan koordinat geografis 5°21'30.5" S, 105°18'49.5" E, pada ketinggian 132 mdpl. IRT menggunakan sistem optik GSO 10" (254mm) F/8 Ritchey–Chrétien dengan panjang fokus 2032 mm dan dilengkapi teleskop refraktor Svbyony SV106 yang digunakan untuk observasi fotometrik yang dikombinasikan dengan kamera ZWO ASI533MC Pro dan berbagai filter astronomi standar.



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2023)

Gambar 3.8 ITERA Robotic Telescope dan hasil pengamatan satelit geostasioner.

Selain itu, juga dikembangkan sebuah kamera penjuru langit (*All Sky Camera*) yang dirancang dengan kemampuan untuk mendeteksi objek dan melakukan pengukuran parameter atmosfer. Teleskop dan *All Sky Camera* dapat digunakan untuk melacak puing-puing luar angkasa dan mencegah tabrakan dengan mengamati dan memantau objek-objek di orbit bumi. Pengamatan ini dapat memberikan

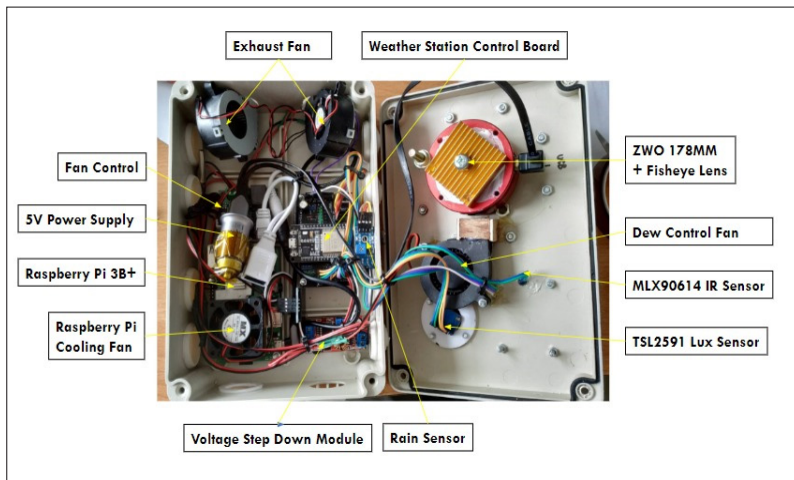
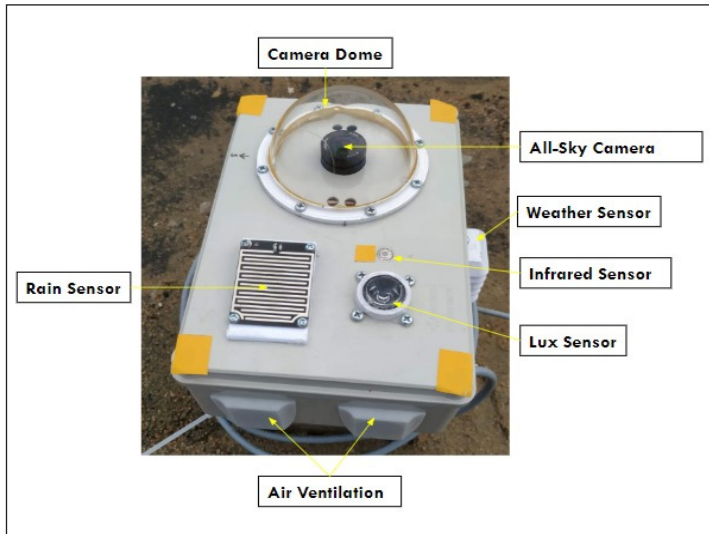
informasi tentang posisi, jarak, perilaku, dan bentuk puing-puing (Andrić, & Radić, 1996). Metode optik, seperti observasi posisi, laser, dan fotometrik, biasanya digunakan untuk melacak objek buatan di luar angkasa (Jenniskens dkk., 2011). Penggunaan teleskop yang dilengkapi dengan perangkat keras dan perangkat lunak khusus memungkinkan terlaksananya pengamatan tersebut dan penyediaan informasi yang relevan (Bettonvil, 2014). Konsep pengembangan *All Sky Camera* untuk instrumentasi patroli langit akan ditempatkan di berbagai wilayah Indonesia. Kamera yang beroperasi di garis lintang khatulistiwa (Indonesia) memiliki tantangan tersendiri karena kondisi cuaca yang tidak stabil sepanjang musim (Muhtaba dkk., 2018). Upaya khusus telah dilakukan untuk merancang instrumen kokoh yang mampu menahan angin kencang, kondisi lembap, basah, dan perubahan suhu ekstrem. Pengembangan *All Sky Camera* terdiri dari lima bagian utama, yaitu perakitan sistem kamera, kalibrasi bidang pandang (FOV), sistem pendukung perangkat, perakitan rumah kamera, dan perakitan sistem kontrol.

1) Perakitan Kamera

Kamera yang digunakan untuk mengembangkan *All Sky Camera* menggunakan kamera ZWO ASI178MM yang memiliki sensor CMOS 1/1,8" IMX178 dengan Teknologi SONY STARVIS dan Exmor-R sehingga dapat menghasilkan gambar dengan noise rendah namun tetap memiliki sensitivitas tinggi. Sensor *back-illuminated* mencapai puncak QE 81% dengan sensitivitas di seluruh cahaya tampak, inframerah, dan sebagian ultraviolet antara 300 dan 400 nm. ZWO ASI178MM memiliki ADC 14-bit, pembacaan *noise* yang rendah, dan sensitivitas tinggi sehingga akan menjadi kamera yang dapat digunakan untuk beberapa jenis observasi, termasuk pengamatan seluruh langit.

2) Sistem Pendukung Perangkat

Sistem Pendukung Perangkat terdiri dari beberapa komponen, seperti terlihat pada Gambar 3.9.



Sumber: Muztaba dkk. (2024)

Gambar 3.9 All Sky Camera dan sistem pendukung perangkat lainnya

- a) Sensor Cuaca. Sistem pemantauan cuaca yang dikembangkan menggunakan *software* mySQM oleh Robert Brown dan mik-

rokontroler ESP32. Modul ini menggunakan sensor BME280 untuk mengukur suhu, kelembapan, dan tekanan. Sensor ini dikenal murah dan cukup sensitif, biasanya dipasang di luar *housing*. Layar Stevenson digunakan untuk menutupi dan melindunginya dari panas matahari langsung. Selain itu, sensor dilengkapi anemometer yang dibuat menggunakan printer 3D dengan filamen PETG tahan panas untuk mengukur kecepatan angin. Kemudian juga digunakan dua sensor, yaitu sensor efek hall KY-024 dengan magnet untuk menghitung kecepatan angin dan sensor magnet AS5600 untuk menentukan arah angin.

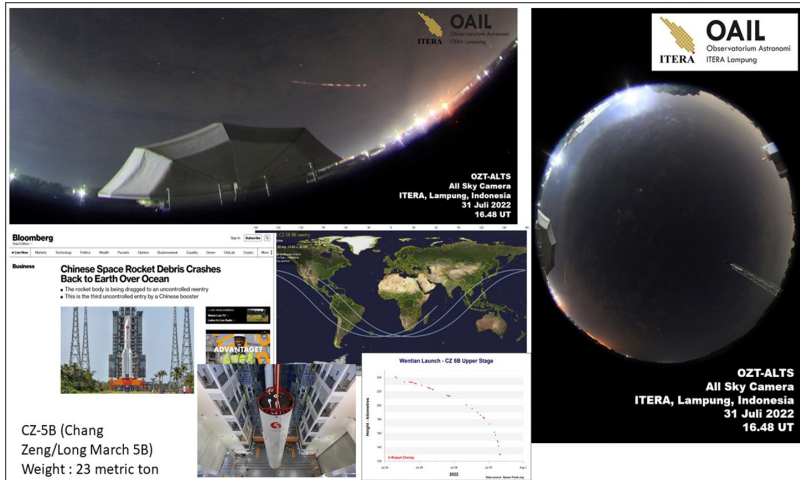
- b) Sensor Hujan. Sensor hujan bertujuan untuk mengetahui apakah sedang hujan atau tidak dan seberapa derasny dari pembacaan tetesan hujan. Jika ada tetesan air hujan di bantalan pengindraan, resistansi modul akan berubah. Jika nilai ini berubah, tegangan akan turun, dan sensor akan memberi sinyal bahwa ada tetesan air hujan di bantalan pengindraan. Hasil pembacaan sinyal tegangan akan terekam secara langsung oleh sistem. Semakin kecil nilai tegangannya maka semakin deras pula hujannya.
- c) Sensor Inframerah (Sensor Awan). Sensor awan bertujuan untuk mengukur seberapa langit tempat pengamat tertutup awan. Modul yang digunakan adalah sensor suhu inframerah non-kontak MLX90614. Sensor ini membaca dua jenis suhu, yaitu suhu lingkungan (*Sky-Ambient*) dan suhu langit (*Sky-Object*). Cakupan sensor ini 90 derajat diarahkan ke *zenith*. Kemudian dengan membandingkan nilai suhu *Sky-Object* dan *Sky-Ambient* dapat mengetahui kondisi awan di langit.
- d) Sensor Lux. Kami menggunakan TSL2591 sebagai sensor lux. TSL2591 adalah sensor cahaya digital rentang dinamis tinggi. Sensor lux memiliki rentang dinamis sekitar 600 juta banding 1, maksimum efektif sekitar 88000 lux dan memiliki jangkauan yang luas karena memiliki nilai penguatan yang dapat dikonfigurasi. Selain itu juga sensitif terhadap kondisi cahaya redup sehingga dapat digunakan sebagai pengukur kualitas langit.

- e) Rakitan rumah kamera. Rakitan rumah kamera terbuat dari bahan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) yang membuatnya lebih awet dan tahan panas. Dimensi rakitan rumah kamera adalah 150 x 250 x 130 mm. Kamera ZWO 178MM dengan Lensa Fisheye terpasang di dalam kotak, beserta sistem pendukung perangkat lain, seperti pengontrol kipas, kipas titik embun, catu daya 5V, Raspberry Pi 3B+, kipas pendingin Raspberry Pi, modul penurun tegangan, papan kontrol stasiun cuaca, sensor hujan, sensor lux TSL2591, dan sensor IR MLX90614, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Kami menggunakan kubah kaca borosilikat untuk melindungi kamera. Wadahnya harus kedap air sehingga tahan cipratan air, kecuali ventilasi panas (sebagai jalur udara masuk dan keluar).
- f) Sistem Kontrol. Sistem ini menggunakan Raspberry Pi 3B+ yang dioperasikan menggunakan perangkat lunak *Sky Camera* yang dibuat oleh Thomas Jacquin. Perangkat lunak tersebut berfungsi untuk mengontrol, mencatat gambar, mengukur selang waktu, keogram, dan jejak bintang. Kemudian menggunakan firmware mySQM dan R-Brown untuk mengelola semua sensor cuaca, sensor awan, dan SQM, serta untuk mencatat data stasiun cuaca yang dikirim dari mikrokontroler ESP32 melalui jaringan Wi-Fi. Semuanya diatur otomatis, termasuk *logging*. Selain itu, MicroSD 64GB sebagai penyimpanan data selama sekitar 30 hari dan menghasilkan 1,3 GB untuk setiap gambar, video, keogram, dan data jejak bintang. Data yang sudah melebihi 30 hari akan dipindahkan ke penyimpanan *Cloud* atau PC komputer dengan kapasitas penyimpanan yang lebih besar. Jika Raspberry Pi kita terhubung ke internet melalui Wi-Fi atau jaringan LAN, kita dapat menghubungkannya melalui VNC untuk memperbarui konfigurasi kamera All-Sky atau stasiun cuaca dari jarak jauh. Semua log secara otomatis disimpan di Raspberry Pi untuk stasiun cuaca. Karena menggunakan protokol TCP/IP, kita dapat mengambil data cuaca dari perangkat lain yang terhubung ke Wi-Fi atau jaringan yang sama

dengan mikrokontroler ESP32 dari mySQM +. Kita juga dapat mengintegrasikannya dengan ASCOM untuk menulis header file FITS dari pengamatan teleskop atau menyimpan log di tempat lain selain Raspberry Pi utama.

E. Pengamatan dan Pemantauan Benda Jatuh Antariksa sebagai Peringatan Dini dari Potensi Bahaya Bencana Antariksa

Hasil dari patroli pemantauan benda langit menggunakan OAIL, antara lain Roket Long March 5B CZ-5B (Chang Zeng/Long March 5B) yang merupakan roket kelas berat Tiongkok yang diluncurkan dari Situs Peluncuran Luar Angkasa Wenchang pada 24 Juli 2022. Roket tersebut digunakan untuk mengirimkan modul laboratorium Wentian ke Stasiun Luar Angkasa Tiangong, Tiongkok. Berdasarkan komando luar angkasa AS, benda yang jatuh tersebut adalah bagian dari roket CZ-5B seberat 23 ton, dan meledak dalam kobaran api saat terbang dengan kecepatan sangat tinggi melalui atmosfer Bumi. Salah satu bagian dari roket ini mulai terbakar di atas Samudra Hindia sekitar pukul 16:45 (23:45 waktu setempat) setelah terjebak di orbit rendah Bumi selama beberapa hari. Puing-puing terbakarnya roket CZ-5B yang menerangi langit Sumatra berhasil dideteksi di langit bagian utara menggunakan *All-Sky Camera* yang kami kembangkan pada malam tanggal 30 Juli 2022 pukul 23:48 WIB (lihat Gambar 3.11). Kamera ini merekam langit setiap 30 detik. Garis putus-putus pada gambar mewakili bekas pecahnya badan roket CZ5B akibat terbakar di atmosfer Bumi. Tiga gambar hasil *All-Sky Camera* menangkap puing-puing yang bergerak dari barat daya ke utara selama 1 menit 30 detik



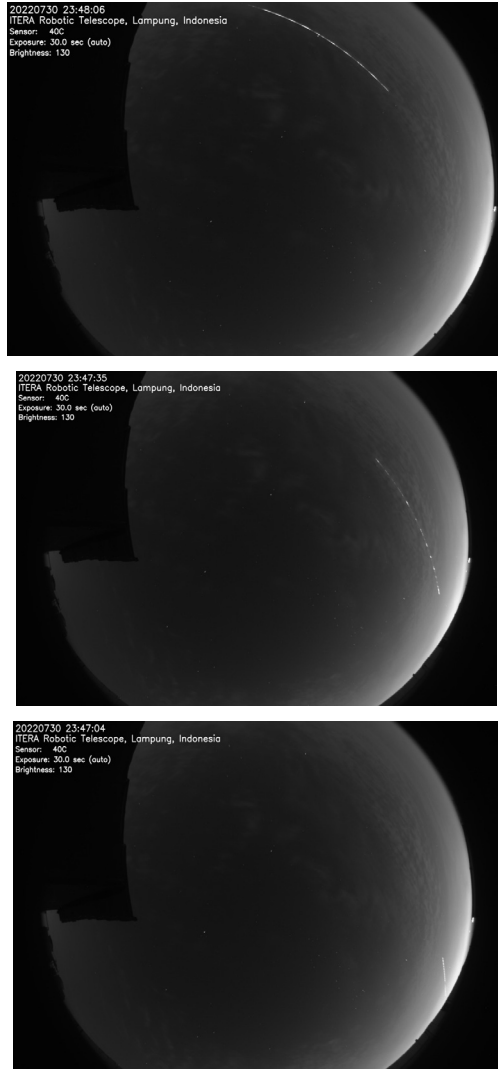
Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2022)

Gambar 3.10 Prediksi orbit CZ-5B dan hasil rekaman *all sky* di ITERA

Hasil pengamatan lainnya seperti meteor yang melewati atmosfer juga berhasil diidentifikasi menggunakan All Sky Camera yang kami kembangkan seperti terlihat pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.

Selain itu, beberapa program yang rutin ITERA lakukan untuk menambah wawasan di masyarakat tentang pentingnya mitigasi bencana benda jatuh antariksa antara lain :

- 1) Pengamatan benda jatuh dengan all-sky camera,
- 2) Pengamatan rutin asteroid dekat bumi,
- 3) Sosialisasi mengenai benda jatuh kepada masyarakat sekitar observatorium baik melalui media maupun program seminar



Sumber: Muztaba dkk. (2024)

Gambar 3.11 All-Sky Camera merekam jejak puing-puing roket long march 5B CZ-5B (Chang Zeng/Long March 5B).



Sumber: Muztaba dkk. (2024)

Gambar 3.12 All-Sky Camera di SAC merekam Meteor Terang pada 26 Juli 2022 pukul 22:04 WIB.



Sumber: Muztaba dkk. (2024)

Gambar 3.13 All-Sky Camera di ITERA merekam Meteor Perseid pada 16 Agustus 2022 pukul 21.51.

F. Penutup

Jaringan Patroli Langit Indonesia (ISPN) yang digagas ITERA dan SAC, terus didorong peranannya untuk memperkuat misi keantariksaan Indonesia. Tidak hanya dalam konteks ISPN, pada prinsipnya ITERA sangat terbuka untuk kolaborasi membangun jejaring patroli langit bersama dengan berbagai perguruan tinggi, observatorium, dan komunitas yang ada di Indonesia untuk bersama-sama melakukan upaya pemantauan bersama terhadap benda langit. Beberapa penelitian dan kegiatan yang pernah dilakukan, antara lain:

- 1) melakukan penelitian terhadap Meteor yang jatuh di Astomulyo, Punggur, Lampung Tengah;
- 2) merekam jatuhnya sampah antariksa, Roket CZ-5B milik Tiongkok, dengan menggunakan 2 *all sky camera* di ITERA;
- 3) Sekarang (2024) OAIL sedang membuat alat *tracking* satelit baik secara visual (Utopia III) dan radio (Tesseract).
- 4) OAIL melakukan sosialisasi mengenai patroli langit dalam berbagai kegiatan seminar baik daring maupun luring.
- 5) OAIL dan beberapa pihak telah membentuk jejaring All Sky Camera di Indonesia, dan berkomitmen untuk selalu membantu perkembangannya di Indonesia.

Langkah awal yang bisa kita lakukan bersama adalah menginventarisasikan perangkat yang ada di masing-masing perguruan tinggi, observatorium, dan komunitas yang dikhususkan untuk pemantauan potensi benda jatuh dan bisa diakses bersama. Kami telah mengembangkan teleskop swakriya Utopia III (Gambar 3.14) yang memiliki sistem teleskop dengan mounting DIY dan refraktor kecil sebagai solusi mudah dan terjangkau untuk melakukan *tracking* sampah antariksa yang memiliki kecerlangan tinggi.

Kemudian kita dapat mem-*follow up* pengamatan (atau pengamatan sampah dengan kecerlangan rendah). Hal ini bisa dilakukan dengan teleskop robotik lain, seperti dengan OZT-ALTS, ITERA Robotic Telescope (IRT), maupun Asteroid Survei Telescope ITERA (ASTI) yang masih dalam tahap pengembangan.



Sumber: Aditya Abdillah Yusuf (2023)

Gambar 3.14 Utopia III sedang digunakan untuk tracking satelit.

Pembentukan program Sky Patrol Indonesia melalui kegiatan aktif pengamatan yang ada di observatorium, penelitian keantariksaan antarperguruan tinggi, dan peran komunitas menjadi kebutuhan penting untuk menjaga kedaulatan langit di Indonesia, terutama dalam konteks pemantauan dan perlindungan lingkungan serta pendidikan publik. Secara bersama-sama untuk memantau dan mengawasi kondisi langit dan objek-objek luar angkasa, seperti asteroid, meteor, dan debris. Dengan adanya program Sky Patrol, Indonesia dapat mendeteksi potensi ancaman dari benda-benda langit yang mungkin berdampak pada Bumi sehingga dapat membantu upaya mitigasi dan perlindungan. Program Sky Patrol juga memungkinkan para ilmuwan dan astronom untuk mengumpulkan data sehingga dapat digunakan untuk memahami lebih dalam tentang kosmos, bintang, galaksi, dan

fenomena langit lainnya. Penelitian ini berkontribusi pada pengetahuan global mengenai alam semesta. Program Sky Patrol Indonesia juga dapat berperan dalam pendidikan publik dan peningkatan kesadaran tentang astronomi dan ilmu pengetahuan secara umum, dengan melibatkan masyarakat umum atau yang terlibat dalam sebuah komunitas melalui kegiatan pendidikan, seperti seminar dan *workshop*. Program tersebut dapat meningkatkan minat dan pemahaman tentang sains di kalangan masyarakat. Secara keseluruhan, program Sky Patrol Indonesia merupakan inisiatif yang tidak hanya mendukung kemajuan ilmiah dan teknis, tetapi juga memberikan manfaat luas bagi masyarakat dan kelestarian Bumi secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- Andreić, Ž., & Radić, N. (1996). All-sky camera with a concave mirror. *Applied optics*, 35(1), 149–153.
- Bettonvil, F. C. M. (2014). Remote and automatic small-scale observatories: experience with an all-sky fireball patrol camera. In *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V*, 9147, 1263–1271. SPIE.
- Bigdeli, M., Srivastava, R., & Scaraggi, M. (2023). Dynamics of space debris removal: A review. *arXiv preprint arXiv: 2304.05709*.
- Djamaluddin, T. (2021). *Berbagi Ilmu untuk Pencerahan dan Inspirasi*. Diakses pada 5 Juli 2024 dari <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2021/01/10/dokumentasi-benda-jatuh-antarkiksa-di-indonesia/>
- Elin Humas. (2016, 27 Desember). Rektor donasikan satu Unit teropong bintang. ITERA. <https://www.itera.ac.id/rektor-donasikan-satu-unit-teropong-bintang/>
- Jenniskens, P., Gural, P. S., Dynneson, L., Grigsby, B. J., Newman, K. E., Borden, M., Koop, M., & Holman, D. (2011). CAMS: Cameras for Allsky Meteor Surveillance to establish minor meteor showers. *Icarus*, 216(1), 40–61.
- Muztaba, R., Putri, A. N. I., Pratiwi, N., Putro, W. S., Birastri, W., & Malasan, H. L. (2018). Survei situs pembangunan Observatorium Astronomi Lampung di Tahura War, Gunung Betung. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* 7, SNF2018-PA-27–35.
- Muztaba, R., Malasan, H. L., & Djamal, M. (2023). Deep learning for crescent detection and recognition: Implementation of Mask R-CNN

- to the observational Lunar dataset collected with the Robotic Lunar Telescope System. *Astronomy and Computing* 45, 100757.
- Muztaba, R., Yusuf, A. A., Oktaviandra, A., Wahidin, A. B., Malasan, H. L., Arifin, S., Hafizah, I., Kurniawan, M. R., Fauzan, Sevira, Q., Almahi, A., & Mahayu, M. P. (2024). Development of an All-sky Camera for The Indonesian Sky Patrol Network. *Journal of Physics: Conference Series* 2734(1), 012027. IOP Publishing. DOI 10.1088/1742-6596/2734/1/012027.
- Neflia, Ahmad, N., & Rohmah, F. (2022). Potential hazards analysis of the space debris over 10 cm in size based on their orbital parameters. *Journal of Physics: Conference Series* 2214(1), 012017, doi: 10.1088/1742-6596/2214/1/012017
- Schmalenbach, K. (2022). Convention on international liability for damage caused by space objects. In P. Gailhofer, D. Krebs, A. Proelss, K. Schmalenbach, & R. Verheyen (Ed.). *Corporate liability for transboundary environmental harm: An international and transnational perspective* (hlm. 523–536). Springer International Publishing.
- Susilo, D. R. (2020, 10 Agustus). KALA edukasi wisata astronomi, Wadah Pencinta Ilmu Astronomi di Lampung (R. Fitriani, Ed.). *TribunLampung*. Diakses 7 Juli 2024 dari https://lampung.tribunnews.com/2020/08/10/kala-edukasi-wisata-astronomi-wadah-pencinta-ilmu-astronomi-di-lampung#google_vignette.
- Yozkalach, K. (2023). Space debris as a threat to space sustainability. *Central European Review of Economics and Management (CEREM)*, 7(1), 63–75.

BAB IV

Kajian Kebijakan Langit Gelap untuk Pembangunan Berkelanjutan

Antonia Rahayu Rosaria Wibowo

A. Observatorium Membuka Mata tentang Polusi Cahaya

Sains dan teknologi merupakan 2 sisi koin yang tidak dapat dipisahkan. Perkembangan sains mendorong peningkatan inovasi dan teknologi, namun teknologi juga memberi kemampuan untuk dapat memahami sains lebih dalam dan lebih detail. Hal tersebut terjadi pada berbagai bidang keilmuan, termasuk bidang keantariksaan. Astronomi memberi pemahaman bagaimana memanfaatkan antariksa untuk kepentingan hidup manusia di Bumi sehingga pada akhirnya manusia dapat mengembangkan terus teknologi satelit.

Perkembangan ilmu astronomi tidak pernah lepas dari peranan observatorium. Dengan teleskop dan instrumen yang tersedia di

A. R. R. Wibowo

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

© 2025 Editor & Penulis

Wibowo A. R. R. (2025). Kajian Kebijakan Langit Gelap untuk Pembangunan Berkelanjutan. Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(97–122). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1498, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Buku ini tidak diperjualbelikan

dalam observatorium, para peneliti dalam melakukan pengamatan langit untuk meningkatkan pemahaman tentang struktur dan evolusi alam semesta, ataupun mengkaji fenomena-fenomena astronomi, seperti lubang hitam, supernova, dan eksoplanet. Observatorium juga digunakan untuk memantau satelit dan objek luar angkasa lainnya yang berperan untuk navigasi satelit dan pelaksanaan misi luar angkasa. Dengan semua fungsi dan manfaat tersebut, observatorium berkontribusi signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan sekaligus diplomasi antariksa di berbagai negara.

Untuk memastikan observatorium dapat berfungsi dengan optimal, ada beberapa syarat kondisi lingkungan yang harus dipenuhi, di antaranya kondisi cuaca yang stabil dan minim awan, serta minim getaran, seperti jauh dari jalur kereta api ataupun jalan raya yang padat lalu lintas. Sebuah observatorium juga memerlukan ketinggian yang memadai untuk menghindari gangguan atmosfer dan mendapatkan pandangan yang lebih jelas ke angkasa. Selain itu, lokasi observatorium harus jauh dari polusi cahaya karena polusi cahaya dapat mengganggu pengamatan benda langit. Hal ini telah menjadi persoalan aktual yang banyak dibahas oleh para astronom. Polusi cahaya muncul karena adanya penggunaan pencahayaan yang berlebihan, yang pada umumnya ditujukan untuk penerangan perumahan dan jalan raya, lampu taman, lampu penanda fluorescent, dan lampu papan reklame. Peningkatan polusi cahaya pada umumnya terjadi seiring dengan perkembangan suatu wilayah karena perkembangan demografi dan aktivitasnya. Kasus yang telah mencuat di Indonesia terkait persoalan ini adalah yang terjadi di Observatorium Bosscha, Lembang, Bandung Barat.

Observatorium Bosscha merupakan salah satu observatorium di Asia Tenggara sekaligus observatorium pertama di Indonesia yang didirikan tahun 1923. Pada saat itu, kondisi Lembang sebagai lokasi Bosscha, memiliki kondisi lingkungan yang cukup ideal bagi berdirinya sebuah observatorium *ground-based*. Lembang merupakan daerah perbukitan dengan dominasi guna lahan perkebunan teh dan jauh dari keramaian, sebuah kondisi yang memberi hasil pengamatan

astronomi secara optimal. Selain itu, posisi geografisnya yang berada di dekat ekuator, melengkapi konstelasi observatorium di dunia. Hanya sedikit dari observatorium di dunia yang berada di wilayah ekuator.

Perkembangan Kota Bandung sebagai ibukota Provinsi Jawa Barat, telah mendesak daerah pinggiran untuk ‘ikut’ mengalami urbanisasi, termasuk Kawasan Lembang. Pertumbuhan penduduk dan alih fungsi lahan hutan dan perkebunan menjadi lahan untuk aktivitas yang lebih komersial, telah mengubah langit malam Lembang yang gelap menjadi benderang. Peningkatan jumlah cahaya buatan untuk penerangan di malam hari menyebabkan polusi cahaya dan menghasilkan langit yang menghamburkan cahaya di atas kota-kota di sekitar Observatorium Bosscha. Oleh karena itu, LAPAN-BRIN atas usulan para astronom membangun observatorium baru di Indonesia, yaitu Observatorium Nasional Timau, yang diharapkan minim dari polusi cahaya dalam jangka panjang.

Bab ini merupakan hasil kajian mengenai kebutuhan kebijakan langit gelap, yang pada awalnya merupakan sebuah opsi untuk optimalisasi fungsi observatorium. Namun dalam perkembangan selanjutnya, kebutuhan langit gelap merupakan hal yang berpotensi berdampak besar pada berbagai aspek lainnya. Tentunya hal ini menjadi penting untuk mempertimbangkan aksi langit gelap sebagai sebuah kebijakan.

B. Filsafat Teknologi tentang Polusi Cahaya

Konsep polusi cahaya muncul pada awal tahun 1970an. Konsep ini diadopsi secara akademis sejak diterbitkannya makalah akademis berjudul “Light Pollution—Outdoor Lighting is a Growing Threat to Astronomy” pada 1973 (Bjelajac, Đerčan, & Kovačić, 2020; Stone, 2017). Modifikasi tingkat cahaya alami di lingkungan malam yang disebabkan oleh munculnya cahaya buatan disebut sebagai polusi cahaya (Falchi dkk., 2011). Cahaya buatan berasal dari berbagai sumber, seperti hamburan cahaya di langit, penerangan di jalan raya, mobil, penerangan gedung-gedung tinggi, lepas pantai, dan kapal bawah laut (Azman dkk., 2019).

Pada dasarnya, dari sisi sejarah, polusi cahaya dimulai dari penemuan bola lampu dan ketenagalistrikan. Penelitian mengenai ketenagalistrikan telah dilakukan sejak zaman sebelum Masehi, tetapi Benjamin Franklin-lah yang diakui sebagai penemu ketenagalistrikan di dunia modern. Selain Franklin, Thomas Alva Edison juga diakui sebagai penemu lampu. Listrik dan lampu merupakan dua penemuan yang berkaitan dengan polusi cahaya.

Penemuan listrik mengantarkan era baru kemajuan teknologi, untuk meningkatkan efisiensi energi, masa pakai, dan kualitas. Lampu listrik adalah contoh cahaya buatan. Sumber cahaya buatan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu pijar, neon, dan *Light-Emitting Diode* (LED). Sumber cahaya pijar menghasilkan cahaya dengan memanaskan filamen kawat hingga suhu tinggi. Lampu neon, yang mengandung senyawa kimia yang disebut fosfor, memancarkan cahaya melalui efek fluoresensi. Lampu LED merupakan kemajuan terkini dalam teknologi pencahayaan, berdasarkan mekanisme elektroluminesens pada bahan semikonduktor (Botero-Valencia et al., 2015).

Sejalan dengan pandangan filsafat teknologi, menurut Martin Heidegger (dalam Lovitt, 1977), penemuan listrik dari sejak awal hingga berkembang menjadi berbagai jenis sumber cahaya buatan yang ada pada saat dewasa ini adalah dapat dipahami sebagai proses membuka, mengubah, menyimpan, mendistribusikan, dan mengalihkan. Keseluruhan proses tersebut adalah merupakan proses pengungkapan. Energi listrik diperoleh dari berbagai sumber, antara lain sinar Matahari, angin, reaksi kimia, dan bioenergi. Salah satu contoh pemanfaatannya adalah pembangkit energi listrik dari bahan bakar nabati. Bioenergi merupakan salah satu jenis energi yang berasal dari makhluk hidup, khususnya hewan dan tumbuhan. Interaksi antara tumbuhan hidup dan bakteri tanah dapat menyediakan sumber energi listrik. Pada dasarnya berawal dari fotosintesis yaitu ketika tanaman mengubah energi sinar matahari menjadi energi kimia. Fotosintesis menghasilkan berbagai komponen yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Zat yang dihasilkan ini sebagian dimanfaatkan oleh tanaman dan sebagian sisanya dikeluarkan melalui akar. Zat sisa inilah

yang kemudian diuraikan oleh mikroorganisme di zona perakaran tanaman. Proses penguraian ini melalui serangkaian reaksi biologis yang melepaskan elektron. Dengan menempatkan elektroda di sekitar akar pohon, elektron yang dihasilkan dapat ditangkap dan dialirkan sebagai energi listrik. Energi listrik akan terus dihasilkan tanpa batas waktu selama tanaman masih hidup (Muladi et al., 2021).

Contoh sumber energi listrik yang kedua adalah *Municipal Solid Waste* (MSW) atau limbah padat perkotaan. Ada dua metode untuk menghasilkan energi listrik dari MSW. Pertama, melalui proses biologis, seperti pencernaan anaerobik dan fermentasi. Kedua, melalui proses termokimia, yang meliputi pembakaran, pirolisis, gasifikasi, dan pencairan (Agll et al., 2014). Kedua contoh tersebut menunjukkan bahwa energi listrik adalah energi yang dibutuhkan oleh cahaya buatan, yang muncul melalui proses panjang. Pada dasarnya sumber energinya berasal dari alam. Sumber energi tersebut kemudian dibuka/diungkap, diubah, disimpan, didistribusikan, dan dialihkan melalui mekanisme tertentu menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan manusia.

Manusia berperan dalam proses ini. Tidak akan ada energi listrik atau cahaya buatan pada era modern ini jika manusia tidak meneliti, mengamati, dan memanfaatkan alam. Hal ini sesuai dengan gagasan Heidegger bahwa inti dari teknologi bukan hanya aktivitas dan kemampuan yang diperlukan untuk menghasilkannya, melainkan segala sesuatu yang mewujudkan teknologi tersebut (Lovitt, 1977). Dalam konteks cahaya buatan, inti dari cahaya buatan bukanlah aktivitas dan kemampuan yang diperlukan untuk memproduksi lampu, melainkan keseluruhan proses yang membuat lampu tersebut menjadi kenyataan, termasuk penyelidikan dan pengamatan terhadap berbagai bahan yang berpotensi menjadi sumber listrik dan prosedur yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.

Lebih lanjut, menurut Heidegger (Lovitt, 1977), inti dari teknologi adalah pemingkaian. Pemingkaian adalah kumpulan pengaturan yang menempatkan manusia pada posisi untuk mengekspos yang sebenarnya, sebagai cadangan tetap. Konsep ini menunjukkan

bahwa manusia mempunyai hubungan khusus dengan teknologi, dan hubungan tersebut membentuk kerangka acuan atau cara berpikir seseorang. Kerangka atau cara berpikir tersebut mengarahkan orang untuk membuat sesuatu atau mengungkapkan kebenaran (Lovitt, 1977). Dalam kaitannya dengan proses memperoleh energi listrik, cara berpikir tersebut membuat manusia memandang sinar matahari, angin, zat kimia, hewan, tumbuhan, dan benda alam lainnya sebagai sumber energi listrik potensial. Melalui penelitian, pengamatan, dan pemanfaatan, manusia kemudian mampu mengolah potensi tersebut untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Hubungan pembingkai menunjukkan adanya timbal balik, manusia membingkai teknologi, sekaligus teknologi juga membingkai manusia. Hal ini terjadi karena tidak ada sesuatu yang spesifik bersifat tunggal dalam hubungan antara manusia dan teknologi. Sumber energi listrik, misalnya, tidak terbatas hanya pada sinar matahari, angin, zat kimia, hewan, atau tumbuhan tertentu karena seluruhnya berpotensi sebagai sumber energi listrik. Semuanya bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Hal ini juga terjadi pada manusia. Setiap manusia tidak memiliki kualitas yang membedakan atau unik. Laki-laki dan perempuan, tua dan muda, dari negara manapun, misalnya, bisa menerapkan pendekatan tertentu untuk mengubah benda-benda alam menjadi sumber energi listrik. Interaksi timbal balik ini yang membingkai antara manusia dan teknologi listrik telah mendorong berkembangnya beberapa bentuk sumber cahaya buatan atau lampu yang kini menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan modern.

Cahaya buatan memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, mulai dari aspek keselamatan manusia, rekreasi, hingga aktivitas sosial dan ekonomi. Penerapan cahaya buatan dalam kehidupan modern sangat beragam, seperti penerangan jalan dan lalu lintas untuk keamanan, pencahayaan aksen fasad bangunan untuk meningkatkan keamanan sekaligus estetika, serta pencahayaan internal yang memungkinkan aktivitas malam yang lebih lama dan mendukung sistem kerja bergilir (shift). Selain itu, cahaya buatan

juga dimanfaatkan untuk memperindah pemandangan malam, mendukung ekspresi kreatif, penerangan taman kota dan fasilitas lanskap terkait, lampu depan kendaraan, penerangan papan reklame, serta berbagai kegiatan sosial dan ekonomi lainnya (Katabaro dkk., 2022).

Namun, dibalik manfaat tersebut, cahaya buatan juga menimbulkan sejumlah masalah bagi manusia, hewan, tumbuhan, ekosistem, bahkan perkembangan ilmu astronomi. Dampak negatif yang timbul akibat penggunaan cahaya buatan dikenal sebagai polusi cahaya. Polusi cahaya didefinisikan sebagai perubahan tingkat cahaya alami di lingkungan malam yang disebabkan oleh munculnya cahaya buatan (Falchi dkk., 2011). Ada dua jenis perubahan cahaya alami yang disebabkan oleh cahaya buatan. Pertama, cahaya muncul di tempat, waktu, dan intensitas yang tidak terjadi secara normal. Fenomena ini telah diperkuat dalam persepsi publik melalui citra satelit dan foto Bumi pada malam hari yang diperoleh astronot. Bukti ini menunjukkan meluasnya cahaya buatan pada malam hari, terutama di wilayah urbanisasi dan pusat populasi manusia yang besar. Kedua, cahaya buatan menghasilkan cahaya dengan spektrum yang berbeda dari cahaya alami, seperti sinar Matahari, cahaya Bulan, atau bintang. Spektrum cahaya buatan sangat ditentukan oleh jenis teknologi pencahayaan yang digunakan, mulai dari spektrum sempit, misalnya pada lampu natrium bertekanan rendah hingga spektrum yang lebih luas, contohnya pada lampu dengan debit intensitas tinggi dan teknologi LED (Gaston et al., 2015).

Menurut penelitian, cahaya buatan pada malam hari, termasuk intensitas pencahayaan di dalam ruangan, dan pola pencahayaan individu, semuanya berhubungan dengan peningkatan risiko kanker payudara. Selain itu, paparan cahaya buatan yang terang pada malam hari menurunkan pelepasan melatonin, menunda kemampuan tidur, serta meningkatkan kewaspadaan. Paparan cahaya buatan pada malam hari secara kronis dapat menyebabkan ketidakselarasan sirkadian, yang berdampak buruk pada proses psikologis, kardiovaskular, dan/atau metabolisme. Cahaya buatan pada malam hari juga mengganggu fase sirkadian, yang memburuk karena paparan cahaya

buatan yang terlalu lama di malam hari. Bahkan, jika cahayanya tidak terlalu terang, panjang gelombang cahaya yang lebih pendek akan mengganggu pelepasan melatonin dan menyebabkan perubahan fase sirkadian (Cho, 2015).

Cahaya buatan pada malam hari juga mempengaruhi ekosistem. Menurut penelitian, pencahayaan buatan pada malam hari mempengaruhi waktu kicau burung di daerah beriklim sedang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kicau burung saat fajar dan saat malam di lokasi dengan pencahayaan buatan mempengaruhi keberhasilan reproduksi. Selain itu, ketika ada pencahayaan buatan pada malam hari, kicauan burung akan dimulai lebih awal pada musim tertentu. Selanjutnya, telah terbukti bahwa cahaya buatan pada malam hari mengubah jadwal pergerakan harian beberapa spesies, seperti migrasi vertikal zooplankton di lingkungan perairan. Proses migrasi ini sensitif terhadap tingkat fluktuasi cahaya. Bahkan, ketika cahaya alami sangat rendah, proses migrasi dipengaruhi oleh cahaya buatan pada malam hari. Terakhir, cahaya buatan pada malam hari juga dapat memengaruhi pola tidur hewan (Gaston dkk., 2017).

Dampak serupa juga ditemukan pada tumbuhan. Bagi tanaman, cahaya buatan pada malam hari dapat mempercepat waktu bertunas di lokasi beriklim sedang. Waktu bertunas ini sebagian besar dipengaruhi oleh panjang hari dan rasio pada waktu senja. Cahaya buatan pada malam hari secara signifikan meningkatkan retensi daun musim gugur pada pepohonan di perkotaan beriklim sedang, terutama di area dekat sumber penerangan buatan, seperti lampu jalan (Gaston dkk., 2017). Bagi ilmu astronomi, perkembangan cahaya buatan pada malam hari, khususnya *skyglow*, telah menghambat kesempatan para astronom amatir dan profesional untuk mengamati dan mengukur langit malam beserta benda-benda langit di dalamnya. Perubahan cahaya buatan pada malam hari terus menjadi ancaman bagi sebagian besar operasi observatorium optik (Gaston & Sánchez de Miguel, 2022).

Berbagai dampak negatif cahaya buatan tersebut sejalan dengan pandangan Heidegger tentang teknologi modern. Heidegger berpen-

dapat bahwa teknologi modern dapat menjadi kekuatan destruktif yang berpotensi menghancurkan manusia dan lingkungan (Lovitt, 1977). Hal ini terjadi ketika manusia mengeksploitasi alam hanya untuk memuaskan kepentingannya sendiri tanpa logika. Kasus cahaya buatan dan polusi cahaya menjadi salah satu contohnya. Banyak orang menggunakan lampu secara berlebihan. Misalnya masyarakat menggunakan lampu tanpa pelindung sehingga mengganggu tetangganya yang ingin tidur malam. Contoh lainnya adalah pemilik toko yang memasang papan reklame yang besar dan memesonakan dengan cahaya yang mencolok agar pelanggan dapat melihatnya. Namun, hal tersebut justru mengganggu penglihatan pengemudi dan dapat meningkatkan risiko kecelakaan. Contoh-contoh tersebut beserta dampak negatif polusi cahaya yang telah dijelaskan di atas membuktikan bahwa pendapat Heidegger tentang teknologi modern ada benarnya.

C. Pengendalian Polusi Cahaya Bagi Indonesia

Dampak negatif polusi cahaya seperti yang sudah banyak dipaparkan pada bagian sebelumnya telah disadari oleh akademisi di Indonesia. Salah satu wujud kesadaran akademi Indonesia terhadap efek negatif polusi cahaya adalah dengan memprediksi polusi cahaya menggunakan model komputasi di sembilan wilayah yang dilindungi (*geopark*) yang ada di Indonesia. Kesembilan *geopark* tersebut meliputi Taman Botani Kuningan, Observatorium Bosscha, Observatorium Nasional Timau, Waduk Sermo, *Geopark* Gunung Batur, *Geopark* Pegunungan Seribu, *Geopark* Gunung Rinjani, *Geopark* Danau Toba, dan *Geopark* Belitung. Langkah untuk memprediksi polusi cahaya menggunakan model komputasi meliputi empat tahap. Keempat tahap tersebut, yaitu pengumpulan data, pemrosesan data, pembuatan model dan prediksi populasi, serta pembuatan model dan prediksi polusi cahaya (Riza dkk., 2023).

Selain memprediksi polusi cahaya di sembilan wilayah yang dilindungi tersebut, akademisi Indonesia juga melakukan pengamatan tingkat polusi cahaya. Pengamatan tingkat polusi cahaya di Indonesia dilakukan pada tahun 2018. Pada saat itu, pengamatan dilakukan

dengan mengobservasi kualitas langit malam di beberapa stasiun LAPAN yang terletak di Agam, Bandung, Pontianak, Sumedang, Garut, Pasuruan, dan Biak. Hasil pengamatan dari tujuh stasiun LAPAN tersebut menunjukkan bahwa Agam, Biak, Pontianak, dan Sumedang memiliki tingkat polusi cahaya moderat. Sementara itu, di kota besar, yakni Bandung dan Pasuruan, tingkat polusi cahayanya tinggi. Garut, sebagai daerah yang jauh dari pusat kota memiliki tingkat polusi cahaya rendah (Admiranto dkk., 2019; Admiranto dkk., 2021).

Setelah mengamati tingkat polusi cahaya di tujuh stasiun LAPAN tersebut, akademisi Indonesia juga membuat sebuah peta yang menunjukkan kecerahan langit di wilayah Bandung Raya. Wilayah Bandung Raya meliputi Bandung, Cimahi, dan Sumedang. Peta kecerahan langit tersebut dibuat dengan memadukan pengukuran di lokasi dan pengamatan menggunakan citra satelit. Dari perpaduan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa di area pusat Kota Bandung tingkat kecerahan langit cukup tinggi akibat banyaknya sumber cahaya buatan yang digunakan sebagai penerangan toko, hotel, dan fasilitas publik lain di malam hari. Sementara itu, di daerah pinggiran, seperti Sumedang dan Haurgombong, langit cenderung lebih gelap karena sumber penerangan buatan tidak sebanyak di pusat kota (Priyatikanto dkk., 2019).

Secara lebih spesifik, pengukuran kecerahan langit dilakukan di sekitar Observatorium Bosscha. Hasil pengukuran selama 400 malam pada tahun 2011–2012 menunjukkan bahwa rata-rata kadar kecerahan langit malam di Observatorium Bosscha sebesar $17,75 \pm 0,86$ mag/arcsec sq dan angka tertingginya sebesar $19,14 \pm 0,79$ mag/arcsec sq. Bandung dan Lembang merupakan wilayah perkotaan yang dekat dengan Observatorium Bosscha dan berkontribusi menyebabkan polusi cahaya di observatorium tersebut (Herdiwijaya, 2019).

Akibat adanya polusi cahaya di sekitar Observatorium Bosscha, muncul kebutuhan untuk mencari wilayah lain untuk lokasi alternatif bagi pembangunan observatorium baru. Salah satu wilayah yang dipandang sesuai untuk observatorium baru adalah wilayah kaki

Gunung Timau, yang memiliki nilai kecerahan langit malam lebih dari 21 mpsas. Wilayah ini dipandang sesuai untuk observatorium karena angka kecerahan langit malam sehingga memungkinkan untuk melakukan pengamatan astronomi dari wilayah ini. Selain itu, belajar dari pengalaman Observatorium Bosscha, ada kemungkinan bahwa wilayah-wilayah di sekitar kaki Gunung Timau akan berpotensi menjadi wilayah dengan sumber polusi cahaya di masa depan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya proteksi terhadap fasilitas observatorium yang sedang dibangun di Timau. Salah satu upaya proteksi dari polusi cahaya yang bisa dilakukan adalah dengan membuat kawasan taman langit gelap di sekitar wilayah observatorium di Timau (Murti dkk., 2023).

Apabila dilihat melalui kacamata filsafat teknologi, upaya prediksi dan pemantauan polusi cahaya, serta pengukuran tingkat kecerahan langit menunjukkan bahwa para akademisi di Indonesia tidak membiarkan teknologi menguasai mereka. Mereka menyadari bahwa listrik dan cahaya buatan sangat bermanfaat dalam kehidupan, khususnya sebagai sumber penerangan di malam hari. Namun, apabila tidak digunakan secara bijak, cahaya buatan justru dapat menyebabkan polusi cahaya yang berdampak negatif untuk manusia, ekosistem, dan perkembangan ilmu astronomi. Oleh karena itu, upaya pemantauan dan perlindungan tingkat polusi cahaya dan kecerahan langit tersebut menunjukkan pola berpikir yang kritis dan reflektif, yaitu tidak sekadar “pasrah” atau “membiarkan saja” terikat oleh teknologi listrik dan cahaya buatan, tetapi berusaha mengelolanya dengan bijaksana.

D. Kebijakan Berorientasi Langit Gelap

Munculnya kebijakan langit gelap ternyata sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan keterkaitan langit gelap dengan beberapa aspek, seperti aspek kesehatan, energi, bahkan keanekaragaman hayati. Penelitian menunjukkan bahwa polusi cahaya berdampak signifikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Bagi manusia, polusi cahaya dapat menyebabkan sakit kepala, kelelahan, ketegangan, penurunan fungsi seksual, peningkatan risiko kanker payudara, dan peningkatan

kecemasan (Rajkhowa, 2014). Penelitian mengenai dampak polusi cahaya terhadap kesehatan manusia telah dilakukan di seluruh dunia. Misalnya, penelitian mengenai polusi cahaya yang menyebabkan obesitas telah dilakukan di Nigeria, Amerika Serikat, Puerto Rico, dan Jepang; penelitian mengenai polusi cahaya penyebab kanker telah dilakukan di Inggris, Spanyol, Kanada, Amerika Serikat, dan Denmark; dan penelitian mengenai polusi cahaya yang menyebabkan gangguan mental telah dilakukan di Korea Selatan, Jepang, dan Amerika Serikat (Cao et al., 2023).

Bagi hewan, polusi cahaya dapat menyebabkan disorientasi pada burung migran, mengganggu perburuan penyu betina untuk bersarang, dan menyulitkan tukik mencari jalan menuju laut (Rajkhowa, 2014). Selain itu, beberapa spesies, termasuk burung hitam, burung penyanyi, tikus, rubah, dan kelelawar tertentu, terdampak polusi cahaya, baik harian maupun musiman (Dominoni, 2017). Bagi tumbuhan, polusi cahaya mengganggu proses adaptasi pepohonan terhadap perubahan musim. Polusi cahaya juga mengganggu kemampuan navigasi ngengat dan serangga nokturnal lainnya yang berperan sebagai penyerbuk. Karena tidak ada penyerbuk pengganti yang tidak terpengaruh oleh cahaya buatan, bunga yang mekar di malam hari dan mengandalkan ngengat untuk penyerbukannya akan berpotensi gagal bereproduksi. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mengakibatkan punahnya tumbuhan yang tidak mampu bereproduksi dan mengubah ekologi jangka panjang di suatu wilayah (Rajkhowa, 2014).

Selain dampaknya terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan, polusi cahaya juga berdampak pada ilmu astronomi. Meningkatnya populasi manusia dan aktivitas ekonominya ke daerah-daerah terpencil telah meningkatkan penggunaan cahaya buatan. Semakin cerobohnya penggunaan cahaya buatan oleh manusia di kota-kota besar dan kecil di seluruh dunia membuat pengamatan langit menjadi mustahil (Kaushik et al., 2022). Cahaya dari berbagai sumber pencahayaan diarahkan ke langit dan menyebar di udara, menghasilkan cahaya yang tersebar di langit yang disebut *skyglow*. Cahaya ekstra di langit ini mengaburkan sumber-sumber langit redup yang mem-

berikan pengetahuan ilmiah penting tentang awal mula dunia dan kehidupan (International Astronomical Union & Spain, 2021).

Kebutuhan untuk meneliti asal usul alam semesta dan kehidupan mengharuskan adanya akses untuk pengamatan langit gelap. Mengontrol penyebaran lampu intrusif di wilayah tertentu diperlukan untuk memastikan akses ke langit gelap dan desain pencahayaan yang tepat sangat penting untuk mengendalikan penggunaan lampu buatan. Untuk pemanfaatan energi cahaya yang efisien, posisi, ketinggian pemasangan, dan tujuan pencahayaan luar ruangan harus diperhatikan (Elsahragty & Lee Kim, 2015). Selain itu, Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA) telah merilis enam tindakan untuk mengendalikan penggunaan lampu sebagai berikut: 1) alih-alih menggunakan dioda pemancar cahaya (LED) dan lampu neon kompak (CFL), gunakan bohlam berwarna hangat; 2) peredup, sensor gerak, dan pengatur waktu dapat digunakan untuk mengurangi tingkat pencahayaan rata-rata dan menghemat lebih banyak energi; 3) menutupi sumber cahaya untuk mengurangi silau dan penyebaran cahaya ke tempat-tempat yang tidak perlu; 4) beralih ke pencahayaan LED; 5) mematikan pencahayaan interior yang berlebihan; dan 6) menghindari lampu biru di malam hari.

Selain penelitian mengenai dampak polusi cahaya dan cara meminimalisirnya, banyak juga penelitian mengenai polusi cahaya dan keberlanjutan. Empat di antaranya dikutip di sini. Pertama, penelitian bertajuk “The Risk of Light Pollution on Sustainability” membahas tentang pengaruh polusi cahaya terhadap keberlanjutan ekonomi. Ketika terdapat sejumlah besar lampu buatan di lokasi yang tidak perlu, polusi cahaya berdampak pada keberlanjutan ekonomi. Hal ini merupakan pemborosan sumber daya karena penggunaan listrik sangat mahal. Pada tahun 2018, Amerika Serikat sendiri menciptakan 3.600 miliar kilowatt-jam energi untuk konsumsi listrik, senilai USD 362 juta (Faid et al., 2019). Ketika listrik tidak digunakan dengan baik, sejumlah besar uang menjadi sia-sia, sehingga menimbulkan masalah perekonomian negara. Kedua, penelitian bertajuk “Analysis of Light Pollution as a Neglected Issue in Development” membahas

tentang pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk sebagai penyebab terjadinya polusi cahaya (Isnarti, 2020).

Ketiga, penelitian berjudul “Connections of the Light Pollution Issue to the UN Sustainable Development Goals” menganalisis 17 tujuan dan 169 target dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan dari Perserikatan Bangsa Bangsa yang terkait dengan polusi cahaya (Mika & Apró, 2021). Keempat, penelitian berjudul “Reviewing the Role of Outdoor Lighting in Achieving Sustainable Development Goals” melakukan tinjauan literatur komprehensif atas 227 dokumen yang mengontekstualisasikan pencahayaan luar ruangan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, menunjukkan potensinya untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang ada terkait dengan target tujuan pembangunan berkelanjutan (Tavares et al., 2021).

Mengingat luasnya dampak negatif dari cahaya buatan terhadap manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi, maka sangat penting untuk mengurangi dampak tersebut. Metode mitigasi polusi cahaya bersifat ekonomis dan mudah diterapkan. Cara-cara tersebut adalah sebagai berikut: mengarahkan cahaya ke tempat yang diperlukan; mematikan lampu apabila tidak diperlukan; meredupkan cahaya dan memilih iluminan, spektrum warna, dan filter yang paling sesuai; meneduhkan cahaya untuk melindungi lingkungan; dan belajar dari alam serta menciptakan kawasan dengan kegelapan yang dijaga (Schroer & Hölker, 2017). Area dengan kegelapan yang dijaga disebut taman langit gelap.

Menurut Asosiasi Langit Gelap Internasional atau International Dark-Sky Association (IDA), taman langit gelap didefinisikan sebagai sebuah kawasan yang memiliki kualitas malam berbintang dan lingkungan malam hari yang luar biasa atau istimewa dan sengaja dilestarikan untuk kepentingan ilmu pengetahuan, lingkungan, pendidikan, warisan budaya, dan/atau kesenangan umum. Lebih lanjut, IDA menyebutkan enam tujuan taman langit gelap, sebagai berikut:

- 1) untuk mengidentifikasi, memperbaiki, dan memelihara lahan publik, seperti taman nasional, serta lahan pribadi yang dapat diakses publik, dengan komitmen dan keberhasilan luar biasa

- dalam melaksanakan tujuan pelestarian langit gelap dan langit malam yang cerah;
- 2) untuk mempromosikan ekowisata dan astrowisata;
 - 3) untuk mendorong pelestarian lingkungan alami malam hari, kenikmatan publik atas langit malam dan warisannya, serta lokasi yang kondusif bagi astronomi profesional dan amatir;
 - 4) untuk meyakinkan para pegiat konservasi bahwa langit gelap adalah sumber daya berharga yang memerlukan perlindungan penuh kewaspadaan;
 - 5) untuk memberikan pengakuan nasional dan internasional terhadap taman langit gelap; dan
 - 6) mendesak taman nasional dan lembaga publik lain yang sebanding untuk menjadi pelopor dalam isu lingkungan terkait langit gelap dengan menjelaskan manfaat langit gelap kepada masyarakat umum dan komunitas sekitar dan dengan menunjukkan potensi taman langit gelap jika pengelolaannya tepat (International Dark Sky Association, 2018).

Definisi dan tujuan taman langit gelap tersebut dengan jelas menggambarkan bahwa taman langit gelap merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak negatif polusi cahaya. Menurut Heidegger, strategi ini merupakan upaya untuk menggunakan teknologi secara bertanggung jawab dan alami, tanpa dikuasai olehnya (Lovitt, 1977). Polusi cahaya berkurang ketika cahaya buatan digunakan secara bertanggung jawab dan alami. Polusi cahaya dapat dikurangi dengan memasang pelindung pada lampu atau mematikan lampu bila tidak diperlukan. Memasang pelindung pada lampu dan mematikan lampu saat tidak diperlukan merupakan contoh upaya memanfaatkan teknologi yaitu cahaya buatan dengan bijak dalam situasi ini.

Mempertahankan wilayah tertentu sebagai taman langit gelap lebih sulit daripada memasang pelindung pada lampu atau mematikan lampu. Hal ini lebih sulit dilakukan karena tidak dapat dilakukan sendiri, tetapi memerlukan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat. Untuk mewujudkan kerja sama tersebut, setiap orang

harus menyadari dampak negatif polusi cahaya. Pengetahuan bersama ini menunjukkan bahwa, baik pemerintah maupun masyarakat tidak dikuasai oleh teknologi, khususnya cahaya buatan.

Menurut penelitian Papalambrou et al. (2021), memelihara tempat-tempat tertentu dan mengembangkannya menjadi taman langit gelap dapat membantu melindungi ekosistem dan ilmu astronomi. Hal ini juga dapat membantu menjaga kelestarian ekologi karena terdapat banyak spesies hewan dan tumbuhan yang harus dipertahankan di kawasan yang ditetapkan sebagai taman langit gelap. Kawasan tersebut biasanya merupakan habitat asli suatu spesies yang harus dilindungi (Papalambrou, dkk., 2021).

Selain itu, taman langit gelap dapat menunjang kajian astronomi karena konsep astrowisata berkembang dari pelestarian tempat-tempat tertentu seperti taman langit gelap. Astrowisata adalah jenis pariwisata berkelanjutan baru yang berpusat pada pengamatan langit yang gelap, bebas polusi cahaya, dan semua pengalaman yang tumbuh di sekitarnya. Astrowisata dapat mendukung ilmu astronomi karena didasarkan pada pengamatan langit malam. Menurut penelitian Escario-Sierra et al. (2022), taman langit gelap mempunyai konsekuensi sosio-ekonomi yang positif karena berpeluang bagi pembangunan sosio-ekonomi endogen dan berkelanjutan di wilayah yang kurang terlayani.

Selain itu, taman langit gelap yang merupakan destinasi astrowisata juga memiliki kontribusi positif terhadap keberlanjutan destinasi pariwisata daerah. Seperti disebutkan sebelumnya, polusi cahaya telah meningkat antara lain akibat meningkatnya populasi, kepadatan penduduk, dan penggunaan pencahayaan buatan yang salah, termasuk perlengkapan, seperti bohlam, intensitas, dan suhu warna yang tidak tepat. Kota-kota besar dan kecil di seluruh dunia kehilangan kemampuan mereka untuk melihat bintang-bintang sebagai cahaya antroposentris karena penerangan jalan raya, iklan, lampu mobil, dan penerangan bisnis dan tempat tinggal, yang melebihi cahaya langit malam. Karena ketersediaan langit malam semakin jarang, sedangkan kebutuhan akan layanan wisata langit gelap semakin meningkat. Taman langit gelap adalah sebuah metode untuk mendapatkan kembali

kapasitas yang hilang untuk menikmati bintang-bintang (Blundell et al., 2020).

Data di atas menunjukkan bahwa pentingnya taman langit gelap untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Menciptakan taman langit gelap dapat berkontribusi terhadap kelestarian ekosistem dan ilmu astronomi. Taman langit gelap, sebagai tujuan astrowisata, juga membantu memastikan keberlangsungan atraksi wisata daerah dalam jangka panjang. Hal ini juga menambah keberlangsungan sosial ekonomi daerah yang dipilih. Mengingat bahwa taman langit gelap dapat membantu kelestarian manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Oleh karena itu, jelas bahwa taman langit gelap diperlukan di dunia saat ini. Taman langit gelap merupakan salah satu cara untuk mengurangi dan meminimalkan polusi cahaya, juga dapat berkontribusi terhadap keberlanjutan kehidupan modern.

Menciptakan taman langit gelap adalah contoh dari pola “biarkan saja,” seperti yang dikatakan Heidegger (Lovitt, 1977). Hal ini terjadi ketika masyarakat modern tidak menolak teknologi, tetapi menggunakannya secara bijak dan spontan tanpa terbebani oleh teknologi. Menciptakan taman langit gelap sesuai dengan pola “biarkan saja” yang disampaikan oleh Heidegger karena beberapa faktor harus dipertimbangkan saat merancang taman langit gelap. Beberapa faktor tersebut, misalnya mengukur kecerahan, pencahayaan, dan spektrum pencahayaan publik di area tersebut. Pendekatan ini juga mencakup identifikasi jenis lumener dan sumber cahaya, evaluasi kecukupannya, identifikasi kesalahan, dan pembuatan rekomendasi modifikasi (Papalambrou et al., 2021).

Perancangan taman langit gelap ini memerlukan penggunaan teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa membangun taman langit gelap tidak berarti menolak teknologi, tetapi menerapkannya secara bijaksana. Penerangan memang diperlukan pada kawasan taman langit gelap, tetapi harus diprediksi dengan baik untuk menghindari polusi cahaya yang membahayakan manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Penciptaan taman langit gelap menunjukkan bahwa

manusia tidak didominasi oleh teknologi. Mereka dapat menonaktifkan teknologi tersebut ketika tidak lagi diperlukan.

E. Taman Langit Gelap bagi Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia

Berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya, dapat dilihat bahwa taman langit gelap dapat mendukung pembangunan berkelanjutan. Hal tersebut dapat terjadi karena keberadaan taman langit gelap dapat membantu terjaganya keberlangsungan ekosistem, ilmu astronomi, dan pariwisata di daerah tempat sebuah taman langit gelap berada. Kondisi ini juga berlaku di Indonesia.

Saat ini, Indonesia telah memiliki sebuah observatorium nasional di lereng Gunung Timau, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Motivasi awal pembangunan observatorium di Kabupaten Kupang adalah makin tingginya polusi cahaya di observatorium Bosscha di Lembang, Jawa Barat yang mengakibatkan sulitnya melakukan pengamatan astronomi di Bosscha. Oleh karena itu, diperlukan observatorium lain untuk mengamati astronomi, menggantikan peran observatorium Bosscha (Mumpuni et al., 2018).

Selain untuk menggantikan peran observatorium Bosscha, kawasan sekitar Observatorium Nasional Timau juga telah direncanakan untuk menjadi kawasan taman langit gelap nasional yang mengikuti standar Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA). Pembangunan kawasan taman langit gelap di sekitar wilayah Observatorium Nasional Timau juga direkomendasikan oleh Murti et al. (2023). Namun, Murti et al. (2023) juga mengingatkan perlunya memperhatikan kawasan-kawasan di sekitar observatorium yang dapat berpotensi menjadi sumber polusi cahaya. Rencana ini penting untuk diteruskan karena dapat mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia dalam tiga aspek, sebagai berikut.

Pertama, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat mendukung keberlangsungan ekosistem hayati di sekitar wilayah tersebut. Observatorium Nasional Timau

berada di kawasan hutan lindung di lereng Gunung Timau dan merupakan habitat asli fauna khas Indonesia, seperti kuskus, rusa timor, dan babi hutan (Mumpuni et al., 2018). Oleh karena itu, sebagai bagian dari hutan lindung dengan fauna khas yang mendiaminya, kawasan Observatorium Nasional Timau perlu dijaga kelestariannya. Salah satu cara untuk menjaga kelestarian atau keberlangsungan ekosistem hayati adalah dengan membangun taman langit gelap. Taman langit gelap dapat mendukung keberlanjutan ekosistem di wilayah Observatorium Nasional Timau sebab keberadaan taman langit gelap memerlukan pengaturan cahaya yang tepat agar tidak menimbulkan polusi cahaya. Pencegahan polusi cahaya berdampak positif bagi ekosistem hayati di wilayah tersebut.

Kedua, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat menjaga keberlangsungan ilmu astronomi, baik ilmu astronomi modern maupun ilmu astronomi tradisional. Keberlangsungan ilmu astronomi modern sudah jelas akan terwujud dengan adanya fasilitas pengamatan seperti teleskop di observatorium nasional. Sementara itu, ilmu astronomi tradisional juga dapat dilestarikan dengan keberadaan taman langit gelap. Salah satu aplikasi ilmu astronomi tradisional dalam kehidupan penduduk lokal di wilayah Gunung Timau adalah untuk menentukan waktu awal musim tanam. Penduduk lokal di sekitar Gunung Timau mengetahui waktu untuk mulai bercocok tanam dengan melihat terbitnya empat bintang yang dalam bahasa daerah disebut *Kuaha'in*. Keempat bintang ini diduga adalah bintang Capella, Betelgeuse, Sirius, dan Procyon (Mumpuni et al., 2018).

Keberadaan taman langit gelap dengan pengendalian pencahayaan dapat mengurangi polusi cahaya. Minimnya polusi cahaya di langit Timau memungkinkan penduduk lokal di wilayah sekitar Gunung Timau untuk melihat bintang di atas kepala mereka. Dengan melihat gugusan bintang tersebut, mereka dapat kembali menemukan warisan leluhur mengenai nama-nama gugusan bintang dan kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari mereka. Selain itu, mereka juga dapat belajar mengenai astronomi modern melalui fasilitas pengamatan

yang ada di observatorium nasional. Selanjutnya, dengan adanya taman langit gelap dengan kendali cahaya yang ketat dan polusi cahaya yang minim, pengetahuan dan pengamatan bintang yang terkait dengan ilmu astronomi tradisional dapat diteruskan kepada anak cucu penduduk lokal tersebut.

Ketiga, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat menumbuhkan potensi ekonomi lewat aktivitas astrowisata. Aktivitas astrowisata memerlukan kondisi langit malam yang bebas dari polusi cahaya agar pengamatan benda-benda langit dapat dilakukan dengan maksimal. Studi dari Mardita dan Perwitasari (2023) menyebutkan bahwa untuk mengembangkan astrowisata di Kabupaten Kupang, tidak bisa hanya mengandalkan keberadaan observatorium nasional sebagai daya tarik utama, tetapi perlu adanya integrasi kegiatan astrowisata dan non-astrowisata. Kegiatan non-astrowisata dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya yang ada di wilayah tersebut. Penggabungan kegiatan astrowisata dengan non-astrowisata menghasilkan kegiatan yang menggabungkan pengamatan langit siang dan malam dengan atraksi budaya dan fisik. Studi Mardita dan Perwitasari (2023) tersebut juga merekomendasikan agar pengembangan jalur astrowisata diintegrasikan dengan taman langit gelap untuk melindungi dan menjaga kelestarian langit malam di Observatorium Nasional Timau.

Dari penjelasan tersebut, keberadaan taman langit gelap di Indonesia, khususnya di wilayah Gunung Timau, Kabupaten Kupang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Manfaat pertama taman langit gelap untuk mendukung keberlanjutan ekosistem hayati sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 15, ekosistem daratan. Manfaat kedua taman langit gelap untuk mendukung keberlangsungan ilmu astronomi sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 4, pendidikan berkualitas. Manfaat ketiga taman langit gelap untuk menumbuhkan ekonomi masyarakat lewat aktivitas astrowisata sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 8, pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi.

F. Penutup

Cahaya buatan telah terbukti manfaatnya dalam menunjang kehidupan manusia. Namun, penggunaannya yang berlebihan juga menimbulkan masalah yang disebut polusi cahaya. Polusi cahaya membahayakan manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Bahaya polusi cahaya telah terungkap dalam banyak laporan penelitian. Beberapa penelitian tersebut memberikan rekomendasi untuk mengurangi polusi cahaya dan dampak negatifnya. Salah satu cara untuk mengurangi polusi cahaya adalah dengan membangun taman langit gelap.

Taman langit gelap memiliki banyak sekali manfaat untuk menunjang keberlangsungan kehidupan manusia, ekosistem, dan ilmu astronomi. Selain itu, taman langit gelap sebagai destinasi astrowisata dapat memberikan manfaat sosial ekonomi bagi sebuah wilayah. Mengingat berbagai dampak positif taman langit gelap, penting untuk menciptakan taman langit gelap guna mengurangi polusi cahaya. Mengurangi polusi cahaya dapat membantu mempertahankan kehidupan manusia, ekosistem, dan ilmu astronomi.

Mengikuti pandangan filosofis Martin Heidegger tentang teknologi, mendedikasikan suatu kawasan sebagai taman langit gelap menunjukkan bahwa manusia tidak dikendalikan atau termakan oleh teknologi modern yaitu cahaya buatan. Pertimbangan dan pengukuran mendetail yang diperlukan untuk membangun taman langit gelap menunjukkan kearifan manusia dalam memanfaatkan teknologi modern.

Dalam konteks Indonesia, taman langit gelap yang direncanakan akan dibangun di sekitar wilayah Observatorium Nasional Timau memiliki tiga manfaat. Ketiga manfaat tersebut yaitu taman langit gelap dapat membantu menjaga keberlanjutan ekosistem hayati, taman langit gelap dapat membantu menjaga keberlanjutan ilmu astronomi modern dan tradisional, serta taman langit gelap dapat menumbuhkan ekonomi daerah melalui aktivitas astrowisata. Ketiga manfaat tersebut sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 15, 4, dan

8. Oleh karena itu, rencana awal untuk mengembangkan kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau penting untuk dilanjutkan.

Daftar Pustaka

- Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Maryam, S., Ellyyani, & Suryana, N. (2019). Preliminary report of light pollution in Indonesia based on sky quality Observation. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1231, Article 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1231/1/012017>
- Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Maryam, S., Ellyyani, Kurniawati, S., & Saputro, M. F. E. (2021). Light pollution observations in Indonesia. In L. Hufnagel (Ed.), *Light Pollution, Urbanization and Ecology*. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96897>
- Agll, A. A. A., Hamad, Y. M., Hamad, T. A., & Sheffield, J. W. (2014). Study of energy recovery and power generation from alternative energy source. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.06.005>
- Azman, M. I., Dalimin, M. N., Mohamed, M., & Bakar, M. A. (2019). A brief overview on light pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 269(1), Article 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/269/1/012014>
- Bjelajac, D., Đerčan, B., & Kovačić, S. (2020). Dark skies and dark screens as a precondition for astronomy tourism and general well-being. *Information Technology & Tourism*, 23(1), 19–43. <https://doi.org/10.1007/s40558-020-00189-9>
- Blundell, E., Schaffer, V., & Moylle, B. D. (2020). Dark sky tourism and the sustainability of regional tourism destinations. *Tourism Recreation Research*, 45(4), 549–556. <https://doi.org/10.1080/02508281.2020.1782084>
- Cao, M., Xu, T., & Yin, D. (2023). Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. *Journal of Environmental Sciences*, 127, 589–602. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.020>
- Cho, Y. M., Ryu, S. H., Lee, B. R., Kim, K. H., Lee, E., & Choi, J. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*, 32(9), 1294–1310. <http://dx.doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>

- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2012). How to write a literature review. *Journal of Criminal Justice Education*, 24(2), 218–234. <http://dx.doi.org/10.1080/10511253.2012.730617>
- Dominoni, D. M. (2017). Ecological effects of light pollution: How can we improve our understanding using light loggers on individual animals? In E. Murgui, & B. Hedblom (Eds.), *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments* (251–270). Springer International Publishing AG 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43314-1_13
- Elsahragty, M., & Lee Kim, J. (2015). Assessment and strategies to reduce light pollution using geographic information systems. *Procedia Engineering*, 118, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.458>
- Escario-Sierra, F., Álvarez-Alonso, C., Moseñe-Fierro, J. A., & Sanagustín-Fons, V. (2022). Sustainable tourism, social and institutional innovation—the paradox of dark sky in astrotourism. *Sustainability*, 14(11), Article 6419. <https://doi.org/10.3390/su14116419>
- Faid, M. S., Shariff, N. N. M., & Hamidi, Z. S. (2019). The Risk of Light Pollution on Sustainability. *ASM Science Journal*, 12(2), 134–142.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M., & Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment, and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2714–2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions R. Soc. B* 370(1667), 20140133. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- Gaston, K. J., Davies, T. W., Nedelec, S. L., & Holt, L. A. (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), 49–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745>
- Gaston K. J., & Sánchez de Miguel, A. (2022). Environmental impacts of artificial light at night. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 373–398. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112420-014438>
- Herdiwijaya, D. (2019). Light pollution at Bosscha Observatory, Indonesia. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1153(1), 012133. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012133>
- International Astronomical Union & Spain (2021). *Dark and quiet skies for science and society: Report and recommendations*. United Nations

- Office for Outer Space Affairs (UNOOSA). <https://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf>
- International Dark Sky Association. (2018). International Dark Sky Park Program Guidelines. Diakses pada 5 August 2024, dari <https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018/12/IDSP-Guidelines-2018.pdf>
- International Dark Sky Association. (2018). Light pollution solutions. Diakses pada 5 August 2024, dari <https://www.darksky.org/light-pollution/light-pollution-solutions/>
- Isnarti, R. (2020). Analysis of light pollution as a neglected issue in development. *Jurnal Power in International Relation*, 4(2), 115–126. <http://dx.doi.org/10.22303/pir.4.2.2020.115-126>
- Katabaro, J. M., Yan, Y., Hu, T., Yu, Q., & Cheng, X. (2022). A Review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measure. *Frontiers in Public Health*, 10, Article 969945. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.969945>
- Kaushik, K., Nair, S., & Ahamad, A. (2022). Studying light pollution as an emerging environmental concern in India. *Journal of Urban Management*, 11(3), 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.05.012>
- Lovitt, W. (1977). *Martin Heidegger: The question concerning technology and other essays*. Garland Publishing, Inc.
- Mardita, M., & Perwitasari, I. (2023). Village tourism as part of strategy of the development of astrotourism route design in NTT: A case study of Sonan Hamlet. *AIP Conference Proceeding*, 2941(1), 030037. <https://doi.org/10.1063/5.0184859>
- Mika, J. & Apró, A. (2021). Connections of the light pollution issue to the UN Sustainable Development Goals. *ACTA Universitatis, Sectio Biologiae*, Tom. XLVI, 183–192. <https://doi.org/10.33041/ActaUnivEszterhazyBiol.2021.46.183>
- Muladi, M., Jalil, M. F. A., Arifin, R. F., Aripriharta, A., Zaini, I. A. E., Sendari, S., Hidayat, S., & Utomo, W. M. (2021). An experimental study of generating electricity from urban tropical forest plants. *Journal of Physics*, Conference Series 1825(1), 012099. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012099>
- Mumpuni, E. S., Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Puspitarini, L., Nurzaman, M. Z., Mumtahana, F., Yatini, C. Y., & Tanesib, J. L. (2018). *Selayang pandang Observatorium Nasional Timau*. Kepustakaan Populer Gramedia.

- Murti, M.D., Saputra, M. B., Yatini, C. Y., Admiranto, A. G., Mumpuni, E. S., & Tanesib, J. L. (2023). Mapping the sky brightness in the neighbouring areas of Timau National Observatory. *AIP Conference Proceeding*, 2941(1), 040012). <https://doi.org/10.1063/5.0181460>
- Papalambrou, A., Doulos, L. T., Drakatos, G., Xanthakis, M., Minetos, P., & Magoula, A. E. (2021). Planning an international dark-sky place in Aenos National Park, the first steps. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 899(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/899/1/012039>
- Priyatikanto, R., Admiranto, A. G., Putri, G. P., Elyyani, Maryam, S., & Suryana, N. (2019). Map of sky brightness over Greater Bandung and the prospect of astro-tourism. *Indonesian Journal of Geography*, 51(2), 190–198. <https://doi.org/10.22146/ijg.43410>
- Rajkhowa, R. (2014). Light pollution and impact of light pollution. *International Journal of Science and Research*, 3(10), 861–867.
- Riza, L. S., Putra, Z. A. Y., Firdaus, M. F. Y., Trihutama, F. Z., Izzuddin, A., Utama, J. A., Samah, K. A. F. A., Herdiwijaya, D., NQZ, R. A., & Mumpuni, E.S. (2023). A spatiotemporal prediction model for light pollution in conservation areas using remote sensing datasets. *Decision Analytics Journal*, 9, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100334>
- Schroer, S., & Hölker, F. (2017). Light pollution reduction: Methods to reduce the environmental impact of artificial light at night. In R. Karlicek, et al. (Eds.), *Handbook of Advanced Lighting Technology* (991–1010). Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00176-0_43
- Stone, T. (2017). Light pollution: A case study in framing an environmental problem. *Ethics, Policy & Environment*, 20(3), 279–293. <https://doi.org/10.1080/21550085.2017.1374010>
- Tavares, P., Ingi, D., Araújo, L., Pinho, P., & Bhusal, P. (2021). Reviewing the role of outdoor lighting in achieving sustainable development goals. *Sustainability*, 13(22), 12657. <https://doi.org/10.3390/su132212657>
- Vargas Bonilla, J. F., Botero Valencia, J. S., & López Giraldo, F. E. (2015). Classification of artificial light sources and estimation of Color Rendering Index using RGB sensors, K Nearest Neighbor and Radial Basis Function. *International Journal on Smart Sensing Intelligent Systems*, 8(3), 1505–1524. <https://dx.doi.org/10.21307/ijssis-2017-817>.

Wibowo, A. R. R. (2022). Peran teknologi satelit komunikasi dan satelit navigasi dalam mendukung ketahanan sosial pada masa pandemi covid-19 di Indonesia. Dalam A. Rahadiati (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Geomatika VI: Inovasi Geospasial dalam Pengurangan Risiko Bencana* (1075–1084). Badan Informasi Geospasial.

Bab V

Kebijakan Keantariksaan Asia-Pasifik pada Masa Krisis: Perbandingan Indonesia dan Australia

Yunita Permatasari

A. Krisis, Kawasan, dan Kebijakan Keantariksaan

Krisis besar dalam politik internasional satu lustrum terakhir di antaranya menyebarnya Covid-19 ke seluruh dunia. Baik negara maju maupun negara berkembang terimbas dampaknya, tensi persaingan dan kerja sama pada masa krisis tersebut menimbulkan corak interaksi antarnegara yang unik. Kebijakan negara pada masa Covid-19 perlu dibahas dengan tujuan mencari pola kebijakan yang diambil pada masa krisis. Keantariksaan memperoleh momentum untuk berperan sebagai salah satu tulang punggung menanggulangi penyebaran Covid-19, antara lain mitigasi bencana dan saluran telekomunikasi. Kebijakan keantariksaan signifikan untuk memahami esensi dan perkembangan keantariksaan bagi masyarakat. Apalagi,

Y. Permatasari

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: yunita.permatasari@brin.go.id

© 2025 Editor & Penulis

Permatasari, Y. (2025). Kebijakan Keantariksaan Asia-Pasifik pada Masa Krisis: Perbandingan Indonesia dan Australia. Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan (123–145). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1592.c1499, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

keantariksaan berkembang semakin pesat pada abad ke-21 seiring dengan revolusi industri 5.0 yang menyerukan digitalisasi dan otomatisasi pada sendi kehidupan sehari-hari. Teknologi antariksa telah membawa banyak manfaat bagi masyarakat, antara lain penemuan ilmiah, pengembangan teknologi, prestise nasional, dan perbaikan di berbagai sektor, seperti telekomunikasi dan sistem navigasi (Detsis, B., & Detsis, E., 2013)(Crosby, 2012). Selain itu, kegiatan antariksa telah berkontribusi pada pemeliharaan perdamaian selama Perang Dingin dan memiliki potensi untuk terus melakukannya dalam iklim politik internasional yang tidak pasti saat ini (Logsdon, 2001). Gambaran Bumi yang diperoleh dari antariksa juga telah memupuk kesadaran lingkungan dan menunjukkan perlunya pengelolaan global (Doyle, 1989). Selanjutnya, eksplorasi antariksa telah menyebabkan kemajuan bidang kedokteran, proses manufaktur, otomatisasi, transportasi, dan sistem komunikasi (Rajan, 1988). Kebijakan keantariksaan ini juga telah mendorong peningkatan dan perluasan program pendidikan dan penelitian, menciptakan organisasi baru, menghasilkan pekerjaan, dan memupuk kebanggaan nasional dan pribadi. Namun, penting untuk dicatat bahwa manfaat teknologi antariksa lebih besar terasa di negara maju dibandingkan negara berkembang. Hal ini berdampak pada lebih banyaknya program keantariksaan di negara maju.

Mayoritas negara maju dan negara berkembang yang pesat dalam bidang keantariksaan berada dalam kawasan Asia Pasifik. Kawasan Asia-Pasifik pun menjadi pemain utama dalam politik dunia yang memotong semua pusat kekuatan utama dunia, kecuali Eropa (Jiemian, 1999). Selama beberapa dekade kawasan ini cukup stabil dan telah menikmati pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Selain itu, sejak akhir Perang Dingin, negara-negara Asia-Pasifik telah berusaha untuk meningkatkan kerja sama keamanan pada era baru (Jiemian, 1999) (Dobbs-Higginson, 1993). Dinamika kebijakan keantariksaan Asia Pasifik menjadi *center of gravity* dengan kebangkitan China pada tiga dekade terakhir, ditambah perkembangan eksistensi diplomasi publik Jepang dan Korea Selatan, yang terus meningkatkan diseminasi dan kesadaran pencapaian kemandirian teknologi keantariksaan.

Selain itu, teknologi dan aplikasi antariksa menjelma sebagai *final frontier*, baik dalam isu politik-keamanan maupun ekonomi di kawasan. Kemajuan kawasan ini menggaungkan mitos Abad Asia dilingkupi dengan politik pembangunan yang kompleks (Huang, 2009) (Zhang, 2003). Salah satu aktor utama negara di kawasan Asia Pasifik adalah Australia dan juga Indonesia sebagai aktor kunci (McDougall & Glosserman, 2007) (Yates, 2017).

Pada 2019–2020, kawasan Asia Pasifik mengalami pandemi covid-19 secara signifikan berdampak pada berbagai sektor termasuk kedirgantaraan. Maskapai penerbangan di kawasan tersebut telah menghadapi ketidakstabilan keuangan karena risiko kesehatan terkait dengan penyakit ini, yang menyebabkan penurunan produktivitas (Peoples et al., 2023). Meskipun pandemi mempengaruhi industri global kawasan, ada pula beberapa daerah yang kebal dari dampaknya (Tan & Lee, 2020). Selain pandemi, kawasan ini juga menghadapi ancaman bahaya alam, seperti dampak perubahan iklim, yang dapat menambah kerentanan sosial ekonomi (Chen & Cook, 2020). Untuk mengatasi tantangan ini, ada kebutuhan untuk kerja sama antardaerah ataupun negara dan lokalisasi sistem kemanusiaan yang memberdayakan dan memperkuat aktor lokal (Mateos et al., 2020).

Selanjutnya, pengembangan alat berteknologi di bidang kesehatan telah memungkinkan pemantauan sistematis infeksi virus ini, termasuk SARS-CoV-2 di kawasan (Rocha & Aspinall, 2020) dengan menggunakan teknologi antariksa. Teknologi antariksa mengubah hidup dan menyelamatkan hidup sehingga dapat melindungi kepentingan nasional bahkan kebebasan dalam mengakses sumber daya antariksa (Reynolds, 2020). Namun, antariksa saat ini telah menjadi semakin padat dan diperebutkan. Oleh karena itu, menarik untuk dibahas bagaimana kebijakan keantariksaan pada masa krisis pandemi Covid-19 di negara utama dan kunci pada kawasan Asia Pasifik.

Indonesia berbentuk negara kepulauan di ekuatorial yang terbesar di dunia, yang memiliki posisi strategis di tengah kawasan Asia Pasifik, disertai luas wilayah yang besar, dan populasi penduduk keempat tertinggi dunia, dan juga pemimpin alami Association of

Southeast Asian Nations (ASEAN). Oleh karena itu, sangat wajar menjadi negara kunci kawasan ini meskipun masih tergolong negara berkembang. Indonesia pun pada 2030 akan dimasukkan pada golongan lima besar ekonomi dunia bersama dengan China, Amerika Serikat, India, dan Jepang (Wahyudi, 2022). Keempat negara yang diprediksi sebagai kekuatan utama ekonomi dunia tersebut telah memiliki kapasitas keantariksaan yang sangat maju. Indonesia meskipun belum dapat disejajarkan kemampuan keantariksannya, tetapi memiliki sejarah sejak 1920-an yang sangat panjang daripada India dan Jepang terkait pengembangan keantariksaan. Pada abad modern, keantariksaan Indonesia berjalan dengan menjunjung prinsip Traktat Antariksa 1967, di antaranya kegiatan keantariksaan untuk tujuan damai dan memberi manfaat bagi masyarakat tanpa memandang tingkat ekonomi dan pengetahuan (Abdurasyid, 2001). Indonesia secara aktif terlibat dalam penggunaan dan eksplorasi antariksa dan berupaya untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan kegiatan keantariksaan (Permatasari, 2019). Indonesia pun bertujuan untuk mengembangkan industri observasi satelit pada tahun 2025 untuk mendukung pembangunan nasional di berbagai sektor (Agustan et al., 2018).

Australia, aktor utama lainnya di kawasan, berupa benua tersendiri di selatan Bumi, namun berperan sebagai salah satu negara maju. Kebijakan antariksa Australia bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan negara dalam penelitian dan pengembangan antariksa, serta pengembangan kegiatan industri yang layak secara komersial berbasis teknologi antariksa (Middleton & Cory, 1989). Pentingnya kegiatan antariksa di Australia telah diakui, dan ada kebutuhan untuk melaksanakan program antariksa Australia dengan tujuan yang telah ditentukan (Schaezel, 1988). Kemampuan China dalam perkembangan di bidang antariksa, terutama kemampuan militer antariksanya mendorong pengembangan kebijakan baru terkait kemampuan antariksa Australia (Davis, 2023). Saat ini, Australia terhitung baru memiliki badan antariksa dan kebijakan antariksa nasional. Namun, hal ini tidak menghambat pendekatan badan antariksa Australian

kepada seluruh pemerintah untuk merumuskan masalah keantariksaan (Gilbert, 2009). Australia mengumumkan investasi sebesar 7 miliar dolar selama beberapa dekade berikutnya untuk meningkatkan kemampuan keantariksaan. Investasi ini merupakan bagian dari Pembaruan Strategis Pertahanan tahun 2020 dan Rencana Struktur Kekuatan tahun 2020 (Reynolds, 2020).

Kebijakan keantariksaan sebuah negara memang perlu dikaji sesuai dengan urgensi perannya pada pembangunan negara, termasuk pada masa krisis pandemi Covid-19. Tiada negara maju saat ini yang tidak berkemampuan keantariksaan tinggi sehingga dengan mengembangkan diskursus kebijakan keantariksaan dapat menemukan pembelajaran dan praktik bagi konsep pembangunan. Alih-alih menjabarkan masalah kebijakan keantariksaan *space power country*, masalah kebijakan keantariksaan di kawasan lebih relevan dalam menampilkan dinamika politik antariksa atas peran masing-masing negara, baik negara maju maupun negara berkembang.

Kawasan Asia-Pasifik menjadi panggung bagi artikulasi kebijakan keantariksaan, baik bersifat kooperatif maupun konfliktual. Di kawasan ini terdapat mayoritas *space-faring nations* dan *emerging space nations* yang berlomba mendapatkan keuntungan lebih dari keantariksaan. Salah satu aktor utama kawasan dan termasuk *space-faring nations* adalah Australia, sedangkan aktor kunci kawasan yang juga merupakan *emerging space nations* adalah Indonesia. Antariksa memiliki manfaat yang komprehensif bagi isu politik-keamanan, ekonomi, hingga bencana dan sumber daya alam. Dinamika kebijakan keantariksaan di kawasan Asia Pasifik memberikan argumen dan prediksi kebijakan keantariksaan di berbagai kawasan lain di dunia. Kebijakan keantariksaan kawasan Asia- Pasifik tidak hanya dipengaruhi faktor internal kawasan, tetapi juga faktor eksternal seperti krisis global terutama saat pandemi Covid-19. Oleh sebab itu, bab ini akan menjawab pertanyaan penting terkait kebijakan pengembangan kebijakan keantariksaan pada situasi krisis, yaitu **bagaimana pilihan teknologi dan kerja sama keantariksaan yang dikembangkan Indonesia dan Australia pada masa pandemi Covid-19?** Penjela-

sannya lebih bersifat deskriptif analitis yang didasari oleh data atau informasi terkait kebijakan keantariksaan di Asia-Pasifik pada masa pandemi Covid-19 yang kemudian dianalisis berdasarkan studi kasus di Indonesia dan Australia sehingga menjadi informasi yang digambarkan dengan jelas tanpa meluaskan kesimpulan (Sugiyono, 2013). Data ataupun informasi yang dijadikan landasan dalam argumen-argumen, dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Yang menjadi data primernya adalah undang-undang terkait keantariksaan di Indonesia dan Australia. Sementara itu, yang menjadi data sekundernya adalah berbagai referensi, baik buku, jurnal ilmiah, maupun sumber- sumber lain yang dinilai relevan. Data dan informasi yang terhimpun, selanjutnya dianalisis dengan menggunakan teori perbandingan politik khususnya pemerintah dan pembuatan kebijakan dari Gabriel Almond.

Perbandingan politik atau politik komparatif adalah bidang ilmu politik yang berfokus pada pemahaman dan penjelasan fenomena politik dalam negara atau sistem politik yang berbeda. Ini mencakup berbagai perkembangan teoritis dan pendekatan, termasuk pembangunan, teori ketergantungan, korporasi, ekonomi politik, dan pilihan rasional (Almond et al., 1974). Bidang ini telah berkembang dari waktu ke waktu, dengan pendekatan dan metode yang berbeda digunakan untuk menganalisis sistem politik (Roberts, 1972). Tidak hanya itu, perbandingan politik digunakan untuk menganalisis budaya politik, artikulasi kepentingan, agregasi kepentingan, partai politik, pemerintahan dan pembuatan kebijakan, dan kebijakan publik. Meskipun sifat perbandingan politik berubah, negara tetap berperan penting dalam studi politik dan pembangunan, bahkan di era globalisasi (Wiarda & Immerfall, 1992). Pendekatan modern untuk perbandingan politik mempertimbangkan isu liberalisasi, globalisasi, dan demokratisasi, serta membahas berbagai jenis sistem pemerintahan, termasuk demokrasi liberal, rezim otoriter, dan sistem militer (Mgonja & Kihanga, 2012). Studi perbandingan politik memberikan perspektif global dan menggunakan studi kasus untuk menggambarkan aspek kunci dari sistem politik di seluruh dunia (Calvert, 2002).

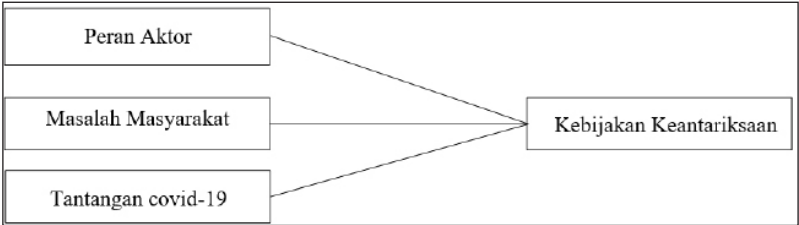
Bab ini berfokus menggunakan teori perbandingan politik dari Gabriel Almond yaitu membahas bagaimana pemerintah merumuskan dan menerapkan kebijakan untuk menangani masalah masyarakat dan memenuhi kebutuhan warga negara mereka. Lebih lanjut, secara studi kasus memahami proses pembuatan kebijakan mereka dan hasil kebijakan publik mereka. Teori ini memeriksa peran berbagai aktor, seperti kelompok kepentingan, partai politik, dan birokrasi, dalam membentuk kebijakan publik. Pembuatan kebijakan merupakan tahap kritis pada proses politik dan pemerintah berperan dengan kekuasaan dan kekurangannya (Almond et al., 1974). Setidaknya ada beberapa elemen yang harus diperhatikan dalam hal pembentukan kebijakan (Winarno, 2012) di antaranya pembentukan kebijakan sebagai proses sosial yang dinamis, dengan perubahan terjadi di tengah-tengah masyarakat. Perubahan diperlukan agar suatu institusi dapat bertahan hidup. Perubahan ini harus dilakukan untuk menjawab tantangan modern dan kompleksitas masalah yang ada di dunia saat ini.

Adapun variabel yang digunakan penulis untuk menjelaskan pengembangan ataupun perubahan kebijakan keantariksaan mencakup kebijakan keantariksaan sebagai variabel terikat dan variabel peran aktor, masalah atau kebutuhan masyarakat, tantangan Covid-19 dalam membentuk kebijakan, sebagai variabel bebas. Operasionalisasi konsepnya tergambar dalam Tabel 5.1, ditambah dengan model analisisnya pada Gambar 5.1.

Tabel 5.1 Operasionalisasi Konsep

| Teori | Variabel | Indikator |
|---------------------------------------|-------------------------|---|
| Perbandingan Politik (Gabriel Almond) | Kebijakan Keantariksaan | Pengembangan Teknologi Kean- tariksaan |
| | | Mitra Kerja sama Keantariksaan |
| | Peran Aktor | Kelompok Kepentingan |
| | | Partai Politik |
| | | Birokrasi |
| | Masalah Masyarakat | Menjaga Kesehatan |
| | | Melanjutkan Aktivitas |
| | Tantangan Covid-19 | Penularan Covid-19 |
| | | Pelarangan Kegiatan ke Luar Ru- mah atau Keramaian |

Sumber: data diolah oleh penulis dari Almond et al., (1974); Winarno (2012)



Sumber: data diolah oleh penulis dari Almond et al., (1974); Winarno (2012)

Gambar 5.1 Model Analisis

B. Indonesia, Penyelenggaraan Keantariksaan, dan Pandemi Covid-19

Indonesia, sebagai negara dengan keunikan karakteristik geografis, astronomis, dan persilangan jalur transportasi dunia, memiliki kerentanan bencana sekaligus ancaman keamanan. Kemampuan sumber daya manusia Indonesia untuk mitigasi bencana dan menghadapi tantangan ancaman keamanan sangat terbatas sehingga didukung dengan berbagai teknologi mumpuni. Indonesia berkomitmen mengembangkan teknologi antariksa yang bermanfaat untuk menangani dan mengatasi bencana, seperti pandemi Covid-19, bencana alam, dampak perubahan iklim, penyelundupan lintas batas negara, kejahatan dunia maya, dan ancaman ekonomi digital (Permatasari, 2021). Bahkan, pada pembukaan Musyawarah Nasional untuk Perdamaian di Bandung pada 25 Januari 1960, Presiden Soekarno mengatakan bahwa ada lima revolusi dunia: revolusi agama, komersial, industri, atom, dan terakhir, revolusi luar angkasa (Rundjan, 2019) atau yang saat ini secara formal disebut antariksa. Sebab itu, Indonesia telah menunjukkan minat dalam menguasai ilmu dan teknologi antariksa dan penerapannya. Pada tahun 1967 Indonesia mendirikan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) sebagai badan pemerintah yang bertanggung jawab atas penyelenggaraan keantariksaan Indonesia. LAPAN tergolong pionir badan antariksa nasional di kawasan Asia Pasifik bahkan dunia sehingga telah lama mengambil peran dalam pengembangan keantariksaan di Asia Pasifik. Indonesia aktif berkontribusi memberikan data citra satelit dan telekomunikasi khususnya saat bencana alam, pelatihan maupun manual pemanfaatan data dan teknologi antariksa, serta diseminasi keantariksaan secara terbuka. Pada tahun 2013, Indonesia mengadopsi undang-undang yang komprehensif untuk kegiatan antariksa, yang dikenal sebagai Undang-Undang No. 21 tahun 2013 tentang Keantariksaan (UU Keantariksaan), untuk mendukung kepentingan nasional dan kerangka kebijakan antariksa. Formulasi hukum antariksa nasional di Indonesia dipengaruhi oleh perkembangan bertahap hukum antariksa internasional, termasuk penerapan

prinsip-prinsip inti dan norma berdasarkan hukum keras, hukum lunak, standar internasional, praktik umum, dan praktik terbaik (Supancana, 2015).

UU Keantariksaan telah genap berusia sepuluh tahun pada 2023 sebagai rezim peraturan dan hukum keantariksaan Indonesia. UU Keantariksaan telah diturunkan dan disahkan menjadi Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 2018 tentang Pengindraan Jauh dan PP Nomor 7 Tahun 2023 tentang Penguasaan Teknologi Keantariksaan. Selain itu, juga disahkan Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan yang digunakan sebagai pedoman keantariksaan Indonesia selama tahun 2016–2040. Indonesia telah pula meratifikasi empat perjanjian internasional keantariksaan yang utama, yaitu Outer Space Treaty 1967 pada 2002, Rescue Agreement 1968 pada 1999, Liability Convention 1972 pada 1997, dan Registration Convention 1975 pada 1996. Bahkan, Indonesia aktif terlibat secara internasional pada upaya pengaturan keantariksaan, seperti mendukung dan mengimplementasikan secara sukarela Space Debris Mitigation Guidelines (Pedoman Mitigasi Sampah Antariksa) serta Guidelines for The Long-Term Sustainability of Outer Space Activities (Pedoman untuk Keberlanjutan Jangka Panjang Aktivitas Luar Angkasa). Berdasarkan rezim keantariksaan ini, Indonesia memiliki aktor keantariksaan yang terdiri dari birokrasi secara mayoritas dan kelompok kepentingan.

Aktor birokrasi terdiri dari pemerintah pusat, pemerintah daerah, instansi pemerintah, kementerian yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang riset dan teknologi, dan lembaga yang merupakan instansi pemerintah yang melaksanakan urusan pemerintahan di bidang penelitian dan pengembangan kedirgantaraan dan pemanfaatannya, serta penyelenggaraan keantariksaan. Adapun kelompok kepentingan, seperti penyelenggara keantariksaan dan asing. Penyelenggara keantariksaan adalah pihak atau subjek yang melaksanakan penyelenggaraan keantariksaan. Sementara itu, asing adalah perseorangan warga negara asing, badan usaha asing, dan/atau pemerintah asing. Lebih lanjut, penyelenggaraan keantariksaan

adalah setiap kegiatan eksplorasi dan pemanfaatan antariksa yang dilakukan, baik di dan dari Bumi, ruang udara, maupun antariksa (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan, 2013). Terkait partai politik di Indonesia belum ada yang memiliki visi dan misi terkait keantariksaan. Meskipun demikian, dalam Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) yang membahas pembuatan UU Keantariksaan terdiri dari fraksi partai politik dengan mayoritas suara di Indonesia, antara lain Fraksi PKS, Fraksi Gerindra, Fraksi PAN, Fraksi Demokrat, Fraksi Hanura, Fraksi PDIP, Fraksi PKB, Fraksi PPP, dan Fraksi Golkar. Secara khusus pembahasan mengenai antariksa berada pada komisi VII DPR dalam lingkup tugasnya terkait bidang energi, riset dan teknologi, dan lingkungan hidup. Pada saat rancangan UU Keantariksaan disetujui di komisi ini setidaknya ada tiga anggota fraksi partai politik yang menyampaikan secara lisan dukungannya, yaitu partai Hanura, partai Demokrat, dan partai Golkar (SI, 2013).

Pada masa pandemi Covid-19, isu yang paling utama dihadapi oleh masyarakat Indonesia adalah menjaga kesehatan dan melanjutkan aktivitas. Protokol kesehatan Covid-19 diterapkan oleh masyarakat untuk mencegah penyebaran virus. Kegiatan tersebut, antara lain pemakaian masker, mencuci tangan, menjaga jarak fisik, menghindari kerumunan, membatasi mobilitas, dan tidak makan bersama orang lain adalah beberapa contoh tindakan ini (Anjani et al., 2022). Namun, ditemukan pada kelompok masyarakat tertentu meskipun menggunakan masker dan mencuci tangan biasa dilakukan, jarak sosial sering dilanggar (Daniel et al., 2022). Untuk meningkatkan kepatuhan dengan protokol kesehatan, diperlukan peningkatan kepercayaan publik dan penerimaan mereka (Wirawan et al., 2022). Selain itu, teknologi seperti alat *Internet of Things* (IoT) dapat membantu dalam pengawasan dan pelaksanaan protokol kesehatan, seperti deteksi suhu tubuh dan penggunaan masker di tempat umum (Ricadat et al., 2021; Utami et al., 2021), yang secara umum bertujuan untuk melindungi orang, mengurangi penyebaran Covid-19, sekaligus tetap melanjutkan aktivitas.

Tantangan Covid-19 kurang lebih sama dengan masalah masyarakat, yaitu menghentikan penularan Covid-19 dan pelarangan kegiatan ke luar rumah atau keramaian. Hal-hal tersebut telah dilakukan oleh Indonesia, Presiden Jokowi dalam menanggapi pandemi Covid-19 menekankan pendekatan partisipatif dan responsifnya (Darry & Asri, 2022) misalnya pembentukan satuan tugas penanganan Covid-19 (Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2020, 2020). Penghentian aktivitas atau *lockdowns* di seluruh kota dan pembatasan perilaku lainnya telah menurunkan jumlah kasus infeksi (Sasaki et al., 2022). Ditambah dengan dilakukannya pengurangan pertemuan massal (Durán-Polanco & Siller, 2021). Namun, terbukti bahwa transmisi Covid-19 di luar ruangan umumnya lebih rendah ketika pemisahan sosial dipecah meskipun kepadatan pengumpulan meningkat (Sanyaolu et al., 2020). Akan tetapi, pertemuan di luar ruangan yang lebih besar dan durasi yang lebih lama meningkatkan risiko (Weed & Foad, 2020). Dimungkinkan untuk mengurangi risiko infeksi dengan memantau dan mengelola tingkat kerumunan di lokasi dalam ruangan atau titik minat (Masmoudi et al., 2021). Kendaraan udara tak berawak yang cerdas (UAV) dapat digunakan untuk memastikan kepatuhan terhadap tindakan pembatasan kesehatan dan pengawasan aktivitas di luar ruangan.

C. Australia, Penyelenggaraan Keantariksaan, dan Pandemi Covid-19

Pada pertengahan 1980-an, Australia bertujuan meningkatkan keterlibatan negara dalam penelitian dan pengembangan antariksa, serta pengembangan kegiatan industri yang layak secara komersial berdasarkan teknologi antariksa (Middleton & Cory, 1989). Meskipun demikian, pada masa itu, Australia memiliki kekurangan yaitu agensi atau badan antariksa dan kebijakan antariksa nasional (Schaezel, 1988). Terlepas dari permintaan berulang-ulang, pemerintah tidak mendirikan agensi antariksa dan membatasi investasi sipil dan komersial dalam lingkup kegiatan antariksa (Gilbert, 2009). Pada tahun 2018, Badan Antariksa Australia (ASA) akhirnya didirikan, menandai

perkembangan yang signifikan dalam pendekatan Australia terhadap antariksa (Biddington, 2021). Pembentukan agensi antariksa dapat dilihat sebagai hasil oportunistik dari berbagai peristiwa, bukan fokus yang disengaja pada antariksa itu sendiri (Lovett, 2012). Meskipun demikian, Australia telah memiliki rezim hukum keantariksaannya melalui Space Activities Act 1998 (No. 123, 1998) (*as amended, taking into account amendments up to Act No. 8 of 2010*) serta Space Activities Regulations 2001 (UNOOSA, 2024). Setelah dibentuknya ASA, peraturan dan hukum keantariksaan Australia semakin berkembang setidaknya enam peraturan dan hukum baru hingga saat ini. Melalui ASA, Australia semakin aktif terlibat dalam berbagai forum keantariksaan regional dan global. Pada tahun 2024, Australia menjadi *co-chair national space legislation initiative third phase*, meneruskan kepemimpinan *co-chair* Indonesia pada *second phase* di forum badan antariksa Kawasan Asia-Pasifik (APRSAF). Ditambah dengan Strategi Antariksa Sipil Australia 2019–2028 yang bertujuan untuk mendiversifikasi ekonomi, terhubung secara internasional, meningkatkan kemampuan Australia dalam bidang keunggulan kompetitif, menjaga infrastruktur dan kegiatan antariksa Australia aman, dan mendorong dan meningkatkan kehidupan semua orang Australia (Australian Space Agency, 2019).

Berdasarkan rezim peraturan keantariksaan Australia memetakan aktor sebagai berikut *Australian Innovator*, *Australian Space Sector*, dan *Australian Community* (Australian Space Agency, 2019), yang apabila dikategorikan masuk ke dalam birokrasi dan kelompok kepentingan. *Australian Innovator*, antara lain bisnis keantariksaan, komersial, dan pertahanan. *Australian Space Sector* terdiri dari industri, peneliti, pemerintah. Sementara itu, *Australian Community* diartikan sebagai generasi berikutnya tenaga kerja keantariksaan. Dengan demikian, birokrasi berperan sebagai *Australian Space Sector* dan kelompok kepentingan terdiri dari *Australian Innovator* dan *Australian Community*. Aktor birokrasi Australia adalah ASA, dengan tujuannya mengubah dan mengembangkan industri antariksa yang diakui secara global. Meskipun industri antariksa itu sendiri membutuhkan inves-

tasi besar untuk menjadi berkelanjutan, pemerintah memiliki peran penting sebagai mitra, penyedia, dan regulator. Peran ini melibatkan mengidentifikasi peluang internasional, mengatasi hambatan untuk partisipasi pasar antariksa, mengembangkan kewajiban internasional, dan menyediakan kerangka peraturan. Ia juga memberikan saran tentang persimpangan urusan antariksa sipil, urusan antariksa militer, kepentingan nasional, dan keamanan siber. Peran ini juga berfokus pada kesenjangan pasar, mendorong investasi komersial, mendorong pendidikan STEM, dan menciptakan kondisi pertumbuhan tenaga kerja.

Di Australia, menjaga kesehatan dan melanjutkan aktivitas masyarakat di tengah pandemi Covid-19 telah menjadi masalah. Model dan prosedur layanan kesehatan yang ada, seperti perawatan kesehatan telah terpengaruh pandemi (Newman et al., 2022). Namun, untuk menjamin perawatan yang berkelanjutan, perubahan telah dilakukan, seperti memperluas perawatan jarak jauh melalui kesehatan jarak jauh (*telehealth*) (Roxburgh et al., 2021). Hal ini telah memberikan manfaat terus-menerus dan memungkinkan orang untuk tetap terhubung dengan komunitas yang termarginalisasi. Selain itu, fasilitas kesehatan mengambil langkah-langkah untuk terus menyediakan tempat yang lebih aman dan memberikan klien akses ke layanan dan perawatan tambahan (Kiernan et al., 2021). Selama pandemi, kegiatan kreatif artistik juga membantu mengatur emosi dan mendukung kesehatan mental dan kesejahteraan (Galletly, 2020). Selain itu, kerangka kerja praktis telah dibuat untuk membantu pekerja yang bekerja jarak jauh mempertahankan produktivitas dan koneksi sosial (Phillips et al., 2020).

Australia telah mengambil berbagai tindakan untuk menghentikan tantangan penyebaran Covid-19, termasuk pengujian, pengawasan kontak, pemisahan sosial, dan larangan berkumpul (Fotheringham et al., 2021). Mereka telah mengambil tindakan untuk mencegah penyebaran virus di tingkat lokal dan internasional, terutama dari wisatawan yang baru kembali (Chang et al., 2020). Selain tindakan ini, pemerintah Australia juga telah memberlakukan karantina 14

hari yang wajib untuk semua wisatawan yang kembali melalui udara atau laut (Chang et al., 2020). Layanan akomodasi karantina kesehatan khusus, seperti Akomodasi Kesehatan Khusus, sangat penting untuk manajemen karantina (Beck & Hensher, 2020). Pemodelan berbasis agen melalui IoT telah menunjukkan bahwa isolasi kasus yang efektif dan pembatasan perjalanan internasional dapat mengendalikan penyakit dalam waktu 13–14 minggu (Adekunle et al., 2020). Penetapan larangan perjalanan mengurangi masuknya Covid-19 dan memperlambat wabah tersebut di Australia. Namun, untuk mencegah penyebaran virus lebih lanjut, kontrol domestik harus diperkuat.

D. Kebijakan Keantariksaan Indonesia dan Australia

Pemerintah Indonesia dan Australia masing-masing membentuk kebijakan keantariksaan untuk menangani masalah masyarakat dalam menjaga kesehatan dan melanjutkan aktivitas, ditengah tantangan Covid-19 yang perlu penanganan terhadap penularan Covid-19 dan pelarangan kegiatan ke luar rumah atau keramaian. Kebijakan tersebut dipengaruhi oleh peranan berbagai aktor yang terbagi menjadi tiga, yaitu birokrasi, kelompok kepentingan, dan partai politik. Meskipun pada kebijakan keantariksaan masih terbatas pada aktor birokrasi dan kelompok kepentingan. Partai politik belum memberikan perhatian lebih pada sektor ini, melainkan mengenal dan mendukungnya saat pembuatan legislasi nasional keantariksaan. Kebijakan keantariksaan ini dapat berbentuk pengembangan teknologi keantariksaan dan perluasan mitra kerja sama keantariksaan. Kebijakan keantariksaan ini salah satu isu signifikan dalam proses politik, terutama mengetahui peran pemerintah dalam menjawab tantangan dunia yaitu saat pandemi Covid-19.

Antariksa merupakan ruang beserta isinya yang terdapat di luar Ruang Udara yang mengelilingi dan melingkupi Ruang Udara serta merupakan ciptaan Tuhan Yang Maha Esa yang dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 (UU Nomor 21, 2013). Kebijakan keantariksaan tidak tertutup hanya

mengenai antariksa, tetapi kebijakan keantariksaan mengacu pada prinsip-prinsip, tujuan, dan pedoman yang mengatur kegiatan, program antariksa, dan pemanfaatan teknologi serta aplikasi antariksa. Hal ini penting untuk memahami sifat dan evolusi antariksa yang diupayakan, baik secara nasional maupun internasional. Kebijakan antariksa memainkan peran penting dalam membentuk masa depan kegiatan dan perilaku manusia di antariksa (Lahcen & Andrijasevic, 2021) dan di Bumi dalam penggunaan dan eksplorasi antariksa. Kebijakan keantariksaan bersifat multidisiplin yang mencakup berbagai aspek, seperti kemitraan internasional, keamanan, ekonomi politik, dan pengaruh. Penelitian dan pengembangan kebijakan keantariksaan sedang berlangsung, dengan ruang untuk pengembangan lebih lanjut dalam hal sumber data, metode penelitian, dan topik substantif penyelidikan (Offiong & Munsami, 2018). Dengan demikian, secara teoretis bab ini mengarah pengembangan substantif kebijakan keantariksaan terutama pada masa krisis pandemi Covid-19.

Kebijakan keantariksaan Indonesia dibentuk oleh peranan aktor birokrasi, yaitu pemerintah pusat, pemerintah daerah, menteri urusan pemerintahan di bidang riset dan teknologi, dan lembaga urusan pemerintahan di bidang penelitian dan pengembangan kedirgantaraan dan pemanfaatannya, serta penyelenggaraan keantariksaan. Peranan aktor birokrasi tersebut dipengaruhi juga oleh peranan aktor kelompok kepentingan, yaitu penyelenggara keantariksaan dan asing. Beberapa kebijakan keantariksaan dibuat untuk menjawab masalah masyarakat dalam menjaga kesehatan dan melanjutkan aktivitas di tengah tantangan penularan Covid-19 dan pelarangan kegiatan ke luar rumah atau keramaian. Kebijakan tersebut, di antaranya para ahli LAPAN (saat ini Badan Riset dan Inovasi Nasional/BRIN) mengembangkan LAPAN Hub Covid-19 yang mengintegrasikan data berbasis satelit, geospasial, dan statistik melalui antarmuka ramah pengguna yang dirancang untuk membantu pengambil keputusan mengidentifikasi area berisiko tinggi. Data risiko ini disampaikan kepada pemerintah dan masyarakat dengan cepat, waktu aktual, dan terus menerus melalui aplikasi yang andal. Di dalam LAPAN

Hub Covid-19 banyak jenis data dipetakan untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang berisiko tinggi terkena Covid-19. Hal ini juga dapat membantu mengidentifikasi bahwa kesenjangan mendasar yang memperburuk tantangan yang ditimbulkan oleh covid-19. Untuk lebih membantu mengomunikasikan pendekatan inovatif ini, sebuah cerita bergambar dikembangkan: Bagaimana Penerapan Teknologi Antariksa Berkontribusi dalam Memerangi Covid-19: Pengembangan LAPAN Hub Covid-19. Lebih lanjut, Indonesia berbagi pengalaman dan metodologi dengan mitra di negara lain, para ahli di LAPAN bekerja sama dengan *The United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP)*, untuk bersama-sama mengembangkan manual dan menyampaikan lokakarya dan pelatihan kepada peserta di berbagai sektor di Asia dan Pasifik. Praktik seperti ini mendukung implementasi Rencana Aksi Asia-Pasifik mengenai Penggunaan Antariksa untuk Pembangunan Berkelanjutan (2018–2030).

Sementara itu, Australia membentuk kebijakan keantariksaan melalui peranan aktor birokrasi yaitu Badan Antariksa Australia sebagai *Australian Space Sector* dengan peranan utama untuk mencapai tujuan keantariksaan Australia. Peranan aktor birokrasi ini juga dipengaruhi oleh peranan aktor kelompok kepentingan yaitu *Australian Space Innovator* dan *Australian Space Community*. Beberapa kebijakan keantariksaan dibuat untuk menjawab masalah masyarakat dalam menjaga kesehatan dan melanjutkan aktivitas di tengah tantangan penularan Covid-19 dan pelarangan kegiatan ke luar rumah atau keramaian. Kebijakan tersebut tetap berfokus pada industri keantariksaan dalam menghadapi pandemi Covid-19 sehingga memilih penggunaan teknologi berbasis antariksa negara lain daripada mengembangkannya sendiri. Kebijakan keantariksaan Australia di antaranya menggunakan pencitraan satelit dari *Maxar Technologies* untuk memantau keramaian dan mengidentifikasi, serta menjejakkan fasilitas kesehatan; menggunakan observasi Bumi dari *European Space Agency (ESA)* untuk mengawasi polusi udara; menggunakan teknologi posisi dan navigasi berbasis satelit dari *global positioning system (GPS)* untuk

transportasi dan pengiriman obat-obatan; menggunakan internet satelit untuk terhubung dengan keluarga, pekerjaan, pendidikan dalam masa menjaga jarak.

Australia sebagai salah satu Sekutu Amerika Serikat (negara adi daya keantariksaan) di kawasan Asia Pasifik dan bertetangga dekat dengan Indonesia. Kebijakan keantariksaan Australia telah berevolusi dari waktu ke waktu. Secara historis, Australia memprioritaskan keterlibatan antariksa untuk alasan keamanan nasional, bergantung pada kemitraan internasional (Biddington, 2021). Namun, dalam beberapa tahun terakhir, telah ada pergeseran ke arah peningkatan investasi di industri antariksa Australia, kekuatan militer antariksa, dan keterlibatan internasional (Hestermann-Crane, 2023). Pembentukan Badan Antariksa Australia pada tahun 2018 menandai perkembangan yang signifikan dalam pendekatan Australia terhadap antariksa (Gilbert, 2009). Fokus pemerintah pada antariksa telah didorong oleh kombinasi geografi strategis dan kekhawatiran keamanan nasional (Dowse et al., 2022). Kekurangan Badan Antariksa Australia dan kebijakan antariksa nasional pada masa lalu telah diidentifikasi sebagai masalah (Middleton & Cory, 1989). Prioritas saat ini untuk program antariksa Australia meliputi komunikasi berbasis satelit, penginderaan jauh, dukungan darat pesawat antariksa, dan penelitian ilmiah yang mendukung pengembangan industri antariksa. Pemerintah juga mempertimbangkan prospek perang antariksa dan kebutuhan untuk melindungi ekuitas Australia di domain antariksa. Mengembangkan kerangka normatif yang lebih kuat dianggap penting untuk konservasi dan pertumbuhan kemampuan antariksa Australia pada masa depan. Oleh karena itu, kebijakan antariksa Australia dipengaruhi oleh kepentingan strategis dan kebutuhan untuk memperkuat keamanan nasional.

E. Penutup

Kebijakan keantariksaan pada masa pandemi Covid-19 memberikan pola kebijakan krisis yang dapat menjadi terobosan dalam membuat, mengimplementasi, dan mengevaluasi kebijakan keantariksaan.

Langkah terobosan juga didapatkan dari perbandingan studi kasus kebijakan keantariksaan negara berkembang dengan negara maju, dalam bab ini masing-masing diwakili Indonesia dan Australia. Negara maju lebih menguasai keantariksaan terutama teknologi dan komersialisasi. Dua hal utama tersebut yang menjadi inti keantariksaan. Negara berkembang masih mengalami kesulitan akses terhadap hal tersebut dikarenakan karakteristik teknologi keantariksaan yang berisiko tinggi, berteknologi canggih, berbiaya mahal, dan bersifat politis strategis. Ditambah standar teknologi global yang tinggi mempersulit negara berkembang untuk masuk dalam rantai pasok global pasar keantariksaan.

Penelitian ini menemukan bahwa kebijakan keantariksaan dibentuk dari peranan aktor yang didominasi birokrasi dan dipengaruhi kelompok kepentingan. Dengan demikian, kebijakan keantariksaan memodifikasi teori perbandingan politik khususnya pemerintah dan pembuatan kebijakan dari Gabriel Almond yang menyebutkan bahwa peranan aktor terbagi menjadi tiga, yaitu birokrasi, partai politik, dan kelompok kepentingan. Meskipun demikian, terbukti bahwa kebijakan keantariksaan untuk mengatasi masalah masyarakat termasuk menghadapi tantangan pandemi Covid-19. Kebijakan keantariksaan Indonesia tersebut didominasi oleh birokrasi melalui pengembangan teknologi dan aplikasi antariksa. Dengan kata lain, Indonesia bersifat aktif memanfaatkan dan mengembangkan kemampuan dalam negeri. Sebaliknya, kebijakan keantariksaan Australia didominasi oleh kelompok kepentingan melalui kemitraan dan kerja sama keantariksaan, khususnya dengan negara sekutu, hal ini sesuai dengan strategi kebijakan keantariksaan Australia 2019–2028. Dengan demikian, Australia tetap berfokus pada industrialisasi antariksanya dan bersifat responsif memperluas kerja sama internasional dalam menghadapi krisis Covid-19. Namun, cerita sukses implementasi kebijakan keantariksaan ini menjadi perlu digarisbawahi karena pemanfaatan teknologi dan aplikasi antariksa semakin menghadapi tantangan besar terutama akses, keselamatan, keamanan dan keberlanjutan keantariksaan. Apalagi antariksa telah menjadi semakin padat dan

diperebutkan, ditambah dengan meningkatnya aktor keantariksaan, baik birokrasi maupun kelompok kepentingan.

Referensi

- Abdurrasyid, H. P. (2001). The application of remote sensing in Indonesia. *Singapore Journal of International & Comparative Law*, 5(1), 139–148. https://uindonesia.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwtV1LS8NAEB5svfQiPvHNnryUlm5eTQ4i1VpaEZG0Kj2FbduUBU0LSRH_vbPdtNnWiw8ksIQ9bDL5JpOZYX4zAKZRB9RWbILl4OFyywmb6DFTFlmhby8s3hgzzxOopBL7d97wsel33Zu8652kxhST_4o8ziH2kkn7A_QXi-IEenqMO4lhagOO39UD7Sy2dw4QjPryayr3ritHSkz09eCqY7qv2ZbdsdM_5anmJIoMo9SbU6oe_aCnx6n0iPlgWs2rrsv3g-63-sNdeSjJQLcmgbJEhuU52w9UNp_1FP5QRpKo8Uf49paqS5nKp65VP0GJj4Az3QG6ODVThWJEFk2QcoH0PMFwxTeoEbCzSt0z2z0QrbxtNusbXZxFm5zyuTdMSlExql2G92-sPn4rg21GkrbkgSxUTZs7EYBM28iiAtBRcW7DG420o3bL3HagjYEQDjEwiogAjOWBExGQB2C50OteDq25tJkR-07-Qz9yDcoxL7gOhkgbddL3lwSA3MtyRaXLDcWnoRBzfK-MALv54scM_r3AEIUKBjqGcJVN-ApWpmD-X0xyZT6qoVxY
- Adekunle, A., Meehan, M., Rojas-Alvarez, D., Trauer, J., & McBryde, E. (2020). Delaying the COVID-19 epidemic in Australia: evaluating the effectiveness of international travel bans. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 44(4), 257–259.
- Agustan, Sadly, M., Yulianto, S., Sutrisno, D., Bintoro, O. B., & Alhasanah, F. (2018). Participatory Scenario Planning for Indonesian Space Industry in 2025. *ICARES 2018 - Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology*, 5, 110–115. <https://doi.org/10.1109/ICARES.2018.8547123>
- Almond, G. A., Powell, G. B., Strom, K., & Dalton, R. J. (1974). *Comparative politics today: A world view*. Little, Brown.
- Anjani, S., Kadiyono, A., & Fikri, A. (2022). The single and joint effects of health protocol intervention policies and collectivism on people activities during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Health Sciences*. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS7.12716>
- Australian Space Agency. (2019). *Advancing Space Australian Civil Space Strategy*. <https://www.space.gov.au>

- Beck, M. J., & Hensher, D. A. (2020). Insights into the impact of COVID-19 on household travel and activities in Australia—The early days under restrictions. *Transport Policy*, 96, 76–93.
- Biddington, B. (2021). Is Australia Really Lost in Space? *Space Policy*, 57, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2021.101431>
- Calvert, P. (2002). *Comparative Politics: An Introduction*. Pearson Education.
- Chang, S. L., Harding, N., Zachreson, C., Cliff, O. M., & Prokopenko, M. (2020). Modelling transmission and control of the COVID-19 pandemic in Australia. *Nature Communications*, 11(1), 5710.
- Chen, C., & Cook, A. D. B. (2020). *Humanitarian Assistance in the Asia-Pacific during COVID-19*. S. Rajaratnam School of International Studies. <http://www.jstor.org/stable/resrep26879>
- Crosby, N. B. (2012). Effects and Benefits of Space Exploration. *International Journal of Space Technology Management and Innovation*, 2(1), 49–62. <https://doi.org/10.4018/IJSTMI.2012010104>:
- Daniel, D., Kurniawan, A., Indah Pinawati, A. R., Thohira, M. C., & Annaduzzaman, M. (2022). The COVID-19 Health Protocol among University Students: Case Studies in Three Cities in Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10630. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710630>
- Darry, M., & Asri, D. (2022). Problematika netralitas Polri di era Jokowi: Keterlibatan dalam politik praktis dan bisnis. *Jurnal Politik Indonesia*, 8(1).
- Davis, M. (2023). China's Space Policy: An Australian Perspective. *East Asian Policy*, 15(01), 74–89. <https://doi.org/10.1142/S1793930523000065>
- Detsis, B., & Detsis, E. (2013). The benefits brought by space—General public versus space agencies perspectives. *Acta Astronautica*, 88, 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.03.021>
- Dobbs-Higginson, M. S. (1993). *Asia Pacific: Its Role in the New World Disorder*. Longman.
- Dowse, A., Blake, D., & O'Sullivan, E. (2022). An Australian Approach to Space Warfare. *Astropolitics*, 20(2–3), 192–213. <https://doi.org/10.1080/14777622.2022.2143633>
- Doyle, S. E. (1989). Benefits to society from space exploration and use. *Acta Astronautica*, 19(9), 749–754. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0094-5765\(89\)90146-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0094-5765(89)90146-X)

- Durán-Polanco, L., & Siller, M. (2021). Crowd management COVID-19. *Annual Reviews in Control*, 52, 465–478.
- Fotheringham, P., Anderson, T., Shaw, M., Jewitt, J., Storey, H., Hutchings, O., Cartwright, J., & Gupta, L. (2021). Control of COVID-19 in Australia through quarantine: the role of special health accommodation (SHA) in New South Wales, Australia. *BMC Public Health*, 21, 1–8.
- Galletly, C. (2020). Psychiatry in the COVID-19 Era. In *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry* (Vol. 54, Issue 5, pp. 447–448). SAGE Publications Sage UK: London, England.
- Gilbert, J.-A. (2009). “We can lick gravity, but...”: What trajectory for space in Australia? *Space Policy*, 25(3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2009.06.001>
- Hestermann-Crane, A. (2023). An overview of Australian space power, from desert rockets to new beginnings. *Australian Perspectives on Global Air and Space Power*, 170–188.
- Huang, X. (2009). *Politics in Pacific Asia : an introduction* . Palgrave Macmillan.
- Jiemian, Y. (1999). Moving Toward a More Secure Asia-Pacific: A Chinese View. In R. G. Patman (Ed.), *Security in a Post-Cold War World* (pp. 228–246). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/9780230377059_13
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2020 (2020).
- Kiernan, F., Chmiel, A., Garrido, S., Hickey, M., & Davidson, J. W. (2021). The role of artistic creative activities in navigating the COVID-19 pandemic in Australia. *Frontiers in Psychology*, 12, 696202.
- Lahcen, A., & Andrijasevic, D. (2021). Space Policy: Understanding Space Activities, Motivations and Programs. In *Research Anthology on Reliability and Safety in Aviation Systems, Spacecraft, and Air Transport* (pp. 28–63). IGI Global.
- Logsdon, J. M. (2001). The often uncounted payoffs from space. *Space Policy*, 17(1), 5–6. [https://doi.org/10.1016/S0265-9646\(00\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0265-9646(00)00048-5)
- Lovett, D. J. (2012). *SPACEPOWER FOR AUSTRALIA’S SECURITY-GRAND STRATEGY OR STRATEGY OF GRANDEUR? SCHOOL OF ADVANCED AIR AND SPACE STUDIES AIR UNIVERSITY.*
- Masmoudi, N., Jaafar, W., Cherif, S., Abderrazak, J. Ben, & Yanikomeroğlu, H. (2021). UAV-based crowd surveillance in post COVID-19 era. *Ieee Access*, 9, 162276–162290.

- Mateos, P. A., Balboa, R. F., Eastal, S., Eyra, E., & Patel, H. R. (2020). PACIFIC: A lightweight deep-learning classifier of SARS-CoV-2 and co-infecting RNA viruses. In *bioRxiv*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. <https://doi.org/10.1101/2020.07.24.219097>
- McDougall, D., & Glosserman, B. (2007). Asia Pacific in world politics. In *Contemporary Security Policy* (Vol. 28, Issue 2, pp. 413–415). <https://uindonesia.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/>

Bab VI

Analisis Teoretis Model Integrasi Keantariksaan Indonesia di Kawasan Asia Tenggara

Ade Meirizal

A. Teknologi Antariksa dan *Branding* Negara

Bab ini mengarah pada penggambaran alternatif model integrasi antariksa Indonesia yang dapat direkomendasikan dengan negara mitra di kawasan. Peran Indonesia sebagai inisiator dalam pembentukan organisasi antariksa independen di kawasan Asia Tenggara tidak terlepas dari *pride* dan *identity*. Dalam catatan sejarah, Indonesia telah lebih dulu memulai ketertarikannya pada antariksa dari negara-negara di Asia Tenggara. *Pride* dan *identity* ini menjadi penting jika kita melihat dari perspektif kedaulatan dan relasi dengan antariksa. Gleason (2013) dalam bukunya berjudul *Space, Pride, and Identity*, mengatakan bahwa peran suatu negara yang menunjukkan kapabilitas dan kapasitasnya dalam bidang keantariksaan akan meningkatkan

A. Meirizal

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: 2115126@uii.ac.id

© 2025 Editor & Penulis

Meirizal, A. (2025). Analisis Teoretis Model Integrasi Keantariksaan Indonesia di Kawasan Asia Tenggara. Dalam T. Djameluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(147–169). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1500, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

citra negara sebagai negara yang mampu, otonomi, dan maju. Hal ini disebabkan oleh *sense of pride* yang timbul dari masyarakat karena negaranya dianggap memiliki kapasitas dalam memenuhi elemen dari *pride* yang berhubungan dengan kebutuhan dan kepentingan masyarakat di dalam suatu negara. Kemudian *pride* dapat dipenuhi dalam jangka waktu panjang dan merambah pada kepentingan-kepentingan masyarakat. Kemampuan Indonesia dalam membentuk organisasi antariksa yang independen akan menjadi simbol dan gestur politik tidak hanya di kawasan melainkan juga di dunia. Kedua hal ini bisa menjadi *focal point* dalam membentuk identitas Indonesia yang menaruh perhatian lama pada sektor antariksa.

Dalam catatan sejarah, Indonesia telah menaruh kepentingannya pada antariksa sedari tahun 1963, yang ditandai dengan upaya Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) melakukan berbagai penelitian dan pembangunan teknologi satelit dan roket (Supancana, 2022). Di sisi lain, upaya ini juga didukung dengan berbagai peraturan negara dan UU dalam isu antariksa seperti Dekrit Presiden nomor 236 pada tanggal 27 November 1963. Pada awal era antariksa terjadi, Indonesia telah melakukan proyek penelitian pertamanya bernama Pengembangan Roket Ilmiah dan Militer Awal (PRIMA) dan menghasilkan roket Kartika I. Setelah keberhasilan Kartika 1, pengembangan teknologi roket pada era awal berlanjut pada Project S-1 dengan bekerja sama dengan Universitas Tokyo (Supancana, 2022). Dua tahun setelahnya, pada tahun 1965 Kappa 8 *rocket series* berhasil diluncurkan melalui Cilauteureun yang berdekatan dengan Pameungpeuk, Jawa Barat. Misi ini menjadi penting karena Kappa 8 diluncurkan langsung dari Indonesia tanpa menggunakan *launch site* negara lain sekaligus membawa data saintifik yang dikontribusikan pada International Quite Sun Year (IQSY) pada tahun yang sama (Supancana, 2022, 21). Pencapaian terbesar Indonesia dalam bidang antariksa ditandai dengan keberhasilan peluncuran Palapa A1 pada tahun 1976, yang kemudian diikuti berbagai peluncuran seri Palapa lain setelahnya (Is it Time, 2023).

Peran Indonesia menjadi sangat vital dalam pertumbuhan teknologi antariksa di kawasan Asia Tenggara. Dari aspek geografi, Indonesia berada pada garis khatulistiwa sekaligus negara kepulauan. Kedua aspek ini menjadi faktor penting terkait dengan kegiatan antariksa. Setiap satelit yang diluncurkan ke antariksa akan berada pada *Geosynchronous Equatorial Orbit* (GEO), yang merupakan garis edar terbaik untuk operasi satelit. Sementara itu, status negara kepulauan menjadi faktor pendukung dalam peluncuran roket, dikarenakan alasan keamanan bagi masyarakat sipil jika peluncuran roket dilakukan. Di samping dua hal tersebut, peran Indonesia menjadi vital karena pencapaian penelitian dan pengembangan teknologi Indonesia terus berproses. Berbagai pencapaian dalam bidang keantariksaan Indonesia dapat kita lihat dari upaya LAPAN dalam menjalankan kebijakan pengembangan Bank Data Pengindraan Jauh Nasional (BDPJN), pengembangan Sistem Pemantau Bumi Nasional (SPBN), pengembangan teknologi satelit, aeronautika, sistem pendukung keputusan dinamika atmosfer Ekuator dan cuaca antariksa. Dalam pengembangan roket, LAPAN telah mengembangkan roket sonda dua tingkat bekerja sama dengan China, teknologi satelit konstelasi komunikasi orbit rendah, dan pengindraan jauh (LAPAN RI). Berbagai pencapaian dan keikutsertaan Indonesia dalam kegiatan antariksa selama ini bisa menjadi sumber daya yang penting pada masa depan, terlebih dalam membangun kerja sama regional.

Pembangunan antariksa memiliki banyak tantangan, mulai dari keterbatasan sumber daya manusia, material, ilmu pengetahuan, hingga infrastruktur. Berbagai negara memilih untuk bekerja sama karena teknologi antariksa yang mahal. Sementara itu, yang lain terkait urgensi dan kepentingan negara masing-masing. Berbagai tantangan ini bisa diminimalisasi dengan berbagai pendekatan dan strategi dalam merespons hambatan. Dalam studi ilmu politik dan hubungan internasional, menurut hemat penulis, kerja sama antariksa bisa diobservasi dengan berbagai konsep ataupun teori. Beberapa pendekatan tersebut, seperti progresivisme, *self-sufficiency*, teori organisasi, atau sekuritisasi. Namun dalam tulisan ini, penulis memfokuskan pada

pembahasan model integrasi berpola liberal intergovernmentalisme (LI), di mana teori ini merupakan salah satu teori arus utama dalam diskusi berbagai integrasi di kawasan, seperti di Uni Eropa (UE). Dalam menganalisis rekomendasi model integrasi kerja sama antariksa Indonesia terhadap negara-negara Asia Tenggara, tulisan ini akan berfokus pada tiga dalil (postulates) yang menjadi pembentuk dari pola kerja sama, yakni *national preferences*, *substantive bargaining*, dan *institutional choice* (Moravcsik, 1995), yang berkorelasi dengan daya saing dan kompetensi sektor antariksa ke masa depan. Dari ketiga dalil ini penulis meyakini bisa memberikan gambaran kebijakan dan model kerja sama yang relevan dengan kepentingan Indonesia secara khusus, dan kepentingan negara-negara di kawasan Asia Tenggara secara umum pada aspek antariksa.

B. Urgensi dan Kondisi Faktual

Ketergantungan terhadap teknologi antariksa di Asia Tenggara semakin meningkat (Rafikasari, 2020). Aspek ini tidak hanya tentang kebutuhan komunikasi, finansial, banking, ataupun transportasi. Melainkan juga hal-hal yang mencakup agrikultur, perlindungan lingkungan, perubahan cuaca, dan sumber makanan. Teknologi antariksa semakin hari semakin mampu memenuhi tuntutan manusia di Bumi. Sebagai contoh, program Copernicus yang diluncurkan oleh UE memberikan layanan dan sumber data terkait kondisi hutan, kesuburan tanah, perubahan iklim, dan perubahan topografi berbagai wilayah (Copernicus, t.t.a.). Di sisi lain, program *Surface Water and Ocean Topography*, atau lebih dikenal dengan SWOT, yang diluncurkan oleh *National Aeronautics and Space Agency* (NASA) mampu memetakan perubahan dan ancaman pinggir pantai dan perubahan topografi samudra di dunia (NASA, t.t.). Beberapa satelit mampu memberikan data terkait pergerakan ikan di laut yang bisa membantu nelayan dalam menangkap ikan (Copernicus, t.t.b.). Sebagai salah satu negara yang rentan terhadap bencana alam, Indonesia dapat menggunakan teknologi antariksa dalam langkah preventif terkait bencana alam dan kerusakan lingkungan yang kerap terjadi. Dengan demikian akan

membantu para pemangku kebijakan dalam merumuskan kebijakan yang efektif dan efisien.

Sayangnya beberapa hambatan membuat sektor antariksa Indonesia tidak berkembang signifikan. Ada beberapa alasan yang menyebabkan ini terjadi, salah satunya adalah pendanaan negara (*budgetary*). Dalam rancangan anggaran tahun 2019 hingga 2023, dana riset dan pengembangan selalu menurun, dari 28 triliun di tahun 2018, menjadi 10 triliun di tahun 2023, dan BRIN hanya memiliki 6,4 triliun dana yang bisa digunakan (DPR, 2023). Ini menandakan bahwa pengembangan teknologi antariksa tidak menjadi prioritas pemerintah Indonesia dalam beberapa tahun ke depan. Sebagaimana kita tahu, sektor antariksa memerlukan ongkos (*cost*) yang mahal, terutama pada proses pengembangan dan penelitian. Seperti *domino effect*, pendanaan yang tidak cukup berpengaruh pada berbagai level pembangunan, seperti proyek besar Indonesia untuk pembangunan bandar antariksa di Biak, uji coba roket buatan dalam negeri, pengembangan satelit, pemutakhiran teknologi, hingga situs peluncuran yang sering digunakan untuk misi antariksa. Setiap elemen ini memberikan dampak pada proses pembangunan sektor antariksa di Indonesia.

1. Restrukturisasi LAPAN Menjadi BRIN

Alasan lain yang cukup menarik perhatian dalam proses pembangunan antariksa di Indonesia, setidaknya dalam studi integrasi adalah restrukturisasi LAPAN yang kemudian berada pada payung besar BRIN. Jika dilihat dari polanya, perpindahan posisi LAPAN ke dalam payung besar BRIN merupakan model integrasi vertikal karena distribusi wewenang berpindah ke entitas yang lebih tinggi. Walaupun LAPAN masih memiliki otoritas dalam menjalankan programnya, namun hal lain, seperti pendanaan, order, dan *permission* bertaut pada keputusan BRIN. Jika kita melakukan sedikit pembandingan dengan entitas antariksa negara lain, ada perbedaan yang sangat jelas. Sebagai contoh, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) atau Korea Aerospace Research Institute (KARI) berdiri secara independen tanpa berpayung dengan organisasi lain atau di atasnya. Dalam sisi integrasi

dan progresivitas organisasi, kedua lembaga ini memiliki otoritas mandiri dan efektif. Beberapa alasan mengapa lembaga independen dan otonom dianggap efektif dalam menjalankan programnya akan dibahas dalam sub-bab terakhir tulisan ini.

2. Keterbatasan SCOSA

Dalam tingkat regional, keanggotaan Indonesia pada SCOSA menjadi simbol dari kepentingan Indonesia pada sektor ini. Namun, beberapa keterbatasan entitas ini menjadi *barrier* upaya Indonesia dalam akselerasi pengembangan teknologi antariksa di kawasan. Pembentukan lembaga khusus di bawah organisasi ASEAN ini menjadi salah satu upaya yang dilakukan Indonesia dan negara anggota lainnya dalam proses institusionalisasi sektor antariksa, namun hambatan dalam pembentukan kerja sama yang efektif masih memiliki berbagai catatan. Kegiatan antariksa Indonesia dan negara anggota lainnya berada dalam payung Sub-Committee on Space Technology and Applications (SCOSA), dan entitas ini merupakan bagian dari komite teknologi dan ilmu pengetahuan yang dimiliki ASEAN bernama COST (asean.org). Sayangnya, SCOSA bukan merupakan lembaga independen melainkan sub komite yang menangani sektor antariksa di bawah COST. Fokus SCOSA terkait isu pengembangan satelit, geoinformasi, dan aplikasi teknologi antariksa (Economic Community, t.t). Sementara itu, COST sebagai lembaga yang mengepalai SCOSA memiliki *multi-purposes* di luar isu-isu antariksa yang berakibat pada progresivitas pembangunan teknologi antariksa di kawasan.

Dalam kebijakan SCOSA, setiap negara anggota ASEAN bisa menjadi anggota SCOSA dan mewakili negaranya, namun dalam sisi pendanaan bersifat opsional. Artinya negara-negara yang tidak ingin memberikan sumbangan terkait penelitian dan pengembangan teknologi antariksa diperbolehkan. Hal ini berpengaruh pada proses pertumbuhan teknologi antariksa yang mandiri di kawasan ini. Sebagai sub-komite, SCOSA memiliki keterbatasan dalam hal manajerial. Dalam studi manajemen, sub-komite sangat dekat dengan keraguan (*indecisiveness*), yang berpengaruh pada kualitas keputusan

yang tidak jelas, bisa saja dipengaruhi oleh entitas yang lebih tinggi dari lembaga tersebut. Selain itu, sub-komite memiliki isu terkait biaya yang mahal, kerap didominasi oleh beberapa orang atau kelompok, dan tidak ada pihak-pihak yang bertanggung jawab untuk mengurus dan *maintaining* keputusan yang sudah diambil (Meirizal & Putri, 2022). Imbasnya adalah pada pembangunan sektor yang menjadi ranah organisasi tersebut, dalam hal ini adalah sektor antariksa.

3. Pentingnya Integrasi

Perbedaan kepentingan dan tujuan negara anggota ASEAN pada sektor antariksa bisa menjadi penghalang dalam mencapai kesepakatan kerja sama yang secara otomatis melahirkan *conflict of interest*. Indonesia dan Vietnam yang telah lama menaruh perhatian pada antariksa memiliki ambisi sebagai *spacefaring* di level internasional. Salah satu hal yang memperkuatnya adalah peluncuran pertama satelit di kawasan mendahului Jepang dan India (Verspieren et al., 2022). Sementara itu, Vietnam merupakan salah satu negara yang terlibat dalam peluncuran misi Soyuz-37 dengan memberangkatkan kosmonot pertamanya (Verspieren & Coral, 2022). Singapura memiliki ketertarikan pada pengembangan ilmu pengetahuan dan pendidikan dalam sektor antariksa, sedangkan Myanmar, Laos, dan Kamboja hanya memiliki sedikit ketertarikan pada sektor ini. Sementara itu, Thailand dan Malaysia memiliki ambisi menjadi negara dengan kekuatan antariksa di kawasan yang sekarang mulai membangun kerja sama bilateral dengan negara *spacefaring* di luar kawasan.

Studi model integrasi, atau integrasi internasional dilakukan untuk melihat berbagai variasi kerja sama yang efektif dan ideal bagi negara di dunia. Tujuan pembentukan integrasi adalah untuk menghilangkan hambatan dan mereduksi konflik yang bisa terjadi selama kerja sama antarnegara berlangsung (Tanil, 2012). Integrasi dalam studi hubungan internasional bervariasi, mulai dari integrasi ekonomi, politik, budaya, militer, hingga integrasi sosial (Integration in International, 2022). Di ASEAN sendiri, sudah banyak integrasi yang dibentuk, termasuk integrasi ekonomi dan perdagangan, yang

bertujuan untuk meningkatkan kompetensi kawasan, stabilitas, dan kompetisi yang adil (Structure, 2024). Dengan ini kita paham bahwa untuk membentuk integrasi di kawasan Asia Tenggara tidak sulit karena setiap negara di ASEAN sudah terbiasa dengan proses tersebut. Di sisi lain, pembentukan integrasi dapat berpengaruh pada stimulasi semangat kawasan, yang menurut hemat penulis, susah ditemukan dalam kerja sama antariksa. Hal ini disebabkan orientasi masing-masing negara ASEAN dalam kerja sama bilateral dapat memilih *spacefaring* dari negara mitra di kawasan.

Alasan lain mengapa integrasi antariksa menjadi penting di Asia Tenggara karena fakta terkait *imbalancing of power* pada sektor antariksa. Power yang dimaksud adalah kemampuan mencakup kapabilitas, kapasitas, dan keinginan negara-negara di Asia Tenggara terhadap teknologi antariksa. Sebagaimana kita tahu, negara-negara Asia Tenggara memiliki orientasi berbeda-beda dengan pola bilateral berbeda pula. Beberapa di antaranya memprioritaskan sektor antariksanya dalam *grand strategy*-nya, sedangkan yang lain tidak menunjukkan ketertarikan. Integrasi hadir menjadi akselerator dalam menyeimbangkan kemampuan dalam sektor antariksa. Integrasi menjadi anchor dalam mengajak negara-negara yang tidak memiliki ketertarikan terhadap antariksa untuk berproses dengan kerja sama antarnegara di kawasan. Hal ini secara otomatis akan membentuk penyeimbangan kapasitas antariksa dalam relasi *demand-supply side*, yang akan dibahas lebih dalam selanjutnya. Sementara itu, dalam proses operasional, birokrasi, dan arah pembangunan bisa dengan jelas didapat oleh negara anggota yang berada dalam suatu integrasi. Dengan kata lain, negara anggota akan memiliki sistem yang terkoneksi satu sama lain, sekaligus mereduksi kompleksitas relasi satu sama lain.

C. *Theoretical Challenge* dan Model Integrasi Dalam Kerjasama Antariksa

Diskursus tentang model integrasi dalam berbagai aspek memberikan gambaran tentang kerja sama dan arah kebijakan serta perumusan kebijakan yang jelas. Namun, beberapa model yang ditawarkan terkadang kurang relevan dengan kebiasaan kerja sama di suatu kawasan, seperti di Asia Tenggara karena model integrasi akan bergantung pada *state nature* dan identitas dari negara-negara tersebut. Sebagaimana yang telah dipaparkan sebelumnya, model integrasi kawasan yang melibatkan negara-negara memiliki berbagai pola dan pendekatan. Salah satu model integrasi seperti Supranasional yang merupakan model integrasi arus utama kurang cocok jika digunakan pada kerja sama antariksa di Asia Tenggara. Walaupun sering digunakan dalam model integrasi kawasan dan dunia, seperti di UE, PBB, dan beberapa lembaga internasional lainnya, supranasionalisme memiliki keterbatasan jika ditelaah secara mendalam (Moravcsik, 1999). Beberapa hal yang membuat supranasionalisme tidak tepat untuk digunakan sebagai model integrasi di Asia Tenggara sebagai berikut.

Pertama, supranasionalisme bertumpu pada *single order*. Artinya tiap negara anggota harus mengikuti keputusan lembaga tertinggi tanpa ada ruang dalam melihat berbagai alternatif atau keinginan lain dari negara anggota (Leuffen et al., 2022). Selain sifatnya yang *single order*, organisasi supranasional memiliki representatif yang diangkat melalui proses di dalam organisasi itu sendiri. Berbagai kritik timbul terkait kredibilitas seorang pejabat yang diangkat, termasuk pemahamannya dalam mengakomodasi kepentingan tiap negara anggota, objektivitas dalam menilai dan memproduksi kebijakan, serta kemampuan dalam merumuskan kebijakan yang tepat untuk semua negara anggota. Kedua, supranasionalisme bisa bekerja secara efektif dalam ranah *high-level context*, seperti pengadilan tinggi terkait hukum, atau lembaga keamanan dan militer yang menuntun untuk keseragaman keputusan yang harus diambil oleh negara anggota (Moravcsik, 1995). Pertanyaan yang timbul setelahnya adalah apakah sektor antariksa di Asia Tenggara merupakan *high-level context* atau *low-level context*?

Mengacu dari kegiatan keantariksaan yang dilakukan Indonesia dan ASEAN, kita bisa berasumsi bahwa sektor ini masih dalam ranah *low-level context*, yang artinya tidak menuntut keseragaman terkait kebijakan, dan orientasi kegiatan antariksa di Asia Tenggara berada pada level kerja sama untuk kesejahteraan masyarakat sipil, dari pada motif militer.

Ketiga, supranasionalisme memiliki keterbatasan dalam hal pembentukan norma dan standar baru. Alih-alih mengadaptasi kebijakan dan cara kerja yang sudah dilakukan oleh negara anggota, aktor supranasionalis membentuk norma dan aturan baru yang cenderung di luar kebiasaan negara anggota. Akibatnya negara anggota yang ada dalam suatu integrasi harus melakukan penyesuaian, dan tidak jarang mengalami keterbatasan dalam proses tersebut. Hal ini bisa terjadi karena perbedaan landasan hukum di level domestik dan internasional, kepentingan dan prioritas negara, serta perbedaan pemahaman dan perspektif dari aturan baru tersebut. Karena hal ini pula, supranasionalisme secara otomatis menghilangkan kedaulatan negara, atau mentransfer kedaulatan negara kepada pihak supranasionalis (Schimmelfennig, 2010). Dengan demikian, aktor supranasional tidak memberikan ruang yang cukup untuk negara anggota menjalankan kepentingan berbasis kepentingan negara masing-masing. Jika kepentingan setiap negara anggota ASEAN pada sektor antariksa berbeda-beda, lalu model integrasi supranasional yang bertumpu pada keputusan tertinggi aktor supranasional kurang tepat, maka model integrasi bercorak liberal intergovernmentalisme sebagai antitesis dari supranasionalisme, yang cocok digunakan dalam pembangunan integrasi antariksa di kawasan.

D. Liberal Intergovernmentalisme

Liberal Intergovernmentalisme (LI), pada awalnya disintesis dalam diskursus dan dinamika kerja sama ekonomi UE. LI hadir sebagai teori yang mengkritik supranasionalisme, neofungsionalisme, dan historikal institutionalisme yang merupakan model integrasi arus utama yang sering digunakan di UE. Sebagai *middle-range theory*,

yang berarti bukan sebagai teori besar (*grand theory*) (Schimmelfennig, 2018), LI disintesis dari dalil lengkap dalam melihat suatu proses integrasi dan membahas dimensi-dimensi integrasi secara khusus dan relatif spesifik. LI mengakui sifat alamiah negara yang *self-interest*, ego, dan memiliki kepentingan masing-masing bagi negara anggota. Karena hal itu, LI dapat memberikan ruang bagi negara anggota yang ada dalam integrasi untuk memperjuangkan kepentingannya. Tiga dalil utama LI yaitu *national preferences*, *substantive bargaining*, dan *institutional choice*, disintesis dari berbagai pendekatan yang mendukung satu sama lain. Beberapa di antaranya *rational choice*, *theory regime*, institusionalisme rasional, dan liberalisme, yang kemudian melahirkan pemahaman konkret terkait fenomena integrasi yang kompleks dan terukur.

Selain multi-approach, sebagai *middle-range theory*, Moravcsik juga menjelaskan berbagai asumsi yang digunakan oleh LI dalam melihat proses integrasi internasional, yang kemudian mendukung ketiga dalil utamanya. Beberapa asumsi LI bahwa (i) anarki dari sistem internasional merupakan hal yang penting dan melekat, di mana setiap negara akan terus mencapai kepentingan nasionalnya dalam upaya *struggling of power*, (ii) menerima status quo antarnegara sebagai media untuk mendapatkan preferensi nasional negara yang terlibat dalam proses integrasi, (iii) setiap perundingan dan proses tawar-menawar bersifat rekursif, yang berarti proses pengambilan keputusan dipengaruhi oleh perundingan dan tawar-menawar sebelumnya, (iv) kebijakan luar negeri suatu negara berasal dari proses negosiasi pada level domestik, serta mengandung kepentingan nasional yang spesifik (*issue-specific interest*), kemudian diambil dalam proses rasional, (v) mendorong terbentuknya institusi atau organisasi internasional yang sesuai dengan isu yang menjadi pembahasan agar lembaga tersebut bisa memfasilitasi kerja sama dan kesepakatan antarnegara yang sudah disahkan (Leuffen et al., 2022), (vi) proses dalam perumusan kebijakan bergantung pada kepastian dan kejelasan dari kelompok masyarakat (pelaku industri, akademisi, masyarakat sipil, dst) pada level domestik, Korea *national preferences* akan mempresentasikan

tuntutan sosial, keterwakilan keinginan, *concern*, dan terorganisasi dengan mapan, dan (vii) interdependensi asimetris (relasi aktor yang kuat dan lemah) dalam beberapa kondisi tertentu tidak bisa digunakan sebagai alat penekan dan paksaan untuk menyepakati hasil perundingan. Sebaliknya, proses perundingan dalam pandangan LI merupakan fase distribusi informasi kepada negara lainnya dalam proses integrasi agar *cost* dalam perundingan menjadi murah dan efektif.

1. *National Preferences*

Dalil ini merupakan analisis awal LI dalam melihat fase yang perlu diambil dalam suatu pembentukan integrasi. *National preferences* menekankan pembahasan tentang tuntutan masyarakat di level domestik kepada pemangku kepentingan untuk melakukan kerja sama dalam pemenuhan kepentingannya. Proses ini merupakan praktik liberalisasi dan inklusivitas antarkelompok kepentingan, yaitu masyarakat dan pemerintah. Kepentingan masyarakat pada level domestik didapat dari berbagai cara, seperti berdiskusi langsung kepada kelompok masyarakat, jajak pendapat, demonstrasi, workshop dan seminar, atau bahkan negosiasi. Negara sebagai aktor utama dalam pendekatan LI, menjadi fasilitator dalam pembentukan kepentingan masyarakat, dan kemudian menjadi kepentingan nasional di level internasional. Moravcsik menyebutnya sebagai proses pembentukan konfigurasi kepentingan.

Pada fase pembentukan konfigurasi kepentingan di level domestik, pemerintah menampung aspirasi kelompok masyarakat, lalu menyaring kepentingan yang mungkin dan tidak mungkin diambil, serta mempertimbangkan sisi rasionalitasnya. Pada tahap ini pemerintah menggunakan pendekatan *rational choice/rational actor* agar keputusan yang akan dibawa pada level internasional bisa terpenuhi dengan mempertimbangkan *cost and benefit* yang akan diterima oleh negara. Hal ini dikenal dengan *two level games*, yaitu strategi pemerintah suatu negara melakukan tawar-menawar di level domestik dan juga di level internasional (Leuffen et al., 2022, 73), agar

keputusan yang diambil memiliki probabilitas *acceptance* yang tinggi. Strategi ini tidak hanya berlaku pada fase pembentukan konfigurasi kepentingan saja, tetapi juga fase *substantive bargainings*.

Proses ini membentuk *demand-side* dan *supply-side*. Secara singkat, hubungan *demand-supply side* merupakan hubungan antarpihak yang menuntut kepentingannya dipenuhi, dan pihak yang mau memenuhi tuntutan kepentingan tersebut. Jika dianalisis dalam penerapannya di UE, pihak *demand-side* bisa dari industri dalam negeri maupun industri dari berbagai negara mitra di luar negeri. Dengan demikian, tiap pihak membuka setiap kemungkinan untuk menjadi pihak *demand* ataupun *supply*. Moravcsik sangat konkret memaparkan bagaimana proses ini terbentuk berdasarkan observasinya. Setelah penerapan liberalisasi hubungan antara pemerintah dan masyarakat dilakukan, Moravcsik menjelaskan tuntutan masyarakat dan pengaruhnya terhadap konfigurasi kepentingan yang diambil juga dipengaruhi oleh fenomena interdependensi, *externalities*, dan kerja sama. Ketiga faktor ini merupakan hal yang membentuk pola kebijakan. Korelasi antara interdependensi dan *externalities* adalah pengaruh antarnegara dan perpolitikan di negara lain yang dibagi pada dua hal, yaitu *negative policy externalities* yang berarti suatu keadaan yang dipengaruhi oleh pengambilan keputusan dari negara lain yang berdampak dan memengaruhi keadaan dan kebijakan negara lainnya. Sebagai contoh keputusan Prancis membangun fasilitas nuklir di Chooz, yang berbatasan langsung dengan Belgia. Sedangkan *positive policy externalities* adalah keadaan yang berlawanan, suatu negara mendapatkan keuntungan dan manfaat dari kebijakan domestik dari negara lainnya (Cooper, 1986).

Karena pembentukan konfigurasi kepentingan yang dilakukan oleh negara sebagai aktor utama dalam pendekatan LI akan menimbulkan konflik, maka negara akan melakukan proses pendistribusian konsekuensi dalam mekanisme koordinasi kebijakan. Singkatnya, fase ini adalah anggapan bahwa *conflict of interest* tidak bisa dihindari dalam pembentukan konfigurasi kepentingan karena tiap pihak akan mempertimbangkan untung rugi, terlebih dalam proses perundingan

setelah fase ini. LI berpendapat bahwa masyarakat di level domestik akan mendukung sekaligus menghambat tercapainya kepentingan yang dibawa oleh negara pada perundingan internasional (Odell, 1982). Dalam merespons keadaan ini, LI yang menggunakan pendekatan liberalisme dan interdependensi bisa memberikan jalan keluar yang menurut hemat penulis bisa diterapkan di mana saja tanpa memerhatikan pola, kebiasaan, dan sikap politik negara. Menurut Moravcsik, jika hal ini terjadi, negara bisa melakukan perundingan untuk mencapai kesepakatan transaksional terhadap kelompok kepentingan yang menjadi hambatan dalam perumusan kebijakan. Strategi ini disebut proses harmonisasi kepentingan, dengan menjelaskan untung rugi dan manfaat yang bisa didapat dari konfigurasi kepentingan yang sudah dirumuskan. Secara otomatis akan mereduksi *political constraint* yang ada (Moravcsik, 1993). Barulah dari sini terbentuk *national preferences* dari tiap negara. Namun, dari diskusi di atas, ada berbagai tantangan yang terjadi di Indonesia jika ditelaah dengan perspektif dalil pertama ini.

Pertama, industri swasta di Indonesia pada bidang antariksa tidak sebesar kawasan Eropa ataupun Amerika Serikat. Kerja sama BRIN dengan pihak eksternal hanya PT Pindad dan beberapa universitas. Kedua pihak ini bisa memenuhi dua aspek penting, yaitu industri dan akademik, namun tidak cukup. Pindad menjadi salah satu pihak industri yang secara aktif menjalin kerja sama dengan LAPAN dalam beberapa program, seperti pengembangan roket. Sementara itu, tujuh universitas mitra BRIN bekerja sama dalam pengembangan teknologi satelit dan roket, serta aspek strategis lainnya. Dengan demikian, akselerasi industri baru dan *start up* di level domestik sangat diperlukan. Aspeknya bisa beragam, mulai dari pengembangan teknologi aplikasi dan informatika, pengembangan *chip*, teknologi roket, dan sebagainya. Hal ini berdampak pada kebutuhan pasar dan pembangunan yang kemudian bisa menjadi pihak *supply-side* dalam kerangka kerja LI. Kebutuhan negara yang berada dalam suatu lembaga independen bisa terpenuhi oleh industri swasta di level domestik. Kedua, karena industri swasta dan kelompok masyarakat yang ada di level domestik

tidak signifikan, akan memengaruhi proses pembentukan konfigurasi kepentingan pada tahap awal. Minat masyarakat di Asia Tenggara pada umumnya dan masyarakat di Indonesia pada khususnya pada sektor antariksa masih menjadi pertanyaan besar. Karena keterbatasan ini, tentu keikutsertaan masyarakat di level domestik untuk ikut dalam membentuk *national preferences* tidak efektif, dan berimbas pada terakomodasi atau tidaknya kepentingan masyarakat. Peran negara sangat vital dalam membentuk atmosfer persaingan usaha yang adil pada sektor ini, tentu salah satu caranya memberikan kesempatan dan jaminan kepada pelaku industri dan *startup* untuk turut dalam program antariksa nasional. Ketiga, konfigurasi kepentingan sering memuat kepentingan aktor negara saja atau sekelompok orang yang terlibat langsung dalam aktivitas keantariksaan nasional. Keterwakilan dan distribusi kepentingan sipil tidak bisa diakomodasi dengan baik karena kebijakan dan kerja sama dipilih oleh intra LAPAN/pemerintah, bukan masyarakat. Tentu hal ini dipengaruhi oleh faktor kedua yang dipaparkan di atas.

2. *Substantive Bargaining*

Fase kedua dalam pendekatan LI adalah *substantive bargaining*. Fase ini merupakan proses perundingan dalam membahas banyak hal yang akan memengaruhi luaran dari proses integrasi. Secara teoretis, *substantive bargaining* menggunakan pendekatan *asymmetrical interdependence* yang berarti setiap hasil perundingan akan ditentukan oleh *power* masing-masing negara anggota (Andersson, 2016; Moravcsik, 1993). Dalam fase ini pula LI menggunakan *bargaining theory* yang menjelaskan bahwa setiap negara yang terlibat dalam perundingan akan berpegang pada prinsip “creating” dan “claiming” (Lax & Sebenius, 1986), yang dipengaruhi dari berbagai faktor, seperti: seberapa banyak alternatif pilihan kebijakan yang bisa diambil, seberapa besar kemungkinan untuk mendapatkan dukungan dan membentuk koalisi, seberapa jauh kapabilitas negara yang tergabung dalam proses integrasi tersebut dalam membangun komunikasi yang efektif di masa depan, seberapa jauh kemampuan negara anggota untuk membentuk *institutional setting* yang mapan,

seberapa jauh negara anggota memastikan komitmen, reputasi aktor yang terlibat dalam proses perundingan, preferensi yang tidak bersifat *narrow-minded*, mengakomodasi ekspektasi, dan memiliki kejelasan perihal *risk-acceptance*.

Yang menjadi menarik adalah dalam proses perundingan, setiap negara yang terlibat harus berorientasi pada *lowest-common denominator*, yang artinya setiap kesepakatan harus berfokus pada level “high acceptance”. Hal ini berkorelasi dengan model liberalisasi dalam LI karena konsep *lowest-common denominator* bisa terjadi jika kesepakatan yang dihasilkan pada proses perundingan mengakomodasi setiap kepentingan negara anggota yang membawa kepentingan nasional masing-masing sehingga negara anggota dengan suka rela akan menerima hasil tersebut (Moravcsik, 1995). Dalam prosesnya, pemangku kepentingan harus menekankan pendekatan *pareto-optimality* dan perspektif *cooperative game* (Kroll, 2015, 21–22). Dua faktor ini sangat penting dalam proses integrasi dan berkaitan langsung dengan *decision maker behaviour* yang terkadang malah menjadi *constraints* dalam proses kesepakatan.

Selain kesepakatan yang akan diambil, pada proses *substantive bargaining*, pembahasan tentang distribusi wewenang dan mekanisme hukuman juga diatur. Berbeda dengan pendekatan supranasionalisme, LI membentuk mekanisme distribusi wewenang jika konflik antarnegara terjadi dan tidak diproses langsung di dalam organisasi tersebut, dengan mempertimbangkan posisi dan *outcome* yang didapat dari suatu konflik. Wewenang dibawa pada organisasi supranasionalis di luar organisasi, namun tetap pada kesepakatan negara anggota lainnya sejauh tindakan tersebut diperlukan. Hal ini sering disebut dengan *enforcement* yang menggunakan pihak-pihak, seperti Komisi dan *Court of Justice* (Leuffen et al., 2022; Moravcsik, 1998). Penggunaan model supranasionalis hanya pada aspek penyelesaian sengketa, bukan pola integrasi. Artinya, negara anggota yang menjadi bagian dari suatu integrasi bisa saja memilih untuk tidak menggunakan lembaga supranasional dalam menyelesaikan sengketa, tergantung pada negara-negara dominan dalam organisasi tersebut (Moravcsik,

1998). Namun, ketetapan ini dibahas dalam fase *substantive bargaining* yang kemudian bisa menjadi standar baku oleh negara-negara terlibat.

3. *Institutional Choice*

LI berpendapat setelah kesepakatan tercapai dalam fase perundingan substantif di atas, pembentukan institusi yang dipilih oleh negara yang terlibat menjadi penting. Beberapa hal yang menjadi alasan mengapa pembentukan institusi sangat penting dalam pendekatan LI adalah untuk melegalisasi kesepakatan yang sudah tercapai, simbol dari komitmen negara anggota yang ikut dalam proses tersebut, media yang dapat memutuskan kebijakan bersama, implementasi kesepakatan, elaborasi, serta kendali dan pelaksanaan (Moravcsik, 1998). Bentuk dari *institutional choice* beragam, tidak terpaku pada bentuk organisasi atau entitas baru saja, tetapi pada kesepakatan, *charter*, *covenant*, MoU, dst sesuai dengan kebutuhan dan kepentingan negara anggota pada proses *substantive bargaining*, dan jenis institusi pun bisa secara formal ataupun informal. Keunikan dari LI juga bisa kita temukan pada fase ini, setelah institusi dibentuk, dan jika salah satu negara anggota yang sudah menyepakati suatu hal, dan kemudian tidak mematuhi kesepakatan tersebut, maka negara anggota lainnya akan membuat standar umum baru yang terhindar dari campur tangan pihak lain, istilah ini disebut sebagai *policy coordination* (Leuffen et al., 2022).

Namun, jika satu negara tersebut tetap tidak mematuhi kesepakatan yang sudah dibuat oleh negara anggota yang lain, maka negara-negara yang terlibat dalam integrasi tersebut akan melepaskan wewenang dan kontrolnya kepada pihak supranasional, atau yang lebih dikenal dengan *enforcement*. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kepatuhan negara anggota yang melanggar atau tidak patuh dengan kesepakatan yang sudah diambil. Negara-negara yang dominan, yang secara langsung memiliki kekuatan pada organisasi tersebut akan menjadi pihak penekan agar negara yang tidak berkomitmen dengan hasil perundingan dapat patuh. Walaupun wewenang didistribusikan kepada pihak supranasional, negara anggota tetap mengambil keputu-

san dengan proses perundingan antaranggota, dengan memerhatikan *cost and benefit* setiap langkah yang diambil. Dengan kata lain, negara anggota boleh memilih menggunakan pihak supranasionalis atau tidak.

LI mengklaim bahwa perbedaan kemampuan dan ketidakpastian sifat dari negara pada suatu organisasi merupakan hambatan di masa depan. Hal ini bisa diatasi dengan kejelasan mekanisme dan peraturan yang telah dirumuskan pada *substantive bargaining* dan diterapkan pada organisasi independen yang dilahirkan. Selain itu, dalam perspektif LI setiap organisasi dibentuk harus memiliki dua aspek, yakni aspek positif (*predictive*) dan aspek normatif (*prescriptive*). *Predictive* berarti organisasi memiliki kemampuan untuk memprediksi isu-isu penting pada masa depan, dan mendorong negara anggota untuk mengambil kebijakan secara logis. *Prescriptive* berarti pada suatu kondisi tertentu, organisasi dapat mendistribusikan otoritasnya kepada pihak lain (aktor supranasionalis) agar kesepakatan tetap berjalan (Clune, 1987). Selain itu, organisasi dalam menjadi media bertukar informasi, memonitor, dan mengawasi negara anggota agar menjalankan kesepakatan yang ada (Moravcsik & Schimmelfennig, 2009).

Berbicara tentang bentuk kedua dari *institutional choice* ini, yaitu institusi nonfisik. Kita bisa mengklaim bahwa kesepakatan dan perjanjian terkait antariksa sudah ada dan cukup mapan, baik yang dibuat oleh Indonesia, maupun dengan negara lain, khususnya di ASEAN. Namun, jika pembahasan tentang organisasi independen yang bekerja sama atas dasar keanggotaan dan bertujuan untuk pembangunan sektor antariksa, menurut hemat penulis masih belum ada hingga tulisan ini dikirim. SCOSA masih belum cukup disebut sebagai organisasi independen, mengingat posisinya pada lembaga berada di bawah payung besar COST.

E. Pembentukan Badan Independen

Berkaca pada *The European Space Program 2021–2027*, UE memublikasikan paket kebijakan dan kerja sama antariksa di kawasan

dengan membuat badan otonomi. Pada kebijakan ini, UE membentuk organisasi independen sektor antariksanya bernama European Union Space Program Agency (EUSPA), yang menaungi negara anggotanya. EUSPA menjadi badan yang mengurus pengembangan teknologi dan kebutuhan negara anggota terkait antariksa, sekaligus meningkatkan komersialisasi industri antariksa dengan negara mitra (euspa.europa.eu, diakses pada 17 Juni 2024). Walaupun berada di dalam organisasi kawasan UE, EUSPA dibentuk dalam otonomi dan independensi sebagai suatu organisasi. Lembaga ini menangani berbagai permintaan negara anggota UE pada sektor antariksa, termasuk dalam penanggulangan perubahan iklim, perlindungan lingkungan, hingga bantuan pengembangan teknologi antariksa di negara anggota. Selain EUSPA, kawasan Eropa juga memiliki organisasi antariksa independen dan berpengaruh besar bernama European Space Agency atau ESA. ESA merupakan organisasi di luar struktur UE dan tidak hanya terbatas untuk negara Eropa saja perihal keanggotaan, tetapi negara mitra yang membantu secara signifikan, seperti Amerika Serikat dan Kanada.

Sekurang-kurangnya ada lima alasan mengapa badan atau organisasi independen diperlukan. Pertama, *presence of expertise* yang berarti kehadiran para ahli di berbagai isu spesifik terkait antariksa. Negara anggota yang terlibat dalam suatu integrasi pada lembaga independen akan mengirimkan para ahlinya untuk bertukar pendapat, ide, ilmu pengetahuan, dan inovasinya yang tidak tersedia di luar organisasi tersebut, yang secara otomatis memberikan preferensi lain dalam mengubah *state behaviour*. Kedua, *political neutrality*, yang berarti proses dan dinamika dalam suatu lembaga akan berjalan dengan seimbang dan tanpa ada relasi kuasa antara negara kuat dan negara lemah. Hal ini berpengaruh pada akselerasi pembangunan dan penyeimbangan kekuatan satu sama lain. Ketiga, kejelasan pendanaan, yang memberikan gambaran pasti kebijakan yang terkait dengan funding dan *budgetary* yang digunakan dalam setiap program yang ada. Keempat, *dispute settlement mechanism* yang memberikan kejelasan penyelesaian masalah dan mempermudah pengembalian hubungan baik antarnegara anggota. Hal ini ditujukan karena sifat alamiah ne-

gara untuk mencapai kekuatan dan kepentingan nasionalnya. Kelima adalah luaran yang dihasilkan dari proses *substantive bargainings* yang telah didiskusikan di atas. Yakni ketetapan hukum dan fungsi legislatif, seperti perjanjian, MoU, dan traktat (Gabriele, 2013)

Dari pemaparan di atas, penulis dapat mengklaim bahwa model integrasi yang paling tepat untuk diinisiasi Indonesia di kawasan adalah pembentukan organisasi independen dengan pola LI. Dengan pendekatan LI, pembentukan organisasi independen tidak hanya sebatas kerja sama antarnegara, tetapi juga sebagai pemicu industri swasta di dalam negeri untuk ikut serta dalam relasi *demand-supply side*. Dengan demikian, pembentukan organisasi dapat menstimulasi pembangunan teknologi antariksa yang mandiri dan bernilai ekonomi. Tentu dalam proses akselerasi pembangunan industri swasta pada sektor antariksa di Indonesia tidak mudah. Banyak alasan yang mendasari termasuk sumber daya manusia dan jaminan hukum yang berlaku. Itulah mengapa liberalisasi pihak swasta dalam pengembangan teknologi antariksa harus dimulai, agar para pelaku bisnis dan kelompok masyarakat dapat mengambil bagian. Permulaan kerja sama dalam organisasi independen bisa menggunakan konsep yang digunakan oleh LI terkait *issue specific area*. Konsep ini merupakan upaya mereduksi kepentingan yang luar menjadi lebih kecil dan prioritas.

F. Penutup

Tentu dalam tulisan ini terdapat berbagai keterbatasan pada konteks dan pendekatan teori yang digunakan. Pada aspek konteks, peran Indonesia sebagai inisiator dalam pembentukan organisasi antariksa kawasan terhambat dengan sumber daya yang ada. Walaupun Indonesia menaruh perhatiannya pada isu antariksa dari lama dan terus berprogres, kemampuan Indonesia pada teknologi antariksa belum dapat disebut sebagai *space faring*. Hal ini berkorelasi dengan implementasi *soft power*, yaitu kemampuan dalam memengaruhi aktor lain untuk turut pada ajakan atau inisiasi yang dibuat oleh Indonesia untuk membentuk badan independen sektor antariksa. Kita tahu bahwa Indonesia telah memperlihatkan progres pengembangan

teknologi yang digunakan pada berbagai kepentingan dalam negeri. Namun, kenyataan bahwa Indonesia masih banyak membutuhkan dukungan dari aktor lain menandakan bahwa Indonesia masih sebatas cukup, belum mandiri. Keterbatasan lainnya adalah political will yang dimiliki negara-negara di kawasan yang lebih memilih bekerja sama dengan spacefaring dunia, seperti Jepang, China, Amerika Serikat, Kanada, dan Prancis, daripada membangun kerja sama yang berkelanjutan di regional. Tentu hal ini terkait dengan cost and benefit dalam proses pengembangan teknologi tepat guna bagi negara anggota, namun hal ini menjadi gambaran bahwa negara di kawasan tidak memiliki regional unity untuk membangun organisasi antariksa yang independen (Nugraha & Putro, 2023) sekaligus dilema terkait trust antarnegara di Asia Tenggara.

Keterbatasan ini juga bisa ditinjau dari aspek hukum pada level domestik. Aspek legal bisa meningkatkan kerja sama regional dan mengatur hubungan antarnegara. Berbagai potensi yang dimiliki Indonesia pada sektor antariksa, sebagai contoh bandar antariksa yang akan dibangun di Biak, Papua, menjadi peluang yang besar, dan dapat menjadi sumber daya yang bermanfaat untuk mengajak aktor di kawasan Asia Tenggara untuk bekerja sama. Hal ini tidak hanya untuk menstimulasi perkembangan pengetahuan, tetapi juga sektor ekonomi yang bisa memberikan dampak positif bagi Indonesia secara khusus, dan negara-negara di Asia Tenggara secara umum.

Referensi

- About EUSPA | EU Agency for the Space Programme. (2024). EU Agency for the Space Programme. Diakses pada 17 Juni, 2024, dari <https://www.euspa.europa.eu/about/about-euspa>
- Andersson, H. E. (2016). Liberal Intergovernmentalism, spillover and supranational immigration policy. *Cooperation and Conflict*, 51(1), 38–54. <https://doi.org/10.1177/0010836715597945>
- Cooper, R. (1986). Organization/Disorganization. *Social Science Information*, 25(2), 299–335. <https://doi.org/10.1177/053901886025002001>

- Copernicus. (t.t.a.). Copernicus: Europe's eyes on Earth. Diakses pada 12 Juni 2024 dari <https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2023-07/Copernicus%20General%20EN.pdf>
- Copernicus. (t.t.b.). Marine, coastal and fisheries project. Diakses pada 5 Juni 2024 dari <https://climate.copernicus.eu/marine-coastal-and-fisheries-project>
- Dewan Perwakilan Rakyat. (2023, 16 Februari). Legislator prihatin anggaran riset nasional tahun 2023 ini terendah sepanjang sejarah iptek nasional. Diakses pada 6 Juni 2024, dari <https://www.dpr.go.id/kegiatan-dpr/berita/Legislator-Prihatin-Anggaran-Riset-Nasional-Tahun-2023-ini-Terendah-Sepanjang-Sejarah-Iptek-Nasional-43331>
- Economic Community. (n.d.). ASEAN.org. Diakses pada 12 Juni 2024, melalui <https://asean.org/our-communities/economic-community/>
- Gabriela, S. M. (2013). The role of International Organizations in the Global Economic Governance – An assessment. *Romanian Economic Business Review*, Romanian-American University, 8(4.1), 308–316.
- Supancana, I. B. R. (2022). *Indonesian space policy, regulations and programs: Past achievements and future prospects*. ASEAN Space Programs: History and Way Forward. Springer.
- Integration in International Relations: Definition and Types. (2022). The Kootneeti. Diakses pada 11 Juni 2024, dari <https://thekootneeti.in/2022/09/19/integration-in-international-relations-definition-and-types/>
- Is it time for an Asean space agency? (2023, 14 April). The Star. Diakses pada 7 Juni 2024 dari <https://www.thestar.com.my/aseanplus/aseanplus-news/2023/04/14/is-it-time-for-an-asean-space-agency>
- Gleason Michael, (2013). *Space, pride, and identity*. European Identity Through Space, ESPI. Springer
- Lax, D.A., & J.K. Sebenius. (1986). *The manager as negotiator: bargaining for cooperation and competitive gain*. Free Press.
- Leuffen, D., Rittberger, B., & Schimmelfennig, F. (2022). *Integration and differentiation in the European Union*. Integration and Differentiation in the European Union, January. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76677-1>
- Marine, coastal and fisheries project | Copernicus. (n.d.). Copernicus Climate Change Service. Diakses pada 16 Juni 2024, dari <https://climate.copernicus.eu/marine-coastal-and-fisheries-project>

- Moravcsik, A. (1999). *LI: Explanation and critique*. Theorising the European Union.
- Moravcsik, A., & Schimmelfennig, F. (2018). *Liberal intergovernmentalism*. European Integration Theory Third Edition. Oxford University Press. 64–84.
- Moravcsik, A. (1995). Liberal intergovernmentalism and the integration- A rejoinder. *JCMS: Journal of Common Market Studies* 33(4).
- NASA. (t.t.). Topography. Diakses pada 5 Juni 2024 dari <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface/topography>
- Nugraha, R. A., & Putro, Y. M. (2023). *Is it time for ASEAN to have a space agency?* <https://www.thejakartapost.com/opinion/2023/04/12/is-it-time-for-asean-to-have-a-space-agency.html>
- Odell, J.S. (1982). *U.S. International Monetary Policy*. Princeton University Press.
- Rafikasari, A. (2020). Challenges and opportunities in strengthening ASEAN space technology cooperation. *IKAT: The Indonesian Journal of Southeast Asian Studies*, 3(2), 173–187. doi:<https://doi.org/10.22146/ikat.v3i2.54069>
- Schimmelfennig, F. (2010). Integration theory. Research Agendas in EU Studies, (Palgrave Studies in European Union Politics). https://doi.org/10.1057/9780230279445_3
- Schimmelfennig, F. (2018). Liberal Intergovernmentalism and the Crises of the European Union: LI and the EU Crises. *JCMS: Journal of Common Market Studies*. 56. 10.1111/jcms.12789.
- Structure. (n.d.). ASTNET. Diakses pada 16 Juni 2024, melalui <https://astnet.asean.org/structure/>
- Tanil, G. (2012). *Europeanization, Integration and Identity: A Social Constructivist Fusion Perspective on Norway* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203125632>
- Verspieren, Q., Berthet, M., Coral, G., Nakasuka, S., & Shiroyama, H. (Eds.). (2022). *ASEAN space programs: History and way forward*. Springer Nature Singapore.
- Verspieren, Q. & Coral, G. (2022). *Introduction: Why space matters in ASEAN*. Springer.

BAB VII

Tinjauan Hukum dalam Pembangunan dan Komersialisasi Bandar Antariksa di Indonesia

Yaries Mahardika Putro, Aris Rahmat Julian Noor, Ridha Aditya Nugraha, dan Soraya Sakinah

A. Sejarah dan Perkembangan Keantariksaan Indonesia

Indonesia memiliki sejarah panjang dalam fora antariksa, baik nasional maupun internasional. Angan-angan Indonesia untuk dapat bersaing dalam kegiatan keantariksaan dengan *spacefaring nations* (negara maju dalam kegiatan dan teknologi antariksa) telah dimulai sejak Presiden pertama Republik Indonesia saat itu yaitu Ir. Soekarno. Dalam pidatonya yang disampaikan pada tanggal 25 Januari 1960 di Bandung saat pembukaan Konferensi Nasional untuk Perdamaian. Soekarno menyampaikan bahwa ada lima tahapan revolusi dunia, di antaranya adalah agama, komersial, industri, atom, dan antariksa yang sedang berlangsung. Pidato ini menginisiasi keikutsertaan Indonesia dalam kegiatan keantariksaan global.

Y. M. Putro, A. R. J. Noor, R. A. Nugraha, dan S. Sakinah

Universitas Surabaya, Universitas Islam Indonesia, Universitas Prasetya Mulya, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara e-mail: yariesmp@staff.ubaya.ac.id

© 2025 Editor & Penulis

Putro, Y. M., Noor, A. R. J., Nugraha, R. A., dan Sakinah, S. (2025). Tinjauan Hukum dalam Pembangunan dan Komersialisasi Bandar Antariksa di Indonesia. Dalam T. Djameluddin & F. Nuraeni (Ed.), *Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan*(171–200). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1501, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Pada tahun 1962, Angkatan Udara Republik Indonesia (AURI) dan Institut Teknologi Bandung (ITB) membentuk lembaga penelitian yang disebut sebagai pengembangan Roket Ilmiah dan Militer Awal (PRIMA). Lembaga ini bekerja sama dengan Persiapan Industri Senjata Angkatan Darat (Pindad) dan Lembaga Persiapan Industri Pesawat Terbang (LAPIP). Kolaborasi ini mampu menghasilkan terciptanya roket ilmiah pertama yang dikenal dengan Kartika-1; pada tanggal 14 Agustus 1964, roket ini berhasil diluncurkan di Pantai Pamengpeuk, Jawa Barat (Nugraha et al., 2022).

Dalam hal kelembagaan negara, pada dekade yang sama dengan peluncuran roket Kartika-1, Pemerintah Indonesia secara resmi membentuk Lembaga Penerbangan dan Angkasaluar Nasional (LAPAN) melalui Keputusan Presiden (Keppres) No. 236 Tahun 1963 dan Dewan Penerbangan dan Angkasaluar Nasional Republik Indonesia (DEPANRI) melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 24 Tahun 1963. Kedua lembaga tersebut memiliki tugas dan fungsi yang berbeda. Berdasarkan Pasal 1 Keppres No. 236 Tahun 1963, LAPAN memiliki fungsi sebagai badan pelaksana nasional untuk memajukan penerbangan dan angkasaluar nasional dengan jalan penelitian atau perkembangan dan cara-cara lain, sedangkan DEPANRI memiliki fungsi "... sebagai badan *policy* dan koordinasi tertinggi di dalam bidang penerbangan dan Angkasaluar nasional".

Seiring bergantinya rezim orde lama ke orde baru yang dipimpin Presiden Soeharto, perkembangan teknologi dan kegiatan keantariksaan Indonesia naik-turun. Pada awal kepemimpinan pada tahun 1967, kegiatan keantariksaan Indonesia sempat terhenti dan lambat laun mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Pada tahun 1976, Indonesia berhasil meluncurkan satelit Palapa A1 dan menjadikan Indonesia sebagai negara Asia Tenggara pertama yang mampu meluncurkan satelit nasionalnya. Palapa A1 merupakan satelit pertama yang membuka jalan bagi peluncuran tujuh satelit selanjutnya pada pertengahan 1990-an. Indonesia terletak di sepanjang garis khatulistiwa dan di antara dua benua sehingga Indonesia sangat bergantung pada teknologi antariksa untuk memperoleh

keunggulan kompetitif dalam mengelola program nasional terkait kegiatan antariksa. Hal ini yang mendorong Indonesia untuk terlibat aktif dalam berbagai forum keantariksaan internasional.

Pada tahun yang sama dengan peluncuran Satelit Palapa A1, Indonesia bersama dengan Brazil, Kenya, Kolombia, Kongo, Uganda, Zaire, dan beberapa negara khatulistiwa lainnya mengadakan pertemuan di Bogota, Kolombia untuk membahas dan menuntut pemberian hak berdaulat (*sovereign rights*) kepada negara-negara khatulistiwa atas orbit geostasioner (GSO) yang terletak tepat berada di atas garis khatulistiwa. Negara-negara khatulistiwa menilai bahwa orbit geostasioner yang tepat berada di atas garis khatulistiwa merupakan sumber daya alam terbatas. Oleh karena itu, mereka meminta hak berlebih dalam bentuk hak berdaulat guna memanfaatkan sumber daya alam tersebut untuk kesejahteraan dan kepentingan nasional. Pertemuan ini menghasilkan sebuah *soft law* yang mulai diadopsi pada tanggal 3 Desember 1976 dan dikenal sebagai Deklarasi Bogota 1976 (Nugraha et al., 2022). Keberadaan deklarasi ini tentunya tidak selaras dengan prinsip dasar yang termaktub di dalam Outer Space Treaty 1967 sebagai *magna charta* dalam hukum antariksa yang mengatur adanya larangan kepemilikan di antariksa.

Menyadari dinamika forum keantariksaan internasional yang tidak mendukung Deklarasi Bogota 1976, ditambah dengan diadopsinya The Consitution and Convention of International Telecommunication Union pada 1994; secara jelas menetapkan bahwa orbit geostasioner adalah sumber daya alam terbatas yang harus digunakan secara rasional dan efisien. Hal ini melemahkan posisi negara-negara anggota Deklarasi Bogota 1976. Pada tahun 2002, akhirnya Pemerintah Indonesia meratifikasi Outer Space Treaty 1967 melalui Undang-Undang No. 16 Tahun 2002. Komitmen Indonesia untuk tetap dalam koridor rezim hukum antariksa internasional dalam pengembangan teknologi dan kegiatan keantariksaan ditunjukkan dengan diratifikasinya empat dari lima sumber hukum antariksa internasional (*Corpus Juris Internationalis Spatialis*), yaitu:

- 1) Konvensi tentang Tanggung jawab Internasional terhadap Kerugian yang Disebabkan oleh Benda-Benda Antariksa, 1972 melalui Keputusan Presiden No. 20 Tahun 1996.
- 2) Konvensi tentang Registrasi Benda-Benda yang Diluncurkan ke Antariksa, 1975 melalui Keputusan Presiden No. 5 Tahun 1997.
- 3) Perjanjian tentang Pertolongan Astronaut, Pengembalian Astronaut, dan Pengembalian Benda-Benda yang Diluncurkan ke Antariksa, 1968 melalui Keputusan Presiden No. 4 Tahun 1999.

Mempertimbangkan beberapa hal, antara lain ketergantungan Indonesia akan teknologi dan kegiatan antariksa, rekam jejak Indonesia dalam kegiatan keantariksaan, letak geografis Indonesia yang berada tepat di bawah garis khatulistiwa, dan komitmen Indonesia dalam rezim hukum antariksa internasional, sudah saatnya Pemerintah Indonesia mempertimbangkan untuk melakukan peluncuran roket dan satelit dari tanah airnya sehingga mendorong pembangunan bandar antariksa. Sejak tahun 1985, LAPAN telah melakukan studi awal untuk membangun bandar antariksa di lahan 100 hektare di Desa Saukoby, Biak Numfor, Papua. Lokasi ini dinilai paling cocok dibandingkan Pulau Enggano, Morotai, dan Nias untuk dijadikan lokasi pembangunan bandar antariksa (Putro & Nugraha, 2022).

Melalui metodologi yuridis normatif dan menggunakan pendekatan perundang-undangan, *literature review*, serta perbandingan dengan beberapa regulasi dan praktik terkait pembangunan bandar antariksa di beberapa negara, artikel ini bertujuan untuk menganalisis potensi yang dimiliki oleh Indonesia dalam rencana pembangunan bandar antariksa, serta mengkaji pentingnya aspek hukum dan politik dalam pembangunan bandar antariksa di Indonesia.

B. Sumber Hukum Keantariksaan di Indonesia

Sumber hukum keantariksaan di Indonesia ada dua, yaitu UU No. 21 Tahun 2013 dan Peraturan Presiden No. 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Indonesia 2017–2040.

1. Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan

Antariksa dianggap sebagai domain operasional yang vital, media yang krusial, dan sumber daya alam yang berharga, yang harus dimanfaatkan dan dilestarikan untuk kesejahteraan damai rakyat Indonesia, sesuai dengan tujuan nasional yang diartikulasikan dalam Undang-Undang Dasar 1945 (UUD 1945). Wilayah antariksa ini menawarkan potensi besar untuk penemuan ilmiah dan kemajuan teknologi, yang memerlukan pengetahuan yang canggih dan teknologi mutakhir. Eksplorasi dan pemanfaatan antariksa melibatkan investasi finansial yang substansial dan datang dengan risiko yang signifikan, menekankan perlunya perencanaan dan pelaksanaan yang cermat. Meskipun tantangan ini ada, manfaat bagi kesejahteraan nasional, pertahanan, dan keamanan sangatlah mendalam. Potensi aplikasi teknologi antariksa sangat luas, mulai dari peningkatan jaringan komunikasi dan sistem manajemen bencana hingga memperkuat kemampuan pertahanan nasional. Oleh karena itu, sangat penting bahwa setiap negara mengambil tanggung jawab internasional atas kegiatan keantariksannya, memastikan bahwa usaha ini dilakukan dengan cara yang aman, berkelanjutan, dan sesuai dengan hukum dan norma internasional. Tanggung jawab ini mencakup, baik entitas pemerintah maupun non-pemerintah, mencerminkan komitmen nasional yang komprehensif untuk memanfaatkan antariksa demi kebaikan bersama sambil menjaga agar tidak terjadi penyalahgunaan potensial (UU No. 21, 2013).

Secara keseluruhan, Undang-Undang Keantariksaan tahun 2013 mencakup berbagai aspek penting, seperti kegiatan keantariksaan, pengelolaan keantariksaan, pembinaan, bandar antariksa, keamanan dan keselamatan, penanggulangan benda jatuh dari antariksa, serta pencarian dan pertolongan antariksawan. Selain itu, undang-undang ini juga mengatur pendaftaran, kerja sama internasional, tanggung jawab dan ganti rugi, asuransi, penjaminan dan fasilitas, pelestarian lingkungan, pendanaan, partisipasi masyarakat, dan sanksi (UU No. 21, 2013).

Jika dilihat dari sifat materi yang diatur, Undang-Undang Keantariksaan 2013 merupakan undang-undang yang penuh dengan unsur ilmu pengetahuan dan teknologi tinggi. Oleh karena itu, berbagai aspek teknis akademik dan ilmu pengetahuan menjadi karakter utama dari seluruh isi undang-undang ini. Dengan demikian, wajar jika substansi peraturan tersebut tidak mengatur secara lengkap norma-norma hukum terkait keantariksaan. Menurut ketentuan di dalam Undang-Undang Keantariksaan 2013, peraturan pemerintah yang diamanatkan harus ditetapkan paling lambat dua tahun setelah diundangkan; yang berarti tahun 2015 menjadi tahun terakhir dalam menetapkan peraturan pemerintah yang berhubungan dengan teknis pelaksanaan (UU No. 21, 2013). Berdasarkan penghitungan pasal yang mengamanatkan dibentuknya peraturan pemerintah, total terdapat 8 (delapan) peraturan pemerintah yang dibutuhkan guna mengatur lebih lanjut terkait kegiatan keantariksaan. Namun hingga Juni 2024, baru 2 (dua) peraturan pemerintah yang telah rampung.

Beberapa peraturan pemerintah mengalami keterlambatan, salah satunya untuk membangun bandar antariksa (Bandariksa). Rencana pembangunan Bandariksa awalnya sudah digaungkan dalam Peraturan Presiden Nomor 45 tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Tahun 2016–2040. Namun, sampai saat ini peraturan pemerintah mengenai pendelegasian aturan pembangunan Bandariksa ini belum juga tuntas.

2. Peraturan Presiden No. 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Indonesia 2017–2040

Peraturan Presiden No. 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Indonesia 2017–2040 merupakan regulasi untuk mengatur dan mengarahkan pengembangan serta pemanfaatan teknologi antariksa di Indonesia. Peraturan ini menjadi landasan bagi LAPAN, pada saat itu, dalam melaksanakan berbagai kegiatan keantariksaan yang mencakup penelitian, pengembangan, pemanfaatan dan penguasaan teknologi antariksa. Renduk Keantarik-

saan 2016–2040 memuat visi dan misi penyelenggaraan keantariksaan, kebijakan penyelenggaraan keantariksaan, strategi penyelenggaraan keantariksaan, dan peta rencana strategis jangka pendek, menengah, dan panjang penyelenggaraan keantariksaan.

Pembangunan bandar antariksa di Indonesia merupakan salah satu misi yang diuraikan dalam Rencana Induk Keantariksaan 2016–2040. Strategi telah dirancang untuk mencapai kemandirian dalam hal keantariksaan Indonesia. Strategi tersebut bertujuan merealisasikan target Renduk 2016–2040 agar bandar antariksa dapat mengoperasikan roket diameter besar pada jenjang waktu tahun 2036–2040. Sayangnya Renduk Keantariksaan 2016–2040 tidak mencantumkan target waktu penyelesaian regulasi terkait pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa di Indonesia. Selain membutuhkan biaya yang cukup besar dalam pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa, hal penting yang tidak boleh terlewatkan ialah kepastian hukum. Suatu urgensi bagi Pemerintah Indonesia untuk segera menyelesaikan penyusunan regulasi terkait dengan pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa.

Berdasarkan Renduk 2016–2040, dalam target lima tahunan di bidang peluncuran, seharusnya pada jenjang waktu 2021–2025 telah terlaksana pembangunan dan pengoperasian awal bandar antariksa di Indonesia. Apabila melihat rencana ini, seharusnya peraturan pemerintah terkait dengan pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa telah disahkan sejak tahun 2020. Apabila hingga tahun 2025 regulasi belum dibentuk, namun telah terlaksananya pembangunan dan pengoperasian awal bandar antariksa, maka pembangunan dan pengoperasian tersebut dilakukan di atas kekosongan hukum. Meskipun, dalam Bab V UU Keantariksaan telah diatur terkait dengan Bandar Antariksa, namun perlu dipahami bahwasannya muatan substansi dalam pasal 44 hingga 50 bersifat sangat umum dan membutuhkan aturan pelaksana agar dapat mengatur lebih rinci terkait dengan tata cara pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa. Perlu menjadi perhatian bagi pemerintah bahwa peta jalan keantariksaan Indonesia menargetkan terlaksananya pembangunan dan operasi awal

bandar antariksa pada rentang 2021–2025. Oleh karena itu, tersisa waktu 1,5 tahun dan hingga saat ini belum terwujud (Nugraha, 2024). Pemerintah perlu untuk mengkaji ulang target tersebut agar dapat mengakselerasi pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa, baik di Biak maupun di Morotai.

C. Potensi Indonesia dalam Perencanaan Pembangunan Bandar Antariksa

Secara teori, bandar antariksa dapat didirikan oleh badan pemerintah atau entitas non-negara, bergantung pada perolehan lisensi dan persetujuan yang diperlukan dari pemerintah. Karena potensi bahaya terkait dengan operasi yang dilakukan di bandar antariksa dan sekitarnya, kegiatan ini harus diformalkan melalui peraturan pemerintah. Peraturan tersebut akan menjelaskan pedoman pembangunan dan pengelolaan bandar antariksa sesuai dengan ketentuan yang tertuang dalam Pasal 50 UU 21/2013 (Verspieren et al., 2022).

Kegiatan antariksa berfungsi sebagai alat penting dalam memajukan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*). Oleh karena itu, memastikan keberlanjutan kegiatan antariksa merupakan hal yang sangat penting bagi para aktor saat ini dan yang baru muncul dalam kegiatan-kegiatan tersebut, khususnya bagi negara-negara berkembang seperti Indonesia (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2022).

Perumusan pedoman sukarela atau *voluntary guidelines* berakar pada prinsip dasar bahwa antariksa harus tetap menjadi wilayah yang stabil dan aman, didedikasikan untuk upaya damai dan terbuka untuk eksplorasi, pemanfaatan, dan kolaborasi internasional oleh generasi sekarang dan masa depan. Perumusan pedoman ini harus melayani kepentingan semua negara, terlepas dari kemajuan ekonomi atau ilmu pengetahuan, tanpa diskriminasi apa pun, dan memiliki komitmen terhadap kesetaraan. Pedoman atau *guidelines* ini bertujuan untuk membantu masing-masing negara dan organisasi antarpemerintah internasional dalam mengelola risiko yang terkait dengan kegiatan antariksa secara kolektif, menjaga manfaat yang ada, dan membuka

prospek masa depan. Oleh karena itu, penerapan pedoman untuk keberlanjutan kegiatan antariksa harus mendorong kolaborasi internasional dalam pemanfaatan dan eksplorasi antariksa secara damai (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2022).

Keberlanjutan jangka panjang dalam kegiatan antariksa didefinisikan sebagai kapasitas untuk mempertahankan kegiatan tersebut tanpa batas waktu, memastikan akses yang adil terhadap manfaat eksplorasi dan pemanfaatan antariksa untuk tujuan damai. Tujuan ini mencakup pemenuhan kebutuhan generasi saat ini sekaligus melestarikan lingkungan antariksa untuk generasi mendatang (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2022).

Pada saat ini, banyak bandar antariksa yang sedang dikembangkan di seluruh dunia, masing-masing tunduk pada kerangka peraturan nasional yang berbeda. Protokol keselamatan dan peraturan operasional untuk bandar antariksa, aktivitas peluncuran, dan prosedur masuk kembali menunjukkan keragaman yang besar. Fasilitas-fasilitas ini mencakup bandar antariksa yang berlisensi pemerintah dan juga bandar antariksa yang tidak berlisensi (Pelton, 2010). Oleh karena itu, berbagai topik perlu diperhatikan dalam pembangunan bandar antariksa, yang mencakup ruang lingkup penerapan undang-undang antariksa nasional, proses registrasi, prosedur otorisasi dan pengawasan, persyaratan asuransi, alokasi frekuensi, protokol keselamatan untuk operasi antariksa, dan pertimbangan hukum terkait dengan pendirian bandar antariksa (UNOOSA, 2023). Selanjutnya, akan dibahas seberapa penting melihat potensi Indonesia dalam perencanaan pembangunan bandar antariksa yang dapat ditinjau dalam beberapa hal, sebagai berikut.

1. Indonesia sebagai “Aktor Lama” dalam Keantariksaan Global

Dalam narasi besar sejarah, Uni Soviet memainkan peran penting dalam memicu perlombaan antariksa dengan meluncurkan satelit buatan yang inovatif, Sputnik 1, pada tahun 1957. Pada saat yang sama, para inovator Amerika pada tahun 1950-an dan 60-an menunjukkan

kehebatan luar biasa dalam teknologi satelit. Pencapaian penting, seperti peluncuran Echo 1 dan Telstar 1, yang diawasi oleh Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional Amerika atau The National Aeronautics and Space Administration (NASA), menandai tonggak penting dalam kemajuan komunikasi satelit. Pencapaian ini menjadi landasan bagi evolusi komunikasi global melalui satelit. Di antara pionir awal, Intelsat, yang didirikan pada tahun 1964, memperkenalkan satelit Early Bird sebagai contoh perintis satelit komersial operasional. Merangkul upaya kosmik ini, negara-negara, seperti Kanada dan Indonesia juga mengalihkan pandangan mereka kepada hal yang sama, berkontribusi pada eksplorasi satelit yang sedang berlangsung. Kanada meluncurkan satelit komunikasinya sendiri, Anik 1, pada tanggal 9 November 1972, sedangkan Indonesia meluncurkan satelit Palapa 1 pada tanggal 8 Juli 1976 (Labrador, 2024).

Indonesia memimpin negara-negara ASEAN dengan memelopori program antariksa. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah mengawasi kegiatan antariksa sipil dan militer sejak didirikan pada tahun 1963 (Labrador, 2024). Tonggak sejarah perintis ini tidak hanya memiliki makna simbolis, tetapi juga menggarisbawahi peran penting yang kini dimainkan oleh aplikasi teknologi antariksa dalam meningkatkan keselamatan dan keamanan regional (Verspieren et al., 2022). Penelitian utama berfokus pada satelit dan kendaraan peluncuran kecil. Saat peluncuran satelit Palapa pertama pada tahun 1976, Indonesia telah memanfaatkan posisi orbit di dalam cincin geostasioner untuk sistem satelit komunikasi Palapa (Mejía-Kaiser, 2020). Selain itu, Indonesia menjadi anggota ASEAN dan negara berkembang pertama yang mengoperasikan sistem satelit independen. Seri LAPAN-A, yang diperkenalkan pada tahun 2000-an, menampilkan beberapa satelit awal yang diproduksi di dalam negeri setelah adanya kolaborasi transfer teknologi dengan Universitas Teknik Berlin (program LAPAN-TUBSat). Meskipun kegiatan roket bersuara RX telah menunjukkan kemampuan dasar, kemajuan rencana peluncur orbital mengalami penundaan, berpindah dari target awal tahun 2012 ke proyeksi penyelesaian pada tahun 2040 (Labrador, 2024).

Selanjutnya, upaya penelitian perdana, PRIMA, yang merupakan kependekan dari “Pengembangan Roket Ilmiah dan Militer Awal”, menghasilkan pencapaian penting, seperti penciptaan roket Kartika I, yang terbukti sangat sukses. Kolaborasi dengan laboratorium elektronik Institut Teknologi Bandung di bawah proyek PRIMA menghasilkan pengembangan sistem telemetri, yang memungkinkan perolehan data telemetri dari satelit cuaca TIROS-1 Amerika. Indonesia, menyusul India, juga mencapai prestasi serupa. Peluncuran Kartika I berlangsung di situs antariksa Pamengpeuk, Provinsi Jawa Barat.

Pada saat yang bersamaan, Proyek S-1 muncul bersamaan dengan Proyek Kartika, melibatkan Profesor Hideo Itokawa dari Universitas Tokyo, yang terkenal karena merancang pesawat tempur Tentara Kekaisaran Jepang Ki-43 Hayabusa selama Perang Dunia II dan kemudian menjadi tokoh perintis dalam peroketan Jepang. Hebatnya, tim di balik Proyek S-1 mencerminkan tim Kartika I. Proyek S-1 berfokus pada kemajuan teknologi, dengan memanfaatkan sistem roket Kappa 8 eksperimental Jepang. Hal ini memungkinkan roket membawa beban maksimum 50 kg pada ketinggian 200km.

Pendirian stasiun peluncuran di Cilauteureum, dekat Pamengpeuk, Jawa Barat, serta pemasangan fasilitas terkait, untuk mendukung operasional Proyek S-1. Pada bulan Agustus 1965, roket seri Kappa 8 mencapai ketinggian luar biasa yaitu 364 km, sebuah tonggak sejarah penting bagi Indonesia karena menandai peluncuran perdana roket menuju antariksa dari tanah air, serta melampaui ketinggian orbit astronot dan kosmonot pada periode tersebut. Pencapaian ini juga menjadi preseden baru bagi roket yang diluncurkan Khatulistiwa. Misi tersebut berhasil mengumpulkan data ilmiah yang berkontribusi pada pertemuan Tahun Matahari Tenang Internasional (*International Quiet Sun Year*) yang diadakan pada tahun 1964–1965 (Verspieren et al., 2022).

Keterlibatan Indonesia dalam kegiatan antariksa dimulai pada Tahun Geofisika Internasional (IGY) yaitu antara 1957–1958. IGY membuahkan hasil yang luar biasa, seperti peluncuran Sputnik I, Explorer, dan banyak lagi, yang menandai masuknya umat manusia

ke antariksa. Selama ini, Indonesia tergolong “*Black Area*”, sementara negara berkembang Asia lainnya, seperti India dan Pakistan telah memulai peluncuran roket penelitian ilmiah. Mesir juga telah membuat kemajuan dalam rudal balistik dengan bantuan ilmuwan Jerman, yang direncanakan untuk mengorbit satelit Al-Negma dan melatih astronot nasional (Verspieren et al., 2022).

Sejarah perkembangan dan pemanfaatan teknologi antariksa di Indonesia berlangsung selama beberapa dekade. Pendirian Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional Indonesia (LAPAN) pada tahun 1963, mendahului banyak badan antariksa global terkemuka. Tonggak sejarah perintis ini tidak hanya memiliki makna simbolis namun juga menggarisbawahi peran penting yang kini dimainkan oleh aplikasi teknologi antariksa dalam meningkatkan keselamatan dan keamanan regional (Verspieren et al., 2022).

2. Letak Geografis Indonesia sebagai Negara Khatulistiwa

Dalam pertimbangan geografis, agar satelit dapat mencapai orbit, satelit harus didorong ke ketinggian, biasanya melebihi 125 km untuk orbit melingkar, dan berkecepatan horizontal yang signifikan, sekitar 7 km/s untuk orbit rendah Bumi. Muatan yang dikirim ke ketinggian yang lebih rendah menghadapi hambatan atmosfer yang berlebihan sehingga menghambat pemeliharaan kecepatan yang diperlukan untuk orbit tanpa konsumsi bahan bakar tambahan. Demikian pula, muatan yang diluncurkan ke ketinggian yang memadai, tetapi kecepatan horizontalnya kurang memadai, akan membelok keluar lintasan, turun kembali ke Bumi melalui jalur sub-orbital balistik. Prasyarat untuk mencapai kecepatan horizontal yang diperlukan untuk orbit menggarisbawahi signifikansi geografis dari lokasi tertentu di permukaan Bumi untuk meluncurkan muatan ke orbit tertentu (Roberts, 2023).

Bentuk bumi memengaruhi besarnya kecepatan alami permukaan horizontal, sebuah faktor yang bervariasi menurut garis lintang. Lokasi yang lebih dekat dengan khatulistiwa mengalami kecepatan

yang lebih tinggi, mencapai puncaknya pada 465 m/s (1.040 mph) di wilayah khatulistiwa itu sendiri. Sebaliknya, wilayah dengan garis lintang yang lebih tinggi mengalami penurunan kecepatan sekitar 232 m/s (520 mph) pada 60° utara dan selatan khatulistiwa, dan pada akhirnya 0 m/s di kutub. Karena rotasi Bumi ke arah timur, kecepatan permukaan—berapa pun nilainya—selalu bergerak ke arah timur (Roberts, 2023).

Dalam misi antariksa, memanfaatkan kecepatan permukaan Bumi ke arah timur dapat memberikan dorongan awal yang bermanfaat sehingga mengurangi energi yang dibutuhkan untuk mempercepat suatu objek ke kecepatan orbit. Keuntungan ini sangat berharga untuk misi yang memerlukan peluncuran langsung ke orbit prograde, selaras dengan arah rotasi bumi. Sebaliknya, untuk misi yang menargetkan orbit kutub atau dekat kutub memerlukan peluncuran ke arah utara atau selatan, dan kecepatan permukaan ke arah timur menjadi kurang menguntungkan. Peluncuran ke orbit retrograde, di mana satelit bergerak berlawanan dengan rotasi bumi, memerlukan peluncuran ke arah barat sehingga kendaraan peluncur harus melawan kecepatan yang melekat pada bandar antariksa ke arah timur dan mencapai kecepatan horizontal yang diperlukan untuk orbit. Mengoptimalkan manfaat rotasi Bumi untuk peluncuran antariksa mengharuskan peluncuran ke arah timur dari bandar antariksa yang terletak tepat di ekuator (Roberts, 2023).

Dalam kedudukannya sebagai negara khatulistiwa, penting untuk menilik ke belakang terkait sejarah keterkaitan Indonesia di Bogota Declaration. Pada 1976, perwakilan dari beberapa negara khatulistiwa, termasuk Indonesia, berkumpul di Kolombia untuk membahas kedaulatan orbit sinkron geostasioner. Mereka menyatakan bahwa orbit ini, meskipun berhubungan dengan antariksa, harus dianggap sebagai bagian dari wilayah Bumi karena ketergantungannya pada fenomena gravitasi. Akibatnya, mereka menegaskan kedaulatan nasional mereka atas segmen-segmen orbit ini. Setiap negara bagian yang ingin menempatkan perangkat pada segmen ini harus meminta izin dan mematuhi undang-undang nasional negara bagian ekuator

yang bersangkutan. Klaim tersebut juga membatalkan hak satelit yang ada di segmen ini kecuali secara tegas diizinkan oleh negara berdaulat (Mejía-Kaiser, 2020).

Dalam pertemuan-pertemuan di UNCOPUOS, negara-negara yang tergabung ke dalam Deklarasi Bogota dan spacefaring nations masing-masing secara berulang mengajukan argumen dan sanggahan, namun tidak pernah tercapai titik temu yang disepakati bersama perihal status Orbit Geostasioner. Seiring berjalannya waktu, beberapa negara yang semula menandatangani Deklarasi Bogotá mulai menarik atau mengubah sikap mereka. Pada akhirnya, hingga tahun 1985, hanya empat negara yakni Kolombia, Ekuador, Indonesia, dan Kenya yang tetap mempertahankan klaim kedaulatan mereka terhadap wilayah Orbit Geostasioner. Selanjutnya, dalam sesi COPUOS pada 1988, Kolombia, Indonesia, dan Kenya melepaskan klaim kedaulatan mereka dan mendukung advokasi 'akses yang adil' ke Orbit Geostasioner (Mejía-Kaiser, 2020). Sebuah satelit memerlukan sistem propulsinya sendiri untuk bernavigasi ke posisi orbit yang ditentukan dan menyesuaikan secara berkala untuk mempertahankan keselarasan tersebut. Dalam orbit geostasioner, satelit mungkin mengalami deviasi hingga satu derajat setiap tahunnya, baik ke arah utara-selatan maupun timur-barat akibat pengaruh gravitasi Bulan dan Matahari. Satelit GEO diposisikan pada ketinggian 35.786 km (22.236 mil) di atas Bumi, menyelesaikan satu orbit setiap 24 jam untuk tetap diam di lokasi tertentu. Khususnya, hanya tiga satelit GEO yang diperlukan untuk cakupan global, sedangkan 20 atau lebih satelit di LEO dan 10 atau lebih di MEO sangat penting untuk mencakup seluruh bumi. Komunikasi yang efektif dengan satelit di LEO dan MEO mengharuskan penggunaan antena pelacakan berbasis darat untuk memastikan konektivitas tanpa gangguan (Labrador, 2024).

Sinyal yang dipantulkan dari satelit geostasioner (GEO) membutuhkan waktu sekitar 0,22 detik untuk melakukan perjalanan pulang-pergi antara Bumi dan satelit dengan kecepatan cahaya. Penundaan ini dapat menjadi tantangan bagi aplikasi seperti layanan suara dan telepon seluler. Untuk mengurangi latensi, kebanyakan layanan seluler

dan suara menggunakan satelit orbit bumi rendah (LEO) atau orbit bumi menengah (MEO). Sebaliknya, satelit GEO biasanya dipakai untuk penyiaran dan aplikasi data karena jangkauan cakupannya yang luas.

Peluncuran satelit ke antariksa memerlukan roket multistap yang kuat untuk memposisikannya dengan benar di orbit. Berbagai penyedia peluncuran satelit mengarahkan roket khusus dari lokasi seperti Kennedy Space Center di Cape Canaveral, Florida, Kosmodrom Baikonur di Kazakhstan, Kourou di Guyana Prancis, Pangkalan Angkatan Udara Vandenberg di California, Xichang di Tiongkok, dan Pulau Tanegashima di Jepang (Roberts, 2023).

Kini jelas bahwa aspirasi yang diartikulasikan dalam Pasal I Perjanjian Antariksa sedang menuju realisasi, menekankan bahwa eksplorasi dan pemanfaatan antariksa harus bermanfaat bagi semua negara, terlepas dari kemajuan ekonomi atau ilmu pengetahuan/teknis mereka. Praktik kolektif yang dilakukan oleh negara-negara ini berkontribusi pada pemanfaatan ruang orbit yang lebih rasional, ekonomis, dan efektif. Namun, seiring dengan semakin banyaknya negara yang memasang satelit di Cincin Geostasioner, kebutuhan akan peningkatan koordinasi dalam aktivitas antariksa di kawasan ini menjadi semakin jelas. Hal ini mencakup aspek-aspek seperti penentuan posisi satelit, penggunaan frekuensi elektromagnetik, pengelolaan sampah antariksa, pengawasan antariksa, dan komunikasi tepat waktu mengenai potensi tabrakan antar satelit dan kejadian cuaca antariksa (Mejía-Kaiser, 2020).

D. Pentingnya Aspek Hukum dan Politik dalam Pembangunan dan Pengoperasian Bandar Antariksa di Indonesia

Subbab ini akan melihat pentingnya aspek hukum dan kebijakan politik terkait dengan pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa di Indonesia.

1. Aspek Hukum Terkait

Aspek hukum ini ditinjau dari dua hukum, yaitu hukum investasi dan hukum lingkungan. Kedua aspek hukum ini akan dijabarkan lebih lanjut.

a. Hukum Investasi

Stabilitas politik selalu menjadi perhatian utama bagi para investor. Negara dengan ketidakstabilan politik cenderung mengalami ketidakstabilan sosial, peningkatan inflasi, kekerasan, korupsi, dan kemiskinan sehingga sulit untuk menarik dan mempertahankan investasi asing langsung atau disebut sebagai *foreign direct investment* (FDI) (Caon, 2020). Banyak studi ilmiah yang mengidentifikasi hubungan positif antara stabilitas politik dan FDI di negara-negara Asia Tenggara, seperti Vietnam, Indonesia, Malaysia, Filipina, Singapura, dan negara Asia Tenggara lainnya (Hoang & Bui, 2015). Studi pada kontinen tersebut menunjukkan stabilitas politik meningkatkan rasa percaya diri pada investor terhadap negara tujuan investasi. Seperti yang terjadi di Vietnam, dengan masyarakat yang stabil, banyak investor yang menanamkan modalnya pada kegiatan usaha di Vietnam. Terutama pada tahun 2020, merek nasional Vietnam tumbuh paling cepat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai merek yang melonjak pada angka 29% menjadi US\$319 miliar (Hoang & City, 2021).

Komitmen internasional melalui perjanjian perdagangan yang dilakukan oleh Vietnam selalu membuat investor internasional merasa aman untuk meningkatkan investasi. Bahkan, perwakilan Asosiasi Bisnis Amerika (Amcham), Asosiasi Bisnis Inggris (Britcham), dan Eurocham mengatakan bahwa perjanjian perdagangan bebas (FTA) yang penting dan sedang diterapkan Vietnam telah menciptakan daya tarik besar bagi FDI, terutama pasar yang mendapat manfaat dari perjanjian tersebut untuk masuk ke Vietnam. Namun, bergantung kepada stabilitas politik dan komitmen negara kepada perjanjian internasional saja tidaklah cukup untuk menarik FDI untuk datang ke suatu negara, pemerintah setempat juga harus memiliki kapasitas dan kekuatan.

Salah satu negara yang mendapat perhatian dan menjadi *role model* untuk menarik FDI dalam membangun kekuatan antariksanya adalah India. Untuk menarik pendanaan FDI dalam mengembangkan lebih lanjut kekuatan antariksanya, India membuat suatu program yang bernama Atmanirbar Bharat Programe. Pada awalnya, program yang artinya adalah '*self-reliant India*' ini dibuat oleh pemerintah negara India untuk membantu atau mendanai negara mereka dalam menghadapi wabah global Covid-19, yang selanjutnya diubah untuk mengindependensikan India dalam kegiatan ekonomi, infrastruktur, sistem negara, kualitas demografi, dan *demand* pasar terhadap produk atau jasa dari negara India. Program ini dilakukan melalui reformasi terhadap beberapa kebijakan di antaranya adalah reformasi dalam *supply chain* produk pertanian, sistem perpajakan yang rasional, hukum yang jelas dan mudah dimengerti, sumber daya manusia yang mempunyai kapabilitas, serta memberikan sistem finansial yang kuat (India, 2020). Program ini dibuat sebagai katalis untuk membawa FDI ke dalam India dan membantu pemerintah India dalam membangun bandar antariksa kedua (Gupta & Kumari, 2024).

Reformasi yang berhubungan dengan FDI dan kegiatan antariksa di India dilakukan dengan meliberalisasi FDI dan memberikan kejelasan bagi FDI pada beberapa kegiatan antariksa di bidang satelit, media peluncuran, beserta sistem dan sub-sistem terkait, pembuatan bandar antariksa untuk peluncuran dan pendaratan pesawat antariksa, disertai dengan pembuatan komponen dan sistem terkait kegiatan antariksa. Kebijakan tersebut mengizinkan FDI untuk membuat dan mengoperasikan satelit, produk data satelit (hingga 74%), roket peluncur beserta sistem dan sub-sistem terkait, pembuatan bandar antariksa seperti dijelaskan sebelumnya (hingga 49%), serta memberikan 100% kepemilikan dan keleluasaan dalam pembuatan komponen dan sistem/sub-sistem untuk satelit. Pemerintah India berpendapat bahwa peningkatan partisipasi sektor swasta akan menghasilkan lapangan kerja, memungkinkan adanya penyerapan teknologi modern, serta membuat sektor antariksa menjadi mandiri. Selanjutnya, integrasi antara perusahaan-perusahaan India dengan rantai global

industri antariksa akan terjadi sehingga meningkatkan kesempatan perusahaan nasional untuk mendirikan fasilitas manufaktur kegiatan antariksa di dalam negeri (Sudhakar, 2024).

India telah berhasil mencapai banyak tujuan di bidang antariksa dengan sumber daya yang terbatas. Program antariksa India terus berkembang, dengan peluncuran satelit yang lebih besar, roket pengangkat berat, dan peningkatan kemampuan pengamatan Bumi. India berencana mengirimkan misi berawak pertamanya ke antariksa pada pertengahan tahun 2022. Peluncuran yang sukses dari kru tiga orang ini akan menjadikan India negara keempat setelah Rusia, Amerika Serikat, dan China yang berhasil mengirim manusia ke antariksa. Perdana Menteri Narendra Modi mengumumkan rencana misi berawak ini dan menyetujui anggaran sekitar \$1,4 miliar untuk menyediakan teknologi dan infrastruktur untuk kegiatan pada masa depan. Jumlah ini menjadikannya salah satu program antariksa berawak termurah di dunia. Baik pria maupun wanita dapat dipilih untuk misi ini (Dawson, 2021).

India sekarang bersaing dengan negara-negara lain untuk mendapatkan bagian dari pasar satelit. Sistem satelit navigasi global India (GNSS) yang disebut Navigation with Indian Constellation (NAVIC, juga berarti navigator dalam bahasa Hindi) terdiri dari konstelasi tujuh satelit Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) yang terletak di orbit geostasioner pada ketinggian 36.000 kilometer. NAVIC telah diakui oleh pemerintah AS sebagai bagian dari sistem “sekutu” yang setara dengan sistem satelit Jepang dan ESA. Selain sistem satelitnya sendiri, India telah menggunakan kendaraan peluncurannya untuk meluncurkan ratusan satelit untuk puluhan negara dan perusahaan komersial yang berbeda (Dawson, 2021).

Berkaca melalui keberhasilan kedua negara di atas, ada beberapa poin yang dapat diambil dalam mengembangkan dan/atau membangun bandar antariksa melalui FDI, yaitu pertama adalah stabilitas politik suatu negara, komitmen negara dalam menjalankan perjanjian yang telah dibuat, dan kejelasan hukum atau peraturan mengenai FDI. Dalam konteks pembangunan bandar antariksa di negara Indonesia,

hal paling utama yang harus diperhatikan adalah eksistensi dari peraturan yang menjadi delegasi dari UU Antariksa dalam hal pembangunan bandar antariksa. Ketidakhadiran peraturan serupa akan mengakibatkan ketidakjelasan dalam kegiatan pembangunan bandar antariksa, khususnya dalam hal pendanaan proyek tersebut. Indonesia sebenarnya sudah melakukan beberapa upaya dalam mengolah iklim investasi yang ada di Indonesia menjadi mudah untuk investor asing menanamkan modalnya di Indonesia, yaitu melalui Undang-Undang Cipta Kerja beserta dengan peraturan-peraturan turunannya.

Apabila negara Indonesia menginginkan pembangunan bandar antariksa terealisasi, Indonesia harus segera menetapkan terlebih dahulu kebijakan khusus mengenai pembangunan bandar antariksa, sebagai pedoman dan acuan dalam kegiatan pembangunannya, peraturan tersebut dapat digunakan untuk menarik FDI dalam membantu Indonesia membangun bandar antariksa. Selain membuat kebijakan khusus, Indonesia juga dapat merancang *Investment Treaty* yang bersifat bilateral atau lebih, yang menekankan materi di dalamnya kepada investasi dalam bidang antariksa. Indonesia sebenarnya memiliki potensi besar untuk investasi, namun perkembangan investasi di Indonesia masih belum signifikan. Banyak hambatan yang menghalangi investor asing untuk menanamkan modalnya di Indonesia. Masalah paling menonjol adalah infrastruktur yang belum merata dan memadai. Selain itu, ada juga masalah ketenagakerjaan, birokrasi, dan regulasi yang masih bermasalah. Sumber daya manusia dan penyelesaian sengketa di Indonesia juga belum kredibel. Keputusan menteri, peraturan daerah, dan undang-undang lainnya masih kurang detail terkait kegiatan penanaman modal, yang mengakibatkan kurangnya kepastian hukum bagi para investor, terutama investor asing, dan menyebabkan ketidakpastian dalam berinvestasi (Khairunisa & Komalasari, 2023).

Perlu adanya jaminan kepastian hukum yang jelas sebagai penyeimbang upaya pembangunan dan usaha menarik minat investor untuk berinvestasi di Indonesia. Tanpa kepastian ini, akan muncul persoalan serius yang membuat investor enggan menanamkan

modalnya di Indonesia. Jika hal ini tidak segera diperbaiki, banyak perusahaan akan memilih menanamkan modalnya di negara lain, seperti Tiongkok atau Vietnam. Bukan hanya investor baru yang tidak tertarik berinvestasi di Indonesia, tetapi juga investor lama yang mungkin akan meninggalkan Indonesia dan memindahkan investasinya ke negara lain yang lebih produktif (Khairunnisa & Komalasari, 2023).

Pelaksanaan perlindungan terhadap investor asing dari risiko non-komersial diatur dalam Pasal 4 Ayat (2) Huruf b UU Penanaman Modal, yang menyatakan bahwa *“pemerintah menjamin kepastian hukum, kepastian berusaha, dan keamanan berusaha bagi investor dari proses perizinan hingga berakhirnya kegiatan penanaman modal.”* Hal ini menjadi sangat penting terutama pada era globalisasi, di mana kewajiban pemerintah adalah memberikan kepastian hukum dan menjamin keamanan bagi perusahaan penanam modal asing. Pengaturan yang jelas mengenai sistem pengelolaan investasi, baik dari pemerintah daerah, seperti kabupaten/kota maupun provinsi, sangat diperlukan dalam penyelenggaraan penanaman modal di Indonesia.

b. Hukum lingkungan

Hukum lingkungan menjadi salah satu hal yang sangat penting dalam pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa yaitu memperhatikan lingkungan hidup di dalamnya dan di sekitarnya. Hal ini sesuai dengan amanat Pasal 45 Ayat 2 dan Pasal 48 UU Keantariksaan. Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di wilayah bandar antariksa menjadi aspek penting yang perlu diakomodasi di dalam regulasi pembangunan dan pengelolaan bandar antariksa. Ketentuan mengenai analisis dampak lingkungan (AMDAL) di wilayah bandar antariksa harus diatur sedemikian rupa guna dapat meminimalisasi terjadinya kerusakan dan pencemaran lingkungan di wilayah bandar antariksa. Status lokasi yang akan dijadikan bandar antariksa haruslah jelas dan bukan merupakan bagian dari wilayah konservasi dan bukan merupakan hutan adat dari suatu adat yang berada di wilayah tersebut.

Biak merupakan salah satu kandidat lokasi yang akan dipilih sebagai tempat pembangunan bandar antariksa di Indonesia. Namun, perlu diperhatikan bahwasannya Biak merupakan salah satu dari 25 kawasan strategis nasional dari sudut kepentingan lingkungan hidup (Rachman, 2021). Dengan status Biak tersebut, maka pemerintah tentu perlu bijak dan cermat dalam merancang regulasi pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa. Meskipun LAPAN telah memiliki lahan seluas 100 hektare di Biak yang akan dikandidatkan menjadi lokasi bandar antariksa di Indonesia, namun pemerintah perlu untuk mengkaji ulang terkait dampak lingkungan akibat peluncuran roket dalam skala besar di lokasi tersebut. Pada tahun 2019 lalu, saat SpaceX melakukan uji coba peluncuran prototipe roket Starhopper, hal ini menyebabkan kebakaran semak seluas 100 hektare yang tidak disengaja dan bahkan menyebabkan munculnya peringatan ledakan di wilayah peluncuran (Howell, 2019). Atas dasar hal tersebut, maka pemerintah perlu mempersiapkan lokasi yang lebih luas dibandingkan apa yang dimiliki saat ini agar terhindar dari potensi kerusakan lingkungan, polusi udara, dan polusi di laut akibat serpihan roket yang terbakar dalam peluncuran.

2. Kebijakan Politik

Kebijakan luar negeri suatu negara pada era antariksa, yang penting untuk keamanan nasional, bergantung pada dinamika eksternal dan internal yang kompleks. Penguasaan teknologi antariksa meningkatkan kemampuan suatu negara untuk mengamankan wilayah fisiknya dari ancaman eksternal, yang tecermin dalam pertahanan strategis dan keterlibatan diplomatiknya. Dengan memanfaatkan kemampuan antariksa untuk pengawasan canggih, sistem peringatan dini, dan operasi militer yang presisi, suatu negara dapat lebih baik mencegah potensi agresor dan menegaskan pengaruhnya secara global. Hal ini memerlukan investasi signifikan dalam penelitian ilmiah, pengembangan teknologi, dan kerja sama internasional, juga memastikan pendekatan yang kuat dan komprehensif untuk menjaga kedaulatan dan mempromosikan stabilitas (Sudjatmiko, 2017).

Dari sudut pandang teknologi, penggunaan satelit untuk memetakan permukaan Bumi merupakan salah satu cara mengangkak antariksa ke dalam ranah kontrol luas kegiatan terestrial. Pemanfaatan antariksa untuk tujuan non-militer atau sipil dilakukan melalui peluncuran satelit, yang bertindak sebagai perpanjangan kedaulatan suatu negara (Abeyratne, 2011). Kemampuan antariksa meliputi beberapa fitur penting, seperti pengindraan jauh, sistem informasi geografis, pencitraan satelit, dan sistem penentuan posisi global (GPS). Atribut-atribut ini menjadikan teknologi antariksa sebagai alat yang sangat penting untuk operasi terestrial, memberikan kontrol yang lebih baik dan cakupan luas untuk melindungi keamanan tanah di bawahnya (Abeyratne, 2011).

Indonesia, dengan luas wilayah dan posisi geografis yang penting dalam geopolitik global, memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah, baik organik maupun non-organik. Kekayaan sumber daya ini menempatkan Indonesia sebagai pemain penting di panggung dunia. Hal ini disertai dengan kemampuan untuk memengaruhi dinamika regional dan internasional. Wilayah yang luas ini tidak hanya memberikan banyak peluang, tetapi juga tantangan dalam pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya tersebut secara efektif. Indonesia dengan statusnya sebagai negara berdaulat dan lingkungan geopolitik, serta geostrategis yang dinamis, menghadapi potensi ancaman yang signifikan. Untuk menghadapi kompleksitas ini dan memastikan keamanan nasional, penting bagi Indonesia untuk meningkatkan kemampuan antariksa. Pengembangan program antariksa yang kuat akan memungkinkan Indonesia untuk memantau dan mengelola wilayahnya dengan lebih baik, meningkatkan posisi strategisnya, dan merespons ancaman yang muncul dengan lebih efektif. Peningkatan kemampuan ini sangat penting untuk menjaga keamanan nasional dan melindungi kepentingan Indonesia dalam lanskap global yang semakin kompleks (Hidayatullah, 2015).

Indonesia mengutamakan politik luar negeri yang bebas aktif dengan berpedoman pada prinsip kemerdekaan sambil tetap menjaga perdamaian. Indonesia percaya bahwa negara-negara tetangga adalah

sahabat yang memiliki komitmen bersama untuk memajukan keamanan dan stabilitas di kawasan. Penetapan cara pandang yang sama diperlukan untuk meminimalkan permasalahan dalam hubungan internasional, baik bilateral maupun multilateral. Pengembangan kekuatan pertahanan tidak dimaksudkan sebagai perlombaan senjata; hal ini bertujuan untuk mencapai standar profesionalisme kekuatan pertahanan sesuai dengan visi, misi, kebijakan Indonesia (Nawacita), dan kebijakan Poros Maritim Global (GMF). Oleh karena itu, untuk menetapkan kebijakan GMF, Pemerintah perlu membangun kekuatan pertahanan maritim yang didukung oleh teknologi antariksa (Ministry of Defence, 2015).

Mengacu pada perkembangan antariksa dari dua negara yang kini memimpin sektor tersebut, yaitu Amerika Serikat dan China, pengembangan yang pesat dan pendanaan yang sangat besar (Defense, 2020) menunjukkan betapa pentingnya peran antariksa bagi kedua negara adidaya tersebut. Amerika Serikat tidak lagi berfokus hanya pada pembangunan bandar antariksa, tetapi menjadikan pembangunan bandar antariksa menjadi bagian kecil dari program yang lebih besar. China, dalam dekade terakhir, telah mengembangkan kekuatan militer melalui militerisasi antariksa. Pengembangan ini didukung dengan banyaknya peluncuran satelit multifungsi dan pengembangan berbagai jenis senjata anti-satelit (ASAT). Hal ini menjadikan China memiliki daya pertahanan dan daya serang yang lengkap dalam sektor militer antariksa (Harrison et al., 2020).

Perbandingan ini menunjukkan bahwa Indonesia memerlukan usaha lebih untuk mengejar ketertinggalan dalam meningkatkan pertahanan antariksa di kancah internasional. Ketertinggalan ini terbukti dengan tidak adanya bandar antariksa semenjak UU Antariksa ditetapkan dan kecilnya anggaran kementerian terkait, dibandingkan anggaran antariksa AS dan pesatnya perkembangan pertahanan antariksa China. Jika Indonesia ingin mewujudkan kapasitas antariksanya agar mampu bersaing dengan negara-negara lain (Ministry of Defence, 2015), perlu komitmen dan usaha untuk pengembangan dan pembangunan bandar antariksa menjadi urgensi pada masa depan.

Indonesia telah menunjukkan tanda-tanda keterlibatannya dalam perlombaan antariksa yang telah diikuti oleh banyak negara berkembang, namun dalam aspek industrialisasi dan komersialisasi antariksa, Indonesia belum menunjukkan kompetensi yang signifikan. Meskipun Indonesia telah meluncurkan lebih dari sepuluh satelit, tidak ada satupun yang dibuat oleh para ahli dari Indonesia ataupun diluncurkan dari tanah Indonesia.

Masalah lain muncul dari eksistensi bandar antariksa di Indonesia, yang sejauh ini masih belum terealisasi. Sampai saat ini, Indonesia masih bergantung pada bandar antariksa milik negara lain. Indonesia sangat membutuhkan kedaulatan dalam semua kegiatan antariksanya. Kedaulatan yang dicita-citakan sejak lama dapat terealisasi jika Indonesia memanfaatkan keuntungan geografis yang belum optimal. Dengan posisi geostasioner yang digunakan oleh satelit Indonesia dan letak geografis yang berada di garis khatulistiwa, biaya peluncuran satelit dapat lebih hemat (Sitindjak, 2004). Pengalaman dalam peluncuran dan pemanfaatan teknologi satelit, ditambah dengan keuntungan geografis, adalah faktor penting untuk meningkatkan pemanfaatan antariksa secara optimal dan mandiri.

Sejak tahun 1962, Indonesia telah mengelola pemanfaatan antariksa melalui Panitia Astronautika dan proyek antariksa (PRIMA). Program pemanfaatan antariksa melalui satelit dimulai pada tahun 1975 dengan peluncuran satelit Palapa-A1. Pada tahun 2019 dan 2020, Indonesia meluncurkan satelit Nusantara 1 dan Nusantara 2, meskipun satelit Nusantara 2 gagal mengorbit karena anomali peluncuran (Iksan, 2020). Meskipun Indonesia merupakan *emerging space actors* dalam pemanfaatan antariksa, Indonesia masih bergantung pada negara lain untuk pembuatan satelit. Hingga kini, Indonesia memiliki banyak satelit buatan yang dikelola sendiri, namun tidak ada satu pun yang dibuat dan diluncurkan di Indonesia. Ketergantungan pada industri luar negeri menunjukkan bahwa Indonesia belum mandiri dalam teknologi antariksa.

Untuk mencapai kedaulatan teknologi dalam antariksa, Indonesia perlu memanfaatkan keuntungan yang dimilikinya dan

mengaplikasikan kebijakan nasional serta internasional yang dapat memudahkan pencapaian kedaulatan tersebut. Sampai saat ini, dalam urusan transfer teknologi antariksa, masih terdapat kontrol ekspor dari negara-negara adidaya dunia, seperti yang dimiliki oleh Amerika Serikat (AS), yang membuat pemerintah AS memiliki wewenang untuk menentukan penerima teknologi tersebut (Government, 2020). Keputusan ini tentunya dipengaruhi oleh politik luar negeri AS yang kini mendapat tekanan dari musuh lama seperti Rusia dan musuh baru seperti China. Hal ini terlihat dalam contoh kasus perusahaan Thales Alenia Space, perusahaan Prancis-Italia yang bergerak di bidang manufaktur teknologi antariksa yang mendapat halangan dalam melakukan kegiatan ekspor satelit ke negara lain akibat dari pemberlakuan kontrol ekspor dari AS (B. de Selding, 2013).

Peraturan yang dibuat secara unilateral namun berdampak multilateral tentu akan menimbulkan pertanyaan. Hukum Internasional yang mengatur hubungan antarnegara menyatakan bahwa ketentuan unilateral seharusnya hanya diterapkan oleh negara tersebut untuk menentukan kebijakannya sendiri, bukan untuk negara lain. Permasalahan ini sangat memengaruhi negara-negara berkembang yang ingin mengembangkan kemampuan antariksa mereka, seperti Indonesia. Dengan adanya kebijakan seperti yang diterapkan AS, rencana Indonesia untuk membangun bandar antariksa atau mengembangkan teknologi antariksa akan menghadapi hambatan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kontrol transfer teknologi yang dimiliki AS sangat bergantung pada kepentingan pertahanan dan politik luar negeri AS. Situasi politik global yang tidak stabil saat ini bisa membuat Indonesia masuk dalam daftar negara yang tidak bisa menerima teknologi antariksa dari AS.

Untuk mengatasi tantangan dalam bidang teknologi antariksa, Indonesia harus melaksanakan langkah-langkah kebijakan internasional yang komprehensif untuk melindungi kemajuan teknologinya dari pengaruh kekuatan global besar dan kebijakan mereka. Negara-negara berpengaruh ini sering kali membentuk peraturan dan kerangka internasional yang dapat menghambat kemajuan Indonesia dalam

mengembangkan kemampuan antariksa. Dengan merancang dan menerapkan kebijakan yang dapat mengatasi tekanan eksternal ini, Indonesia dapat menciptakan lingkungan yang lebih kondusif untuk pertumbuhan teknologinya sendiri. Pendekatan ini akan memastikan bahwa pengembangan teknologi antariksa Indonesia tetap kuat dan mandiri sehingga memungkinkan negara ini untuk berkembang tanpa campur tangan dari kepentingan luar.

Selain kebijakan internasional yang strategis, peningkatan kualitas sumber daya manusia (SDM) Indonesia sangat penting. Pengembangan profesional dan ahli yang terampil dalam sektor antariksa akan menjadi kunci dalam mengoperasikan teknologi antariksa canggih dan memfasilitasi produksi teknologi tersebut secara mandiri pada masa depan. Dengan berinvestasi dalam program pendidikan dan pelatihan, Indonesia dapat membangun tenaga kerja yang mampu mendorong inovasi dan mempertahankan standar tinggi dalam eksplorasi dan teknologi antariksa. Integrasi yang berhasil antara peluang, kebijakan perdagangan luar negeri yang baik, dan basis SDM yang terlatih akan menjadi kunci dalam menciptakan kedaulatan teknologi di sektor antariksa.

Namun, untuk mencapai visi ini diperlukan lebih dari sekadar kebijakan strategis dan tenaga kerja yang terampil. Pemerintah Indonesia harus menunjukkan kesiapan, keberanian, dan ketegasan untuk membebaskan diri dari pengaruh kebijakan luar negeri dari negara berkekuatan besar, seperti Amerika Serikat. Selain itu, Indonesia perlu mengurangi ketergantungan pada kebijakan eksternal sehingga akan membuka peluang baru bagi Indonesia untuk menjalin kemitraan dengan negara lain yang dapat mendukung program antariksa, terutama dalam pengembangan bandar antariksa. Meskipun pergeseran ini dapat menimbulkan perdebatan dalam hubungan internasional Indonesia, pembentukan kemampuan antariksa yang kompetitif memerlukan tindakan politik yang tegas dan berani dari pemerintah. Langkah-langkah semacam itu tidak hanya akan memperkuat posisi Indonesia di arena antariksa global, tetapi juga berkontribusi pada keamanan dan kemandirian teknologinya dalam jangka panjang.

E. Penutup

Artikel ini mengungkapkan potensi besar yang dimiliki Indonesia dalam pembangunan bandar antariksa, mengingat lokasinya yang strategis di sepanjang garis khatulistiwa serta sejarah panjangnya di bidang keantariksaan. Sebagai pelopor program antariksa di ASEAN, Indonesia telah menunjukkan kemampuan operasional dalam meluncurkan dan mengelola sistem satelit melalui proyek-proyek, seperti peluncuran satelit Palapa dan LAPAN-A. Kemampuan ini tidak hanya memperkuat posisi Indonesia di kancah antariksa global, tetapi juga membuka peluang besar untuk pengembangan teknologi roket dan satelit secara mandiri di masa depan.

Untuk merealisasikan potensi ini, diperlukan pengembangan kerangka hukum yang jelas serta stabilitas politik yang mendukung pembangunan bandar antariksa. Regulasi yang konsisten dan kepastian hukum sangat penting untuk memfasilitasi investasi serta mendorong inovasi teknologi, sekaligus memastikan perlindungan hak dan kewajiban semua pihak yang terlibat. Selain itu, peningkatan kualitas sumber daya manusia di bidang teknologi antariksa menjadi kunci untuk mencapai kemandirian dalam produksi dan pengembangan teknologi. Dengan langkah-langkah strategis ini, Indonesia dapat memosisikan dirinya sebagai pemain utama dalam eksplorasi dan pemanfaatan antariksa di masa mendatang.

Referensi

- Abeyratne, R. (2011). *Space security law*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16702-7>
- B. de Selding, P. (2013). *Thales Alenia Space: U.S. Suppliers at Fault in "ITAR-free" Misnomer*. Spacenews. <https://spacenews.com/36706thales-alenia-space-us-suppliers-at-fault-in-itar-free-misnomer/>
- Caon, V. (2020, November 9). *FDI drivers and political stability* [Online post]. Investment Monitor. <https://www.investmentmonitor.ai/features/fdi-drivers-and-political-stability/>

- Dawson, L. (2021). *The politics and perils of space exploration: Who Will compete, who will dominate?* Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56835-1>
- Defense, O. of the U. S. of. (2020). *Defense budget overview: United States Department of Defense Fiscal Year 2021 Budget Request* (p. 133). Under Secretary of Defense (Comptroller).
- Government, U. S. (2020). *International Traffic in Arms Regulations (ITAR)*. LII / Legal Information Institute. [https://www.law.cornell.edu/wex/international_traffic_in_arms_regulations_\(itar\)](https://www.law.cornell.edu/wex/international_traffic_in_arms_regulations_(itar))
- Gupta, D., & Kumari, S. (2024, April 24). *Boosting innovation: Space Sector Reforms for a Developed and Atmanirbhar Bharat*. Lexology. <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=7364adc6-fc5f-4ebf-9a75-5e1580e80d44>
- Harrison, T., Johnson, K., Roberts Tyler, T. G., Makena, W., Foreword, Y., & Faga, M. C. (2020). *Space Threat Assessment 2020* (pp. 1–80). Center for Strategic & International Studies. www.csis.org
- Hidayatullah, P. (2015). Kedaulatan Antariksa Indonesia: “Frontir terakhir yang terlupakan.” *Jurnal Kajian Lemhanas RI*, 3(1), 53–73.
- Hoang, H. H., & Bui, D. H. (2015). Determinants of foreign direct investment in ASEAN: A panel approach. *Management Science Letters*, 5(2), 213–222. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2014.12.015>
- Hoang, N. T., & City, C. M. (2021). Foreign direct investment and good local governance: The issue of political will and commitment. *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*, 24(6).
- Howell, E. (2019, September 19). *SpaceX Seeks Property Buyouts Near Starhopper Launch Site in Texas: Report*. Space.Com. <https://www.space.com/spacex-starship-boca-chica-property-buyouts.html>
- Iksan, M. (2020). *Johnny jelaskan kronologi Satelit Nusantara 2 gagal mengorbit*. CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20200410141834-199-492373/johnny-jelaskan-kronologi-satelit-nusantara-2-gagal-mengorbit>
- India, I. (2020). *Self-reliant India Campaign*. Atmanirbhar Bharat Abhiyaan. <https://www.investindia.gov.in/atmanirbhar-bharat-abhiyaan>
- Khairunnisa, A. T., & Komalasari, Y. (2023). Analisis yuridis mengenai faktor dan perlindungan hukum foreign direct investment di Indonesia. *Civilia: Jurnal Kajian Hukum dan Pendidikan Kewarganegaraan*, 3(2).

- Labrador, V. (2024, December 3). *Satellite communication—Global, Navigation, Broadcasting*. Britannica. <https://www.britannica.com/technology/satellite-communication/Satellite-applications>
- Mejía-Kaiser, M. (2020). *The geostationary ring: Practice and law*. Brill NV.
- Ministry of Defence, I. (2015). *Defence: White Paper* (Third Edit). Ministry of defence of the republic of Indonesia. www.kemhan.go.id
- NUGRAHA, R. A. (2024, July 4). *Starlink dan Cita-cita Keantariksaan Indonesia*. [kompas.id](https://www.kompas.id). <https://www.kompas.id/baca/opini/2024/07/02/starlink-dan-cita-cita-keantariksaan-indonesia>
- Nugraha, T. R., Putro, Y. M., Aditya Nugraha, R., & Christiawan, R. (2022). Indonesian Space Activities: The Long and Winding Road. *Astropolitics*, 20(2–3), 238–250. <https://doi.org/10.1080/14777622.2022.2141113>
- Pelton, J. N. (2010). Chapter 23—The international challenges of regulation of commercial space flight. In J. N. Pelton & R. S. Jakhu (Eds.), *Space Safety Regulations and Standards* (pp. 289–300). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-752-8.10023-6>
- Putro, Y. M., & Nugraha, R. A. (2022). *A spaceport in Indonesia's new capital? - Academia*. The Jakarta Post. <https://www.thejakartapost.com/opinion/2022/10/26/a-spaceport-in-indonesias-new-capital.html>
- Rachman, A. H. (2021). Ketidakpastian Status Lahan dan Potensi Deforestasi Dalam Wacana Pembangunan Bandar Antariksa Biak. *Jentera: Jurnal Hukum*, 4(1), Article 1. <https://jurnal.jentera.ac.id/index.php/jentera/article/view/26>
- Roberts, T. G. (2023, January 31). *Spaceports of the World*. Aerospace Security. <https://aerospace.csis.org/data/spaceports-of-the-world/>
- Sitindjak, A. (2004). PEMBANGUNAN DAN PENGOPERASIAN FASILITAS PELUNCURAN WAHANA ANTARIKSA DARI WILAYAH UDARA INDONESIA. *Jurnal Analisis Dan Informasi Kedirgantaraan*, 2(2), 1–15.
- Sudhakar, P. (2024, February 22). *FDI in space sector expected to spur industrial growth in southern districts* [Online post]. The Hindu. <https://www.thehindu.com/news/cities/Madurai/fdi-in-space-sector-expected-to-spur-industrial-growth-in-southern-districts/article67874369.ece>
- Sudjatmiko, T. (2017). Keamanan Negara dalam Kegiatan Antariksa Nasional: Perspektif Realis Ofensif. *Jurnal Global & Strategis*, 9(2), 207. <https://doi.org/10.20473/jgs.9.2.2015.207-226>

- Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 Tentang Keantariksaan, 21 (2013).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/38897/uu-no-21-tahun-2013>
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (2022). *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210021852>
- UNOOSA, U. (2023). *United Nations Office for Outer Space Affairs 2022 Annual Report*. https://www.unoosa.org/documents/pdf/annualreport/UNOOSA_Annual_Report_2022.pdf
- Verspieren, Q., Berthet, M., Coral, G., Nakasuka, S., & Shiroyama, H. (Eds.). (2022). *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-7326-9>

BAB VIII

Posisi Indonesia dalam Misi Eksplorasi Antariksa

Stevani Anggina dan Adhi Pratomo

A. Eksplorasi Antariksa dan Era Baru Perlombaan Antariksa

Keberminatan manusia terhadap aktivitas ataupun eksplorasi keantariksaan sudah ditunjukkan sejak permulaan dari *Space Age*, yaitu Sputnik 1, satelit buatan pertama Uni Soviet yang berhasil diluncurkan pada 1957. *Space Age* merupakan periode yang ditandai dengan terjadinya aktivitas eksplorasi antariksa, teknologi antariksa, serta kompetisi antariksa (Garber, 2007). Peluncuran Sputnik 1 kemudian menjadi pemicu perkembangan teknologi dan kompetisi keantariksaan, khususnya antara Rusia dan Amerika Serikat.

Beberapa tahun kemudian, program keantariksaan di kawasan Asia meningkat secara signifikan terutama negara-negara, seperti

S. Anggina & A. Pratomo

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: stev002@brin.go.id, adhi008@brin.go.id

© 2025 Editor & Penulis

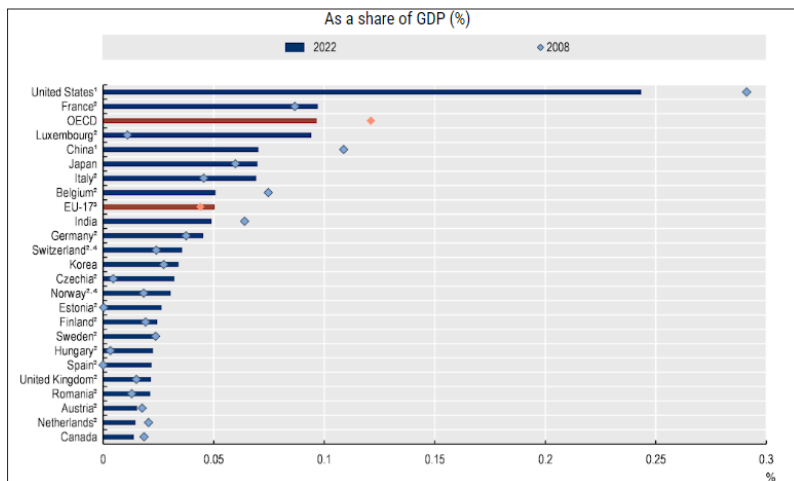
Anggina, S. & Pratomo, A. (2025). Posisi Indonesia dalam Misi Eksplorasi Antariksa. Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), *Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan* (201–228). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1502, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Buku ini tidak diperjualbelikan

Jepang, China dan India. Ketiga negara tersebut pada 2018 dan 2022 memiliki rasio anggaran keantariksaan yang kompetitif, terutama dalam program utilisasi dan eksplorasi antariksa, jika dibandingkan negara-negara OECD lainnya (lihat Gambar 8.1). Secara umum, meskipun trennya bertumbuh sebagai kekuatan industri, teknologi, dan ekonomi baru, namun kekuatan keantariksaan negara-negara di Asia masih belum dipandang. Lain halnya dengan NASA dan Badan Antariksa Eropa (ESA) yang masih mendominasi kegiatan eksplorasi antariksa.

Melihat perkembangan pemahaman dan tumbuhnya kesadaran negara-negara kawasan Asia akan teknologi keantariksaan, beberapa peneliti tertarik melakukan studi mengenai tren dari program dan perkembangan keantariksaan negara-negara kawasan Asia. Seperti misalnya studi yang mempelajari tentang program keantariksaan negara-negara kawasan Asia Tenggara. Studi tersebut menunjukkan bahwa masing-masing negara mempunyai karakteristik yang sama dalam pengembangan program keantariksannya. Salah satunya, kerja sama internasional masih memegang peranan penting dalam mendukung perkembangan keantariksaan. Selain itu, semua negara-negara kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, dinilai masih kurang kompetitif dalam program eksplorasi antariksa. Mereka cenderung menggunakan dan memanfaatkan teknologi antariksa untuk mendukung pembangunan sosial dan ekonomi negara mereka, seperti pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh untuk mitigasi bencana (Sarma, 2019). Indonesia memiliki sejarah menjadi negara ketiga di dunia dan pertama di Asia yang mampu mengoperasikan Sistem Komunikasi Satelit Domestik (SKSD) menggunakan satelit *geostationary earth orbit* (GEO), namun saat ini kemampuannya cenderung stagnan.



Sumber: OECD (2023)

Gambar 8.1 Perbandingan Persentase Government Space Budget dengan GDP

Kemudian, terdapat penelitian mengenai studi komparatif antara *space faring countries* di Asia. *Space faring countries/nations* adalah negara-negara yang mampu secara mandiri membangun dan meluncurkan wahana antariksa. Penelitian tersebut mendeskripsikan mengenai penggerak ekonomi dan strategi kebijakan nasional yang mendorong program keantariksaan di negara-negara Asia, seperti Jepang, India, dan China (Sundararajan, 2006). Pembahasan lainnya tentang *Space Race* (perlombaan keantariksaan) di Asia dan diskusi mengenai motivasi Jepang, China, India, dan Korea Selatan dalam memenuhi ambisi pengembangan teknologi antariksanya dari sudut pandang politik dan hubungan internasional (Moltz, 2011). Sementara itu, penelitian lainnya membahas mengenai *new space age* (era baru keantariksaan), serta bagaimana tren regulasi dan bisnis keantariksaan di negara-negara Asia dengan mengambil beberapa studi kasus (ESPI, 2020).

Apabila dilihat dalam istilah keantariksaan, berdasarkan fungsinya secara umum, kegiatan keantariksaan atau *space activities*

dibagi menjadi tiga, yaitu *space exploration*, *space observation*, dan *space utilization*. *Space exploration* atau eksplorasi antariksa merujuk kepada eksplorasi fisik ke antariksa dengan menggunakan pesawat angkasa luar. Hal ini termasuk misi pengiriman *probes* dan manusia ke berbagai benda langit, seperti Bulan, Mars, dan planet lain, dalam rangka mengumpulkan data dan melakukan penelitian ilmiah (Logsdon, 2024). *Space probes* adalah *unmanned/uncrewed device* atau alat tanpa awak yang dikirim ke antariksa.

Berbagai misi telah dilakukan, mulai dari misi Apollo mengirim manusia ke Bulan, misi Mars Rover untuk menjelajahi permukaan Mars, pengiriman *spacecraft* yang biasa disebut pesawat angkasa luar atau wahana antariksa oleh India ke Bulan dengan nama Chandrayaan-3, dan yang terbaru adalah misi NASA dalam Artemis Program. Misi dalam program Artemis yaitu NASA akan mendaratkan wanita pertama dan kaum perempuan dan minoritas non-kulit putih pertama di Bulan, dengan menggunakan teknologi inovatif untuk menjelajahi permukaan Bulan lebih banyak dari sebelumnya (NASA, 2020).

Space observation atau observasi antariksa adalah kegiatan mengamati benda langit dan fenomena di antariksa dengan menggunakan teleskop dan instrumen lain, baik berada di bumi maupun di antariksa dalam rangka mengumpulkan data astronomis dan astrofisika, serta membantu ilmuwan memahami proses kosmis dan evolusi alam semesta. Contohnya adalah pengamatan bintang, galaksi, planet, dan fenomena alam semesta menggunakan Hubble Space Telescope atau dari observatorium di Bumi menggunakan *very large telescope*.

Space utilization atau pemanfaatan antariksa adalah penggunaan teknologi dan data berbasis antariksa untuk meningkatkan kehidupan di Bumi. Pemanfaatan antariksa dan sumber dayanya didorong agar dapat bertujuan komersial, ilmiah, dan operasional. Contohnya, pengembangan satelit dan penggunaan satelit untuk komunikasi, navigasi, pengamatan Bumi, dan penelitian ilmiah (UN, 2023).

Kegiatan eksplorasi antariksa saat ini menghadirkan tantangan dalam hal berkelanjutan, seperti *single-use launchers*, *non-refuelable*

satellites, dan kebutuhan untuk semua perangkat keras dan barang konsumsi yang disuplai dari Bumi. Semuanya tentu saja menambah beban pembiayaan suatu program keantariksaan. Namun dibalik itu, tantangan ini menimbulkan inisiatif tentang bagaimana *space utilization* sampai pada tahap penggunaan kembali sistem peluncur bekas pakai. Dengan demikian, *space utilization* juga dapat dikatakan sebagai pengembangan teknologi ataupun alat yang dapat menunjang kegiatan eksplorasi antariksa.

Pada awal 2020, istilah *new space age* banyak digaungkan, sebagai referensi dari kebangkitan inovasi dan ketertarikan publik terhadap eksplorasi antariksa dan penggunaan komersial dari pengiriman satelit ke *low earth orbit* (LEO) atau orbit bumi yang rendah. Adanya pengembangan baru dalam sektor keantariksaan, termasuk partisipasi miliarder dalam perjalanan wisata antariksa dan perjalanan antarplanet (Pethokoukis, 2022; Euronews, 2022). Negara seperti Amerika Serikat memiliki program pengembangan peluncur yang dapat digunakan kembali (Musk, 2018) dan rencana untuk mengirim manusia ke Mars dalam Artemis Program (NASA, 2022). Sementara itu, Tiongkok melakukan investasi dalam pengembangan stasiun antariksa Tiangong dengan tiga modul yang berlokasi di LEO (Jones, 2023).

Lalu bagaimana dengan kemampuan teknologi antariksa dan kemampuan Indonesia dalam kegiatan eksplorasi antariksa? Hal ini perlu diidentifikasi lebih lanjut untuk mengetahui posisi Indonesia di tengah kompetisi global dalam penguasaan teknologi keantariksaan, khususnya untuk eksplorasi antariksa. Penelitian mengenai hal tersebut telah dilakukan, seperti penelitian yang memetakan peluang dan tantangan Indonesia sebagai aktor dominan dalam pengembangan program antariksa di Asia Tenggara (Insyiroh, 2020). Hasilnya menunjukkan bahwa Indonesia berpotensi menjadi aktor dominan di Asia Tenggara, tetapi Indonesia menghadapi kendala karena kurangnya dana, kurangnya fasilitas, terkonsentrasinya penelitian teknologi antariksa hanya pada satu lembaga, dan bidang ini belum menjadi prioritas.

Sampai saat ini, belum ada kajian yang secara khusus dan mendalam menggambarkan posisi Indonesia dalam eksplorasi antariksa. Padahal pada era baru keantariksaan, eksplorasi antariksa berperan penting serta menjadi tren pada masa depan. Pada tahun 2019, misalnya, lebih dari 30 negara berkontribusi pada investasi global dalam eksplorasi antariksa, tetapi hanya lima di antaranya yang berkontribusi sebanyak 98% dari total. Beberapa negara tersebut adalah Amerika Serikat sebagai investor global terbesar dengan 71%, China dengan 13%, *European Union* dengan 9%, Jepang dengan 3% dan Rusia dengan 2% (Viterale, 2019).

Selain itu, ada beberapa alasan mengapa eksplorasi keantariksaan itu penting dan menjadi tren pada masa depan. Menurut Comendador (2023), alasan pertama adalah eksplorasi antariksa mendorong kemajuan ilmu pengetahuan, dengan mengeksplorasi antariksa membuat manusia dapat memahami lebih dalam tentang alam semesta, proses pembentukan bintang dan galaksi, dan yang tidak kalah penting, kita bisa menemukan ada planet lain di luar Bimasakti. Dengan kata lain, hasil mengeksplorasi antariksa dapat memperluas pemahaman manusia tentang kehidupan. Alasan berikutnya, eksplorasi antariksa mendorong kemajuan teknologi, serta dapat menginspirasi generasi muda berikutnya. Kemajuan teknologi menjadikan manusia dapat menjawab berbagai tantangan global, misalnya, dengan adanya satelit maka tersedia data penting yang dapat digunakan sebagai dasar analisis mengenai perubahan iklim, bencana alam, dan ketahanan pangan.

Melihat tren tersebut, jika Indonesia ingin menyejajarkan diri, Indonesia perlu ikut ambil bagian dalam misi eksplorasi antariksa. Namun, sejauh mana Indonesia dapat menghadapi tantangan dan berperan dalam misi eksplorasi antariksa? Bab ini membahas kemampuan Indonesia dalam melakukan program eksplorasi antariksa dan merekomendasikan hal-hal yang perlu ditingkatkan. Hal ini perlu dilakukan agar Indonesia dapat bersaing dan meningkatkan kemampuannya dalam mengeksplorasi antariksa.

B. Kegiatan dan Kemampuan Keantariksaan Negara-Negara

Kemampuan keantariksaan antarnegara memiliki tingkatan yang berbeda satu sama lain. Perbedaan ini diukur dari berbagai indikator, di antaranya kemampuan penguasaan teknologi dan kegiatan peluncuran, kemampuan meluncurkan wahana antariksa, dan tentu saja mendaratkan manusia ke Bulan. Tabel 8.1 merupakan ringkasan terkait dengan kemampuan negara-negara keantariksaan lebih maju, seperti Amerika Serikat, China, Jepang, Rusia, India, dan negara-negara di ASEAN. Data diambil dari data *worldpopulationreview.com*.

Pada Tabel 8.1, level operasional melambangkan kemampuan maksimal badan antariksa setiap negara. Negara yang hanya berfokus pada kegiatan antariksa *ground-based* ada pada level 1. Negara yang juga bisa mengoperasikan satelit masuk pada tingkat 2. Negara yang juga bisa melakukan peluncuran dan/atau memiliki bandar antariksa masuk pada level 3. Negara yang juga bisa mengirimkan *probes* ke antariksa ataupun benda langit ada pada level 4. Negara yang juga telah mengirimkan manusia ke antariksa ada pada level 5. Negara yang telah mengoperasikan stasiun antariksa ada pada level 6, dan negara yang telah mendaratkan manusia di Bulan berada pada level 7. Berbicara mengenai kemampuan dalam penguasaan teknologi dan kegiatan peluncuran, dari sekian banyak badan antariksa di dunia, hanya 16 di antaranya yang memiliki kemampuan tersebut. Jika dikerucutkan lagi, hanya tujuh yang memiliki kemampuan untuk mengirim wahana antariksa, bahkan hanya Amerika Serikat, Rusia, dan China yang mampu menerbangkan manusia ke antariksa.

Berbicara mengenai Amerika Serikat, seluruh sektor, baik kehidupan sosial, ekonomi maupun politiknya, penggunaan dan pemanfaatan keantariksaan begitu merekat. Tidak mengherankan jika Amerika terus-menerus mengeksplorasi antariksa. Hal ini juga dilakukan bersamaan dengan pemenuhan kebutuhan mereka atas teknologi terbaru yang dapat menjamin keberhasilan misi keantariksaan (Situmorang, 2020). Amerika Serikat memiliki badan antariksa bernama NASA yang merupakan badan antariksa paling aktif di

dunia. Hingga 2024, Amerika Serikat merupakan satu-satunya negara di dunia yang berhasil mendaratkan manusia di Bulan dan merupakan negara kedua yang mengirimkan manusia ke antariksa. Astronot Alan Shephard adalah manusia kedua yang berhasil dikirimkan ke antariksa pada 5 Mei 1961, beberapa minggu setelah kosmonot Rusia dikirimkan ke antariksa. Amerika Serikat merupakan kontributor utama dalam pembangunan dan pengoperasian Stasiun Antariksa Nasional atau International Space Station (ISS). Capaian lain dari NASA adalah space shuttle program, voyager and mariner probes, dan the mars rover. Selain NASA, Amerika Serikat memiliki United States Space Force yang merupakan cabang militer Amerika Serikat yang fokus pada bidang keantariksaan (worldpopulationreview, 2024).

Uni Soviet memiliki program antariksa di bawah payung Program Luar Angkasa Soviet (*Kosmicheskaya programma SSSR*) yang dimulai pada 1955 dan mencapai tonggak sejarah dengan peluncuran satelit Sputnik serta pengiriman manusia pertama ke luar angkasa, Yuri Gagarin, pada 1961. Setelah bubarnya Uni Soviet pada 1991, program tersebut diteruskan oleh Rusia melalui ROSCOSMOS, badan antariksa yang berdiri pada 1992 dan yang kemudian berkembang menjadi salah satu mitra utama dalam pembangunan serta pengelolaan Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS). Selain itu, Rusia juga memiliki Kosmicheskije voyska Rossii (KV), yakni cabang pasukan antariksa dari Pasukan Dirgantara Rusia. Pasukan ini dibentuk kembali setelah penggabungan antara Angkatan Udara Rusia dan Pasukan Pertahanan Dirgantara Rusia pada 1 Agustus 2015, setelah divisi independen tersebut dibubarkan pada 2011. Unit tersebut bertugas dalam sistem pertahanan ruang angkasa dan peringatan dini terhadap serangan misil.

Bagaimana dengan China? Meskipun belum pernah mengirimkan misi pesawat antariksa berawak ke Bulan, negara ini tercatat mengalami kemajuan yang pesat. Kemajuan China dimulai dengan menciptakan berbagai program pengembangan pesawat antariksa berawak dan pembangunan sebuah stasiun antariksa, serta pendirian Badan Antariksa Nasional China atau China National Space Administration

(CNSA) dan juga perusahaan pengembang teknologi luar angkasa dan rudal bernama Dirgantara Sains dan Industri China (China Aerospace Science & Industry Corporation, CASIC). Selain itu, dalam kapasitas ekonomi, China juga menjadi penyokong pengembangan program eksplorasi antariksa. Terkait pengembangan program keantariksaan, China menetapkan peta jalan pembangunan keantariksaan, *White Paper China's Space Activity*. Peta jalan ini dikeluarkan lima tahun sekali berisi pencapaian dan kemajuan program, termasuk agenda lima tahun berikutnya.

Negara Jepang memiliki Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) yang didirikan pada tahun 2003. Jepang merupakan negara keempat yang memiliki kemampuan meluncurkan satelit dalam negeri. Menarik jika melihat India, walaupun pada Tabel 8.1 menunjukkan bahwa India memiliki level yang sama dengan Jepang, namun, mengutip CNBC Indonesia, India dengan Chandrayaan-3 berhasil melakukan pendaratan wahana antariksa di Bulan. Bahkan, mencatatkan rekor dunia, sebagai negara pertama yang mendarat di Kutub Selatan Bulan. Berdasarkan prediksi *Times*, India memiliki daya tarik untuk dijadikan mitra strategi negara-negara yang berminat mengembangkan keantariksaannya karena kebijakannya yang menawarkan harga murah, tetapi kualitas teknologinya kompetitif. Hal ini dikarenakan India mampu memanfaatkan seluruh potensi sumber daya dalam negerinya.

Bagaimana dengan negara-negara kawasan Asia Tenggara? Indonesia, Singapura, Vietnam, Filipina, Malaysia, dan Thailand, semuanya masih berada pada level yang sama. Kesamaan ini mungkin disebabkan cara pandang yang sama bahwa pengembangan program keantariksaan lebih banyak dimanfaatkan untuk kepentingan ekonomi, sosial, dan keamanan nasional. Lain halnya negara-negara, seperti Amerika Serikat, Rusia, China ataupun India yang fokus pada eksplorasi antariksa.

Di ASEAN, Indonesia termasuk negara tertua yang memiliki lembaga keantariksaan yaitu pada tahun 1963 ketika LAPAN berdiri. Indonesia juga merupakan negara pertama di ASEAN yang telah meluncurkan satelit. Di Malaysia, program antariksa dimulai pada 1988 dengan fokus pada penginderaan jauh (Insyiroh, 2020). Meskipun badan antariksa Malaysia baru berdiri pada 2002, namun melalui kerja sama dengan perusahaan Amerika Serikat, satelit Malaysia berhasil mengorbit pada 1998.

Negara ASEAN lainnya yaitu Thailand yang mulai memanfaatkan teknologi antariksa pada 1971, kemudian Thailand membentuk program penginderaan jauh pada 1979 dan mulai membangun *ground station* pada 1982. Kemudian, Thailand meluncurkan satelit komunikasi GEO pada 1963 (Insyiroh, 2020). Sementara itu, Filipina termasuk negara ASEAN yang kurang cepat dalam perkembangan teknologi antariksa. Namun, Filipina telah memiliki dokumen hukum terkait keantariksaan yang diresmikan pada Agustus 2019 yaitu *Philippine Space Act*. Selain itu, Filipina memiliki Lembaga pemerintah yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi antariksa pada tahun 1970-an yaitu PAGASA dan NAMRIA pada tahun 1987 (Insyiroh, 2020).

Singapura meskipun merupakan aktor baru dalam pengembangan program antariksa, namun Singapura menunjukkan kemajuan pesat dalam program antariksa dikarenakan memiliki modal yang cukup (Insyiroh, 2020). Pengembangan antariksa di Singapura belum dilakukan melalui badan antariksa khusus namun melalui perantara pusat riset di bidang *remote sensing* dan satelit. Program pengembangan teknologi keantariksaan dimulai oleh Office for Space Technology and Industry (OSTIn) dan National Research Foundation yang membiayai periset di Singapura untuk melakukan inovasi lokal keantariksaan untuk sektor nasional, seperti penerbangan dan maritim (Geoworks, 2022). Pada sektor swasta, Singapura memiliki organisasi nonpemerintah di bidang industri *aerospace* yaitu Singapore Space and Technology Ltd. (SSTL).

Selain Singapura, Vietnam merupakan negara yang cukup lama berkiprah di bidang keantariksaan. Vietnam memiliki sejarah mengirimkan kosmonot pertama bernama Pham Tuan ke antariksa melalui program interkosmos yang dimiliki Uni Soviet pada tahun 1979 (Insiyroh, 2020). Meskipun Vietnam memiliki warga negara yang berhasil ke antariksa, namun nilai pada Tabel 8.1, Vietnam masih berada pada level 2. Hal ini karena program mengirimkan manusia ke antariksa bukan diinisiasi oleh Vietnam secara mandiri, namun melalui program Uni Soviet.

C. Manfaat Eksplorasi Antariksa

Manusia terhitung telah lama mengeksplorasi antariksa dan merasakan manfaatnya untuk meningkatkan kualitas hidup. Manfaat eksplorasi antariksa lebih dari sekadar capaian pengetahuan dan kemajuan teknologi, tetapi juga membawa sejumlah implikasi bagi masa depan umat manusia. Di masa depan, tujuan dari pengembangan eksplorasi antariksa adalah mengirimkan manusia dan robot hingga ke wilayah yang lebih jauh, melampaui orbit Bumi rendah (*low earth orbit*).

Berdasarkan The International Space Exploration Coordination Group (ISECG, Kelompok Koordinasi Eksplorasi Antariksa Internasional) (2013), eksplorasi antariksa telah menstimulasi munculnya dampak berwujud (*tangible impact*) dan tak berwujud (*intangible impact*) bagi umat manusia. Dampak berwujud, termasuk semua inovasi terkait dengan aplikasi dan manfaat yang dihasilkan dari investasi program eksplorasi antariksa, seperti produk dan layanan sebagai *spin-off* ke dalam pasar.

Tabel 8.1 Kemampuan Keantariksaan Negara - negara

| Negara | Level Operasional | Operasi Satelit | Dapat Meluncurkan | Men- girimkan Probes | Penerbangan Manusia ke Antariksa | Stasiun Antariksa | Manusia di Bulan | Badan Antariksa |
|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|--|----------------------|---------------------|--|
| India | 4 | Yes | Yes | Yes | No | No | No | Indian Space Research Organisation (ISRO) |
| China | 6 | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | No | China National Space Administration (CNSA) and China Manned Space Agency (CMSA) |
| United States | 7 | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | National Aeronautics and Space Administration (NASA) and United States Space Force (USSF) |
| Indonesia | 2 | Yes | No | No | No | No | No | National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)/ Aeronautics and Space Research Organization (ORPA BRIN) |
| Russia | 6 | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | No | State Space Corporation Roscosmos (ROS-COSMOS) |
| Japan | 4 | Yes | Yes | Yes | No | No | No | Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) |
| Philippines | 2 | Yes | No | No | No | No | No | Philippine Space Agency (Philsa) |
| Vietnam | 2 | Yes | No | No | No | No | No | Vietnam National Space Center (VAST-VNSC) |
| Thailand | 2 | Yes | No | No | No | No | No | Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA) |
| Malaysia | 2 | Yes | No | No | No | No | No | Malaysian Space Agency (MYSA) |
| Singapore | 2 | Yes | No | No | No | No | No | Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP)/Office for Space Technology. |

Sumber : worldpopulationreview (2024)

Selain meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi, eksplorasi antariksa secara lebih jauh dapat meningkatkan pengembangan kapasitas tenaga kerja dan kemampuan industri sehingga dapat menstimulasi hingga ke perusahaan swasta dan industri. Pada akhirnya, eksplorasi antariksa berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi seperti pada negara-negara penjelajah ruang angkasa (*space faring nations*).

Sementara itu, dampak tak berwujud dari eksplorasi antariksa mencakup dimensi sosial dan filosofi yang berkaitan dengan pemahaman manusia terhadap alam semesta serta tujuan dari kehidupan manusia. Dampak ini tecermin, contohnya, dalam pengayaan kebudayaan, munculnya inspirasi untuk masyarakat, dan terciptanya kesepahaman dalam kerja sama internasional di antara negara-negara pelaku eksplorasi antariksa (*space faring nations*). Terlepas dari dampak keduanya, baik yang berwujud maupun tidak, yang paling fundamental/mendasar dari eksplorasi antariksa terletak pada lahirnya inovasi, penguatan nilai-nilai kebudayaan dan inspirasi, serta penemuan cara-cara baru untuk mengatasi tantangan global (ISECG, 2013).

Eksplorasi antariksa, menurut ISECG (2013), juga dapat bermanfaat dan berdampak, baik langsung maupun tidak. Bermanfaat secara langsung, seperti peningkatan ilmu pengetahuan, difusi inovasi dan penciptaan pasar, menginspirasi orang-orang seluruh dunia, serta mendorong peningkatan perjanjian antar negara yang terlibat dalam eksplorasi. Sementara itu, manfaat tidak langsung yang dihasilkan eksplorasi antariksa adalah peningkatan terhadap kualitas hidup, seperti peningkatan kemakmuran ekonomi, kesehatan, kualitas lingkungan, keselamatan, dan keamanan. Manfaat ini juga mencakup manfaat filosofis yang tidak berwujud seperti pemahaman yang lebih mendalam dan perspektif baru tentang tempat manusia secara individu dan kolektif di alam semesta. Ringkasan manfaat dari eksplorasi antariksa sebagaimana Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Manfaat dari Eksplorasi Antariksa

| | |
|---|---|
| Manfaat Fundamental eksplorasi antariksa mendorong inovasi teknologi, memperkaya kebudayaan dan inspirasi, dan menghadirkan cara baru untuk mengatasi tantangan global | |
| Manfaat langsung menginspirasi orang lain, menghasilkan ilmu pengetahuan baru, meningkatkan kompetensi teknis nasional, inovasi ditransfer ke dalam pengembangan aplikasi baru, meningkatkan kapasitas dan produktivitas kerja di bidang keantariksaan membuka pasar baru untuk produk dan layanan keantariksaan, dan memperkuat kemitraan internasional eksplorasi antariksa. | Manfaat tidak langsung mendorong kemajuan/pertumbuhan ekonomi, bermanfaat untuk kesehatan, berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan, meningkatkan keamanan dan keselamatan, memperluas pengalaman manusia, dan memperdalam pemahaman tentang posisi umat manusia dalam alam semesta. |

Sumber: ISECG (2013)

Oleh karena itu, terdapat cukup banyak contoh manfaat sosial terkait pengetahuan dan teknologi baru pada eksplorasi antariksa. Eksplorasi antariksa telah berkontribusi pada banyak aspek kehidupan sehari-hari, mulai dari panel surya hingga alat monitor jantung yang dapat ditanamkan, mulai dari pengobatan kanker hingga material ringan, dari sistem pemurnian air hingga peningkatan sistem komputer, serta sistem pencarian dan penyelamatan global (ISECG, 2013).

Eksplorasi antariksa akan terus menjadi pendorong penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Ke depannya, peran ini akan semakin penting karena mampu mendorong kolaborasi lintas bidang dalam penelitian dan pengembangan antariksa. Dampaknya tidak hanya terbatas pada ranah antariksa, tetapi juga menjangkau berbagai bidang, seperti material baru, pembangkit listrik dan penyimpanan energi, pengelolaan limbah, robot canggih, kesehatan dan pengobatan, transportasi, teknik, komputasi, hingga perangkat lunak. Misalnya, teknologi antariksa telah menghasilkan inovasi di bidang kedokteran dan pelayanan kesehatan. Perkembangan teknologi medis baru, seperti telemedis dan pemantauan *telehealth* memungkinkan

para profesional kesehatan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pasien di daerah terpencil yang kurang terlayani karena sulit dijangkau.

Teknologi lain yang berhasil dikembangkan dalam penelitian antariksa adalah teknologi CTScan. Teknologi ini awalnya lahir dari proyek Neutron Star Interior Composition Explorer (NICER) milik NASA yang bertujuan mengembangkan eksperimen astrofisika untuk diluncurkan ke Stasiun Antariksa Internasional (ISS). Dalam proyek ini, para peneliti menghadapi tantangan besar karena mereka perlu mengembangkan teknik sinar-X baru untuk melihat lebih dekat abu pijar yang tertinggal ketika bintang masif meledak menjadi supernova dan membentuk bintang neutron. Hal yang tidak diperkirakan sebelumnya oleh NICER adalah teknologi yang mereka kembangkan untuk mengatasi tantangan keantariksaan ini juga dapat dimanfaatkan dalam bidang kedokteran, khususnya dalam pengembangan teknologi CT Scan yang lebih canggih dan akurat (NASA, 2022). Selain itu, penelitian mengenai dampak *microgravity* (keadaan tanpa gravitasi) pada tubuh manusia selama di luar angkasa juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang tubuh manusia. Temuan ini membantu pengembangan pengobatan baru untuk penyakit, seperti osteoporosis dan atrofi otot (NASA, 2023).

Adanya tantangan dan sulitnya perjalanan ke antariksa telah mendorong lahirnya inovasi dan pengembangan teknologi baru, seperti satelit komunikasi, sistem navigasi, dan sistem prakiraan cuaca. Teknologi ini memberikan dampak penting pada kehidupan manusia sehari-hari sehingga memungkinkan komunikasi yang lebih cepat dan luas, navigasi yang lebih akurat, dan prediksi cuaca yang lebih tepat. Lebih lanjut, terciptanya inovasi yang diperlukan untuk eksplorasi antariksa, seperti miniaturisasi, akan menghasilkan perbaikan pada sistem dan layanan berbasis antariksa lainnya sehingga meningkatkan kinerja dan biaya operasional yang lebih rendah. Inovasi ini akan meningkatkan layanan pada kehidupan manusia sehari-hari di Bumi dan meningkatkan keuntungan ekonomi bagi aktivitas organisasi dan

sektor komersial yang berinvestasi dalam industri antariksa (ISECG, 2013).

Lebih jauh lagi, pengetahuan dan wawasan yang diperoleh dari eksplorasi antariksa juga dapat berkontribusi dalam penerapan kebijakan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan (ISECG, 2013). Pengamatan Bumi dari antariksa memungkinkan para ilmuwan untuk lebih memahami dinamika iklim, struktur geologi, dan kondisi ekosistem Bumi. Pengetahuan ini memungkinkan manusia untuk mengelola dan melindungi sumber daya alam Bumi dengan lebih baik, serta mengembangkan praktik pembangunan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Antusiasme yang muncul dari eksplorasi antariksa tidak hanya berdampak pada kemajuan ilmu pengetahuan dan teknomogi, tetapi juga dapat menarik minat generasi muda untuk berkarier di bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM), serta membantu membangun kapasitas global untuk inovasi ilmiah dan teknologi (ISECG, 2013). Daya tarik dan keunikan perjalanan ke angkasa luar menumbuhkan rasa ingin tahu dan antusiasme generasi muda. Hal ini juga menginspirasi mereka untuk menjelajah dan belajar tentang antariksa. Selain itu, juga mendorong terciptanya generasi baru ilmuwan, insinyur, dan inovator yang mampu mengatasi tantangan kompleks pada masa depan.

Selain membangkitkan minat terhadap STEM, program pendidikan keantariksaan seperti program peningkatan wawasan keantariksaan dari NASA dan ESA telah membantu meningkatkan literasi sains dan teknik di kalangan pelajar dan masyarakat umum. Eksperimen sains yang dilakukan di Stasiun Antariksa Internasional (*International Space Station* atau ISS) memungkinkan siswa mempelajari prinsip-prinsip sains dan teknologi secara langsung dalam situasi dunia nyata.

Eksplorasi antariksa menawarkan perspektif yang terus berkembang mengenai posisi umat manusia di alam semesta, yang umum bagi semua orang. Setiap hari, misi penjelajahan antariksa memenuhi keingintahuan manusia, menghasilkan pemahaman tentang tata surya yang membawa manusia semakin dekat untuk menjawab pertanyaan-

pertanyaan mendalam yang telah lama ditanyakan, seperti “apa hakikat alam semesta?”, “apakah ada kehidupan lain selain di bumi di alam semesta ini?” (ISECG, 2013).

Para ilmuwan dapat mengumpulkan data dan pengetahuan tentang pembentukan dan evolusi alam semesta karena adanya pengiriman wahana antariksa. Pengetahuan ini, kemudian membantu manusia lebih memahami hukum dasar fisika dan perilaku benda langit, yang telah membawa kemajuan signifikan dalam bidang-bidang, seperti astronomi dan astrofisika.

Eksplorasi antariksa dapat menjadi upaya global yang berkontribusi terhadap kepercayaan dan diplomasi antarnegara (ISECG, 2013). Hal ini dikarenakan misi antariksa kerap kali melibatkan kerja sama antara berbagai negara, contohnya, misi *International Space Station* (ISS) yang melibatkan NASA (Amerika Serikat), Roscosmos (Rusia), ESA (Eropa), JAXA (Jepang), dan CSA (Kanada). Kerja sama dalam misi eksplorasi antariksa juga membantu menciptakan perdamaian dan mendorong adanya kolaborasi antarnegara. Misalnya, proyek uji coba Apollo-Soyuz pada 1970-an yang merupakan tonggak sejarah besar dalam eksplorasi antariksa karena proyek tersebut mempertemukan astronot dari Amerika Serikat dan kosmonot dari Uni Soviet dalam kerja sama dan perdamaian internasional.

Selain itu, peningkatan kemitraan global dan kemampuan eksplorasi antariksa dapat membantu meningkatkan kesiapan internasional dalam melindungi bumi dari peristiwa bencana antariksa, baik akibat benda jauh alami maupun buatan; menstimulasi pemanfaatan penelitian tentang cuaca antariksa, lingkungan antariksa, dan astrofisika; serta mencari cara baru untuk menanggulangi sampah antariksa.

Eksplorasi antariksa juga dapat memberikan manfaat ekonomi. Di pasar global, industri antariksa telah berkembang menjadi sektor ekonomi yang cukup penting karena mampu menciptakan lapangan kerja dan mendorong inovasi. Perusahaan swasta, seperti SpaceX dan Blue Origin merupakan contoh eksplorasi antariksa dapat menjadi usaha yang menguntungkan, mendorong investasi, dan perkembangan teknologi lebih lanjut. Manfaat ekonomi lainnya bisa didapatkan apa-

bila manusia mampu mengeksplorasi sumber daya alam yang terdapat di antariksa. Misalnya, mineral di asteroid, penambangan asteroid dapat menjadi sumber baru bahan baku yang langka. Sementara itu, sumber daya seperti helium-3 yang ada di bulan dapat menjadi bahan bakar yang potensial untuk reaktor nuklir masa depan.

Meskipun manfaat eksplorasi antariksa pada masa depan tidak dapat diprediksi secara pasti, tren saat ini menunjukkan bahwa manfaat signifikan dapat dihasilkan di berbagai bidang, seperti material baru, kesehatan dan obat-obatan, transportasi, dan teknologi komputer. Eksplorasi antariksa juga menciptakan peluang baru dalam penciptaan lapangan kerja dan pertumbuhan ekonomi. Hal ini terjadi karena semakin banyak perusahaan swasta berinvestasi dalam eksplorasi antariksa. Mereka berupaya mengembangkan teknologi dan metode baru agar eksplorasi antariksa lebih terjangkau, dapat diandalkan sehingga lebih berkelanjutan dan menguntungkan. Dengan begitu, eksplorasi antariksa tidak hanya menjadi bidang yang menguntungkan secara ilmiah, tetapi juga secara ekonomi, karena mampu mendorong inovasi, menciptakan pasar baru, dan menarik investasi dalam skala besar. (ISECG, 2013).

D. Posisi Indonesia dalam eksplorasi antariksa

Indonesia sendiri telah menunjukkan ketertarikan dan kemampuan dalam eksplorasi keantariksaan meskipun masih tahap awal apabila dibandingkan negara maju, bahkan apabila dibanding dengan sesama negara berkembang, seperti India. Namun, setidaknya, Indonesia memiliki Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan sebagai regulasi khusus yang menjadi landasan dalam upaya meningkatkan kemampuan teknologi keantariksaan dan pemanfaatannya. Indonesia pun membentuk Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) sebagai badan antariksa yang dalam penyelenggaraan tugas dan fungsi keantariksaan beralih menjadi bagian dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. Indonesia juga telah melakukan pengembangan beberapa

satelit untuk keperluan komunikasi, pemantauan, dan penelitian bumi, meskipun proses peluncuran satelitnya masih menggunakan fasilitas asing.

Selain itu, melalui Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Kegiatan Keantariksaan Nasional 2016–2040 (Renduk Keantariksaan), Indonesia telah menetapkan target jangka panjang dengan tujuan menciptakan kemandirian dalam penyelenggaraan keantariksaan. Renduk Keantariksaan mencantumkan berbagai target dalam kegiatan sains antariksa, pengindraan jauh, penguasaan teknologi keantariksaan, baik satelit, roket maupun aeronautika, peluncuran, dan komersialisasi. Adapun target yang ingin dicapai tersebut dijabarkan pada Tabel 8.3.

Tabel 8.3 Target Rencana Induk Penyelenggaraan Kegiatan Keantariksaan Nasional 2040

| Kegiatan | Target 2040 |
|------------------------------|---|
| Sains antariksa | Sistem Pendukung Kebijakan (<i>Decision Support System, DSS</i>) berbasis sains antariksa dan atmosfer yang terintegrasi dan terstandar, serta menjadi rujukan dalam pembangunan nasional; Partisipasi aktif pada kegiatan internasional berbasis antariksa; |
| Pengindraan jauh | Beroperasinya satelit pengindraan jauh nasional berbasis konstelasi; Meningkatnya kemandirian dalam pengoperasian dan pengembangan sistem satelit pengindraan jauh nasional, serta pemanfaatannya; |
| Penguasaan teknologi roket | Terlaksananya peluncuran roket pengorbit satelit mikro LEO |
| Penguasaan teknologi satelit | Beroperasinya satelit observasi bumi, telekomunikasi, dan navigasi; Terwujudnya penguasaan dan kemandirian dalam merancang, membangun, menguji, dan mengoperasikan satelit observasi Bumi untuk berbagai misi; Terbinanya kemampuan dalam pembangunan satelit telekomunikasi; |

| Kegiatan | Target 2040 |
|-----------------------------------|--|
| Penguasaan teknologi aero-nautika | Membangun pesawat terbang nasional jenis baru dan teknologi terbaru sesuai dengan kebutuhan nasional; Melibatkan lembaga penelitian dan pengembangan, serta perguruan tinggi dengan teknologi terbaru dalam bidang sistem, <i>airframe</i> atau aero struktur, navigasi, dan propulsi dengan pesawat jenis terbaru; Membangun konstelasi satelit navigasi regional ASEAN berbasis <i>space asset</i> milik Indonesia dengan teknologi milik GPS/GALILEO/COMPASS/GLONASS; |
| Peluncuran | Beroperasinya bandar antariksa untuk roket berdiameter besar; |
| Komersialisasi | Kemampuan melayani jasa peluncuran, baik untuk dalam negeri maupun luar negeri ke orbit LEO dengan menggunakan roket pengorbit satelit sendiri dari stasiun peluncuran atau bandar antariksa yang ada di wilayah Indonesia. Mampu melayani dan/atau menyediakan jasa telekomunikasi melalui satelit komunikasi nasional. |

Sumber: PerPres No. 45 (2017)

Mengacu pada Tabel 8.3, jika ditarik kesimpulan, Indonesia secara umum menargetkan tentang penguasaan pembuatan roket peluncur, satelit buatan sendiri, dan kemampuan dalam pemanfaatan keantariksaan, namun belum mengisyaratkan hingga eksplorasi antariksa. Peraturan perundang-undangan tentang keantariksaan yang ada, lebih banyak mengatur tata cara penyelenggaraan dan strategi penguasaan teknologi dalam rangka kemandirian keantariksaan.

Hal ini dapat dipahami karena sama halnya dengan sebagian besar negara-negara berkembang dalam dunia keantariksaan, prioritas Indonesia adalah penguatan penguasaan teknologi satelit untuk pengamatan bumi dan telekomunikasi, belum pada kegiatan eksplorasi keantariksaan. Meskipun prioritas Indonesia saat ini belum ikut serta dalam kegiatan eksplorasi antariksa dengan misi keluar dari orbit Bumi, BRIN sebagai lembaga pemerintah yang menyelenggarakan kegiatan keantariksaan akan tetap terlibat di dalam eksplorasi Bulan melalui kerja sama multilateral (Djamaluddin & Handoko dalam Astungkoro, 2023). Pada 2020, melalui Badan Antariksa Rusia, Roscosmos, Rusia dan Indonesia dilaporkan tengah berunding tentang

pengiriman astronot pertama Indonesia ke antariksa. Hal ini untuk mengikuti jejak sebelumnya, ketika Rusia berhasil mengirim astronot dari Turki dan Hungaria ke antariksa (Hananto, 2020).

Melihat dari aksi Indonesia pada bidang keantariksaan dan wacana ingin memperkuat peran di bidang eksplorasi antariksa, seperti keterlibatan dalam misi ke Bulan dan telah merundingkan keinginan untuk pengiriman kosmonot Indonesia ke antariksa. Oleh karena itu, pada pembahasan ini, terdapat analisis strength, weakness, opportunity, threat (SWOT) untuk posisi Indonesia dalam eksplorasi antariksa. Lebih lanjut, untuk menjawab apakah memungkinkan dan penting bagi Indonesia saat ini mengikuti program pengiriman kosmonot ke antariksa sebagai bagian eksplorasi antariksa? Bagaimana sebaiknya Indonesia berkontribusi dalam eksplorasi antariksa? Tabel 8.4 adalah peta analisis SWOT posisi Indonesia dalam misi eksplorasi antariksa.

Tabel 8.4 Analisis SWOT Posisi Indonesia dalam Eksplorasi Antariksa

| | |
|-----------|--|
| Kekuatan | Memiliki lokasi strategis sebagai lokasi bandar antariksa sehingga berpotensi sebagai lokasi peluncuran wahana antariksa secara global; Berpartisipasi aktif dalam forum keantariksaan internasional; Memiliki sumber daya alam yang cukup untuk bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengembangan teknologi keantariksaan. |
| Kelemahan | Belum ada regulasi yang mengatur peran Indonesia dalam eksplorasi antariksa; Keterbatasan anggaran; Infrastruktur keantariksaan yang masih perlu diperkuat ; Keterbatasan sumber daya manusia yang terlatih dan memiliki keahlian di bidang keantariksaan, khususnya eksplorasi antariksa masih terbatas; Kurangnya sinkronisasi regulasi dan proses birokrasi yang cukup rumit sehingga dapat memperlambat proyek antariksa; Ketergantungan pada teknologi asing terutama pada bahan baku dasar. |
| Peluang | Terbukanya program dan kerja sama internasional; Kemajuan teknologi baru; Adanya peluang dan minat investasi dari swasta. |

| | |
|---------|--|
| Ancaman | Kompetisi global dan regional; Risiko kegagalan teknologi |
|---------|--|

Pada Tabel 8.4 diketahui bahwa kekuatan adalah kompetensi khusus yang memberikan keunggulan komparatif bagi Indonesia, terutama karena memiliki lokasi strategis sebagai bandar antariksa. Nilai strategis wilayah Indonesia dalam konteks keantariksaan dapat dilihat dari posisinya yang sejajar dengan garis Geo Stationary Orbit (GSO). Posisi ini menjadikan wilayah Indonesia memiliki keunggulan strategis dari sisi keamanan dan kestabilan orbit. Artinya, keamanan wilayah dipastikan terjamin (Wardana & Putranti, 2021). Selain itu, letak geografis Indonesia yang dilalui garis ekuator memberikan keuntungan tambahan dalam kegiatan peluncuran roket dan satelit. Wilayah ekuator memiliki kecepatan rotasi Bumi yang ideal dan hemat bahan bakar sehingga bagi negara yang ingin meluncurkan roket sekaligus satelitnya bisa mendapatkan harga lebih murah jika melalui Indonesia.

Kekuatan ini kemudian mendorong terbukanya peluang dan minat investasi, terutama dari luar negeri untuk pembangunan bandar antariksa. Banyak negara yang berminat melakukan kerja sama internasional dalam pembangunan bandar antariksa. Bahkan Amerika Serikat, Jepang, India, dan Tiongkok telah mengunjungi Biak (Pradana & Permatasari 2021).

Meskipun demikian, yang perlu diperhatikan adalah tingkat penguasaan teknologi keantariksaan, terutama roket dan satelit Indonesia masih pada tahap pengembangan. Selain itu, dukungan infrastruktur dan sumber daya manusia Indonesia belum sekuat negara-negara maju sehingga perlu ditemukan skema kerja sama internasional yang sesuai. Terlebih, belum adanya *role model* investasi biaya besar bidang keantariksaan (Shidqon, 2023)

Ancaman adalah situasi yang tidak menguntungkan, dalam hal keantariksaan terutama berkaitan dengan potensi kegagalan teknologi. Kegagalan ini bisa disebabkan oleh kesalahan desain, pengoperasian, kelalaian, dan kesengajaan manusia dalam penggunaannya. Dengan

adanya kompetisi, baik regional maupun global yang semakin ketat, potensi ancaman semacam ini menjadi faktor penting yang harus diantisipasi. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pengembangan teknologi keantariksaan guna mendukung kegiatan eksplorasi keantariksaan, Indonesia perlu mempertimbangkan berbagai kondisi dan kesiapan sumber daya keantariksaan, termasuk mekanisme penanganan bencana antariksa akibat terjadinya kegagalan teknologi.

Berdasarkan analisis kekuatan, potensi, kelemahan, dan tantangan pada Tabel 8.4, pertanyaan selanjutnya, apakah perlu bagi Indonesia merencanakan dan melaksanakan misi eksplorasi antariksa untuk saat ini? Oleh karena itu, dengan melihat prioritas, kondisi, dan kemampuan, sebaiknya Indonesia fokus untuk mengembangkan dan menguasai teknologi, serta mengembangkan infrastruktur antariksa, seperti satelit, roket, dan bandar antariksa.

Jika melihat anggaran negara untuk kegiatan keantariksaan memang tergolong masih terbatas. Anggaran keantariksaan Indonesia pada tahun 2019 yaitu 55 juta USD (Space in Africa, 2021). Sementara itu, PDB pada tahun 2019 adalah 1,119 triliun USD. Dengan demikian, rasio anggaran keantariksaan apabila dibandingkan PDB adalah 0,0049%, sangat kecil bila dibandingkan rasio anggaran negara-negara penjelajah ruang angkasa (*space faring*). Ketimbang mengalokasikan anggaran untuk program pengiriman astronot ke antariksa, sebaiknya anggaran digunakan untuk meningkatkan keahlian sumber daya penelitian keantariksaan, mengembangkan teknologi roket dan satelit, serta membangun bandar antariksa agar Indonesia dapat berdikari untuk meluncurkan satelit dari tanah air Indonesia sendiri, sesuai UU Keantariksaan dan tujuan dari Renduk Keantariksaan.

Selain itu, Indonesia perlu secara bertahap berkontribusi pada program eksplorasi antariksa. Tahapan dimulai dari penguatan fondasi terhadap kemampuan untuk meluncurkan wahana antariksa di tanah sendiri, kemudian, pada jangka panjang diarahkan untuk dapat mengirimkan pesawat ruang angkasa tanpa awak (*uncrewed spacecraft*) atau wahana antariksa (*space probes*), seperti robot ke angkasa luar. Dalam hal ini, Indonesia perlu mulai mengembangkan

produk yang memenuhi syarat ruang angkasa (*space qualified*). Yang dimaksud dengan *space qualified* adalah produk ataupun material yang memenuhi syarat untuk bisa dikirim dan bertahan untuk menetap di antariksa. Untuk mengembangkan produk ini, membutuhkan laboratorium khusus dalam implementasinya. Saat ini, Indonesia belum memiliki laboratorium untuk mengembangkan produk yang memenuhi syarat ruang angkasa. Pada jangka panjang, Indonesia sudah harus mampu mengirimkan satelit dengan roket peluncur buatan sendiri dari bandar antariksa sendiri. Selain itu, Indonesia juga dapat memaksimalkan lokasi geografis yang strategis untuk membangun bandar antariksa. Lebih lanjut, bandar antariksa ini dapat dikomersialisasikan secara global kepada negara-negara yang mempunyai misi untuk mengirimkan pesawat ruang angkasa, baik berawak (*crewed*) maupun tanpa awak (*uncrewed spacecraft*), melalui bandar antariksa Indonesia.

Untuk jangka menengah, Indonesia tetap dapat berkontribusi pada misi eksplorasi antariksa melalui kerja sama dengan negara-negara lain, baik melalui kerja sama multilateral maupun bilateral. Pemerintah Indonesia bisa mengirimkan peneliti Indonesia untuk berkontribusi dalam menganalisis data-data yang diperoleh dari eksplorasi antariksa. Misalnya, pada misi eksplorasi ke Bulan dan ke Mars, diperoleh data ilmiah yang diambil dalam eksplorasi tersebut. Oleh karena itu, peneliti Indonesia dapat ikut serta menganalisis sampel data yang diambil.

Indonesia juga perlu memperkuat sumber daya manusia agar dapat menguasai penelitian di bidang sains antariksa ini, salah satunya dengan mengirimkan peneliti untuk studi doctoral ataupun *post-doctoral* pada bidang sains antariksa. Di perguruan tinggi seperti Institut Teknologi Bandung, terdapat kelompok riset yang berfokus untuk melakukan penelitian ke Bulan atau *mission to the moon*. Misinya, Indonesia dapat mengirimkan muatan (*payload*) ke Bulan. Pemerintah Indonesia perlu mendukung ketersediaan kelompok keilmuan ini dan saling bersinergi antara pemerintah, perguruan tinggi, dan industri.

E. Penutup

Jika menilik level kemampuan keantariksaan ataupun tahapan proses eksplorasi antariksa, posisi Indonesia masih pada level yang sama dengan negara-negara Asia Tenggara dan tertinggal dibandingkan India. Indonesia saat ini masih berada pada *space utilization* yaitu memanfaatkan teknologi antariksa dan data berbasis antariksa untuk meningkatkan kehidupan di Bumi, baik untuk tujuan komersial, ilmiah, maupun operasional. Selain itu, Indonesia juga telah memasuki tahap *space observation* dengan mendirikan fasilitas observatorium nasional di Timau dan Bosscha.

Dengan melihat fakta tersebut, semestinya yang dilakukan Indonesia adalah tetap fokus pada pencanangan target penguasaan teknologi keantariksaan, mulai dari mampu membuat roket peluncur beserta satelit buatan sendiri, dan penyediaan infrastruktur peluncuran dengan membangun bandar antariksa. Target yang kemudian diperkuat adalah bagaimana membuat sistem pendanaan, strategi kerja sama dan kolaborasi internasional, sembari memperkuat sumber daya keantariksaan, mulai dari sumber daya manusia hingga infrastrukturnya.

Lembaga keantariksaan, pemerintah, organisasi internasional, dan swasta saat ini fokus pada bagaimana mengakses dan menggunakan sumber daya yang ada di antariksa. Bahkan, saat ini tertarik pada *space resource utilization* untuk beberapa kegiatan, seperti bagaimana memproduksi oksigen dan bahan di Bulan dan Mars, dan ekstraksi air dari kutub Bulan. Dengan demikian, penting bagi Indonesia untuk melihat posisi dan kemampuannya, serta melihat adanya peluang dalam ikut berkolaborasi sekaligus berkontribusi terhadap tren keantariksaan dunia saat ini.

E. Daftar Pustaka

- Astungkoro, R. (2023, 30 Mei). BRIN akui kegiatan eksplorasi antariksa Indonesia tertinggal. *Republika*. <https://news.republika.co.id/berita/rvfg8y423/brin-akui-kegiatan-eksplorasi-antariksa-indonesia-tertinggal>
- Comendador, N. (2023, 31 Maret). 5 reason why space exploration matters. *Space Connect*. <https://www.spaceconnectonline.com.au/r-d/5842-5-reasons-why-space-exploration-matters>
- Countries with space program. (t.t.) *World Population Review*. Diakses pada 10 Juli 2024, dari <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/countries-with-space-programs>
- Del Canto Vitale, F. (2023). Transitioning to a new space age in the 21st century: A systemic-level approach. *Systems*, 11(5), 232.
- ESPI. (2021). ESPI Report 77: New Space in Asia - Experts views on space policy and business trends in Asian countries. ESPI. <https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2022/06/ESPI-Public-Report-77-New-Space-in-Asia-Full-Report.pdf>
- Euronews. (2022, 2 Februari). To infinity and beyond: the new space age. *Euronews*. <https://www.euronews.com/business/2022/02/02/to-infinity-and-beyond-the-new-space-age>
- Garber, S. (2007, 10 Oktober). Sputnik and the dawn of the space age. *NASA*. <https://www.nasa.gov/history/sputnik/index.html>
- Geoworks. (2022, 9 Februari). Singapore Government to invest \$150 million in space-tech R&D. *Singapore Land Authority (SLA)*. <https://www.sla.gov.sg/geoworks/settings/archives/february-2022/singapore-government-to-invest-150-million-in-space-tech-rnd>
- Global Space Budget—A Country-level Analysis. (2021, 9 Maret). *Space in Africa*. Diakses pada 4 Agustus 2024, dari <https://spaceinafrica.com/2021/03/09/global-space-budgets-a-country-level-analysis/>
- Hananto, A. (2020, 1 Januari). Indonesia berencana kirim astronot pertama ke luar angkasa bersama Rusia. *GNFI*. <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2020/01/01/indonesia-berencana-kirim-astronot-pertama-ke-luar-angkasa-bersama-rusia>
- Insiroh, I. M. (2020). Memetakan peluang dan tantangan Indonesia sebagai aktor dominan dalam pengembangan program antariksa di Kawasan Asia Tenggara. *Jurnal Kajian Kebijakan Penerbangan dan Antariksa*, 1(1), 59–75. <http://dx.doi.org/10.30536/jkkpa.v1n1.5>

- ISECG. (2013). Benefits stemming from eksplorasi antariksa. International eksplorasi antariksa Coordination Group. <https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/10/Benefits-Stemming-from-Space-Exploration-2013.pdf>
- Jones, A. (2023, 15 Agustus). China's space station, Tiangong: A complete guide. Space. <https://www.space.com/tiangong-space-station>
- Logsdon, J. M. (2024, 2 Agustus). Space Exploration. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/space-exploration>
- Moltz, J. C. (2011). Asia's Space Race: National motivations, regional rivalries, and international risks. Columbia University Press.
- Musk, E. (2018). Making life multi-planetary. New Space, 6(1), 2–11. <https://doi.org/10.1089/space.2018.29013.emu>
- NASA. (2021, 21 November). What is the Artemis Program? (Grades 5–8). <https://www.nasa.gov/learning-resources/for-kids-and-students/what-is-the-artemis-program-grades-5-8/>
- NASA. (2022, 22 Juli). Space station study of Neutron Stars helps improve CT Scans. <https://www.nasa.gov/missions/station/space-station-study-of-neutron-stars-helps-improve-ct-scans/>
- NASA. (2023, 1 Desember). Counteracting bone and muscle loss in microgravity. <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/counteracting-bone-and-muscle-loss-in-microgravity/>
- OECD. (2023). The space economy in figures: Responding to global challenges. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/fa5494aa-en>
- Pethokoukis, J. (2022, 11 Mei). America is launching a new space age. And it's a problem that many Americans don't know about it. American Enterprise Institute (AEI). <https://www.aei.org/articles/america-is-starting-a-new-space-age-and-its-a-problem-that-many-americans-dont-know-about-it/>
- Pradana, N. M. E., & Permatasari, Y. (2021). Bandar antariksa Biak dalam diplomasi Indonesia. Jurnal Kajian Kebijakan Penerbangan dan Antariksa, 1(2), 139–161.
- Sarma, N. (2019). Southeast Asian space programmes: Capabilities, challenges and collaborations. *ORF Special Report* (82), March 2019). Observer Research Foundation.
- Shidqon, M. B. (2019). *Politik antariksa: Proses dan dinamika politik di balik kegiatan keantariksaan di Indonesia* [Disertasi]. Universitas Airlangga.

- Situmorang, V. M. (2020). Rivalitas negara adidaya di ruang angkasa. *Jurnal Transformasi Global*, 7(2), 292–298.
- Sundararajan, V. P. (2006). Emerging space powers - A comparative study of National Policy and Economic Analysis for Asian Space Programs (Japan, China, and India). *Space Economic Policy* (hlm. 7207). American Institute of Aeronautics and Astronautic.
- United Nations. (2023). For All Humanity – the Future of Outer Space Governance. *Policy Brief*. <https://www.unoosa.org/oosa/en/documents/doc/policy-brief.html>
- Wardana, Y. R., & Putranti, I. R. (2021). Investasi bandara angkasa/ spaceport dalam mewujudkan Indonesia sebagai spacefaring nation studi kasus kerjasama Indonesia dan China. *Journal of International Relations Diponegoro*, 7(4), 202–214.

Bab IX

Konsep Ketahanan dalam Menghadapi Bencana Antariksa di Orbit Bumi

Deden Habibi Ali Alfathimy

A. Urgensi “Ketahanan Antariksa” dalam Ketahanan Nasional

Bencana keantariksaan bukan suatu hal yang asing bagi Indonesia. Pada 25 Agustus 2017, layanan dari puluhan ribu mesin anjungan tunai mandiri (ATM) dan beberapa stasiun televisi nasional tiba-tiba terganggu. Insiden ini disebabkan oleh anomali pada satelit Telkom-1 mengalami kerusakan, meskipun masih memiliki sisa masa operasi satu tahun. Kerusakan ini belakangan dikonfirmasi oleh video yang diunggah oleh *ExoAnalytics* di kanal YouTube-nya yang memperlihatkan adanya puing-puing seperti pecahan yang berasal dari satelit tersebut (SpaceNewsInc, 2017). Selain Telkom-1, satelit AMC-9 milik SES dari Amerika Serikat/Luksemburg juga mengalami anomali

D. H. A. Alfathimy

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: dede029@brin.go.id

© 2025 Editor & Penulis

Alfathimy, D. H. A. (2025). Konsep Ketahanan dalam Menghadapi Bencana Antariksa di Orbit Bumi Dalam T. Djameluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(229–257). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1503, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

beberapa minggu sebelumnya (Temple, 2020). Penyebab inti dari insiden ini belum dapat dipastikan, namun kemungkinan terulangnya kejadian serupa semakin besar. Pecahan dari Telkom-1 dan AMC-9 berkontribusi pada peningkatan jumlah sampah antariksa yang pada gilirannya, membahayakan satelit lain (Hempsell dkk., 2019).

Menyadari semakin tidak terelakannya kerusakan atau bencana di lingkungan antariksa, beberapa negara mulai mengembangkan pendekatan ketahanan (*resilience*) dalam pemanfaatan orbit Bumi. Negara-negara, terutama melalui aktor pemerintah, tetap menjadi pihak utama dalam aktivitas keantariksaan. Amerika Serikat, Prancis, dan negara-negara lainnya mempersiapkan diri sebagai imbas dari kebergantungan mereka terhadap satelit. Mereka bersiaga bila sewaktu-waktu menghadapi skenario terburuk agar dapat melindungi kepentingan antariksa mereka (Peldszus, 2019; Testé, 2019).

Konsep “ketahanan” juga mulai dikembangkan secara akademik oleh para cendekiawan di bidang keamanan antariksa. Ide ketahanan dalam aktivitas keantariksaan muncul sebagai jawaban terhadap tantangan keamanan antariksa yang tidak lagi dapat dianalisis dengan konsep-konsep lama. Beberapa penulis telah memperkenalkan istilah *space resilience* untuk mendukung konsep ini (Bell & Rogers, 2014; Buckerfield de la Roche, 2011; McLeod dkk., 2016). Di luar lingkup akademik, meskipun tampak sederhana, wahana antariksa milik SpaceX yang digunakan dalam misi peluncuran astronot pada 16 November 2020 dinamai *Resilience* (Corbett & Barker, 2020). Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa gagasan tentang ketahanan kini semakin banyak dibahas dalam kegiatan keantariksaan global oleh berbagai kalangan.

Indonesia, yang telah menggelar satelit komunikasi pertamanya—Satelit PALAPA—sejak 1976 (Alfathimy dkk., 2019), juga harus bersiap. Sejauh ini, baik di tingkat praktis maupun akademis, hubungan antara aktivitas keantariksaan, khususnya di orbit Bumi dan ketahanan nasional masih belum banyak dibahas secara sistematis di Indonesia.

Isu, seperti proyeksi ruang lingkup ketahanan Indonesia di antariksa hingga kedaulatan dan kepentingan negara dalam hal ini merupakan salah satu contohnya. Di ranah praktis, misalnya, posisi Indonesia terhadap pengaturan pemanfaatan orbit geostasioner yang ada sejak tahun 1998 (Sudjatmiko dkk., 2018) sudah tidak sepenuhnya relevan dengan kondisi saat ini. Selain perubahan di level internasional, terdapat sejumlah perubahan domestik yang perlu diperhitungkan kembali. Beberapa di antaranya adalah pengesahan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan; pembubaran Dewan Penerbangan dan Antariksa Nasional RI (DEPANRI); hingga peleburan LAPAN ke dalam BRIN.

Di ranah akademis, konsep ketahanan nasional yang berkembang di Indonesia masih belum banyak membahas dinamika aktivitas keantariksaan secara komprehensif. Sementara itu, gagasan-gagasan mengenai ketahanan di bidang keantariksaan mulai berkembang di kalangan ahli dari berbagai negara. Dengan demikian, saat ini adalah momentum yang tepat bagi Indonesia untuk mengeksplorasi hubungan antara “ketahanan nasional” dan “aktivitas keantariksaan” serta berkontribusi secara keilmuan hingga pembuatan kebijakan untuk menanggulangi potensi bencana antariksa di masa depan.

B. Antariksa Menurut Geopolitik Kritis dan Konsepsi Ketahanan

Pemikiran yang dikemukakan dalam bab ini mengadopsi satu perspektif geopolitik kritis (*critical geopolitics*) dan tiga konsep utama, yakni ancaman (*threats*), ketahanan Antariksa (*space resilience*), dan ketahanan nasional (*national resilience*). Keempat istilah akademis ini akan dijabarkan secara singkat untuk memberikan pemahaman bersama yang kemudian bisa digunakan untuk membedah persoalan dalam penerapan pemikiran ketahanan dan kaitannya dengan kegiatan keantariksaan.

1. Geopolitik kritis

Berfungsi sebagai paradigma teoretis yang mendasari ketiga konsep tersebut. Menurut paradigma ini, perbedaan antara geopolitik sebagai praktik dan geopolitik sebagai pemikiran formal lebih ditekankan. Pembedaan ini penting untuk memahami perbedaan antara pemikiran geopolitik di kalangan praktisi-negarawan dan ilmiah-akademisi. Bab ini berusaha melihat pemikiran-pemikiran geopolitik secara ilmiah terlebih dahulu, baru kemudian menyejajarkannya dengan pemikiran geopolitik praktis yang ada dan perlu dikembangkan. Sebelumnya, kita perlu melihat secara mendasar bagaimana manusia berhubungan dengan alam sebagai fondasi awal pemikiran geopolitik.

Hubungan manusia dengan alam dari segi keruangannya (*spatiality*) menurut Luke dalam Dalby & Tuathail (1998) terbagi ke dalam tiga tahap, mulai dari *terrestriality*, *territoriality*, sampai *telemetricality*. Setiap tahap ini menunjukkan kemungkinan munculnya pemikiran geopolitik yang unik karena geopolitik merupakan ‘pengetahuan yang sesuai dengan situasi’ atau ‘*situated knowledge*’ (Dalby & Tuathail, 1998). Meskipun demikian, capaian pada tahapan yang baru tidak sepenuhnya menghapus capaian pada tahap sebelumnya. Hal ini berarti bahwa pemikiran geopolitik yang muncul pada tahap pertama (*first nature*) dan tahap kedua (*second nature*) masih dapat muncul pada tahap ketiga (*third nature*). Tabel 9.1 menunjukkan perbandingan dari ketiga tahap ini.

Tabel 9.1 Tiga Tahapan Hubungan Manusia-Alam menurut Luke

| First nature | <i>Second nature</i> | <i>Third nature</i> |
|-------------------------------------|---|--|
| <i>Agrarian antiquity</i> | <i>Modern industrial capitalism</i> | <i>Postmodern informational capitalism</i> |
| <i>Natural biosphere</i> | <i>Artificial technosphere</i> | <i>Informational cybersphere</i> |
| <i>Earth and gods</i> | <i>Map and clock</i> | <i>Television and computer</i> |
| <i>Organic spatiality</i> | <i>Engineered spatiality</i> | <i>Cybernetic spatiality</i> |
| <i>Terrestriality</i> | <i>Territoriality</i> | <i>Telemetricality</i> |
| <i>Bioscape/ ecoscape/ geoscape</i> | <i>Ethnoscape/ metroscape/ plutoscape</i> | <i>Cyberscape/ infoscape/ mediascape</i> |

Sumber: Dalby & Tuathail (1998)

Dengan mengikuti periodisasi di atas, bab ini mendefinisikan geopolitik tradisional sebagai tahap awal perkembangan pemikiran geopolitik yang berlangsung sebelum munculnya konsep negara modern atau negara-bangsa, khususnya pada era pra-kolonial. Tahap kedua, geopolitik modern, merujuk pada periode perkembangan pemikiran geopolitik yang dimulai dengan kemunculan konsep negara-bangsa dan berlanjut hingga era globalisasi dan informasionalisasi, mencakup geopolitik klasik hingga abad ke-20. Terakhir, geopolitik post-modern, sebagai tahap ketiga, merupakan periode perkembangan pemikiran geopolitik yang berkembang setelah geopolitik modern, dengan fokus pada analisis kritis serta perhatian terhadap dampak globalisasi dan informasionalisasi. Ketiga periodisasi ini akan diterapkan untuk menganalisis wilayah yang saat ini menjadi bagian dari Negara Kesatuan Republik Indonesia.

2. Ancaman

dalam ranah praktis dan akademis memiliki berbagai interpretasi. Di ranah praktis, Pemerintah Indonesia mendefinisikan ancaman dalam dua kategori berdasarkan aktualitasnya, yaitu ancaman aktual dan ancaman potensial. Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020–2024, ancaman aktual mencakup “ancaman militer, ancaman nonmiliter, dan ancaman hibrida yang berkembang saat ini dan cenderung berlanjut dalam beberapa tahun ke depan, baik yang berasal dari dalam maupun luar negeri, dengan implikasi pada kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan seluruh bangsa.” Sementara itu, ancaman potensial adalah “ancaman yang belum terjadi, tetapi dapat terjadi sewaktu-waktu dan dalam situasi tertentu dapat menjadi ancaman aktual.”

Berdasarkan jenis aktivitasnya, ancaman dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu ancaman militer, non-militer, dan hibrida. Ancaman militer adalah ancaman yang berasal dari kekuatan militer negara lain. Ancaman non-militer mencakup berbagai ancaman yang tidak berasal dari kekuatan militer negara asing. Sementara

itu, ancaman hibrida adalah ancaman yang menggabungkan unsur-unsur militer dan non-militer dalam sumber dan manifestasinya.

Klasifikasi ancaman berdasarkan sumber atau karakter manifestasinya, seperti yang diadopsi dalam Buku Putih Pertahanan Indonesia, memiliki landasan akademik. Salah satu dasar akademisnya adalah pemisahan antara keamanan tradisional dan nontradisional yang dikemukakan oleh Buzan dkk. (1997) dalam bukunya *Security: A New Framework for Analysis*. Menurut Buzan dkk. (1997), keamanan tradisional yang meliputi sektor militer dan politik tidak mencakup semua masalah keamanan kontemporer. Isu-isu pada sektor ekonomi, sosial, dan lingkungan juga merupakan bagian dari keamanan non-tradisional.

Klasifikasi ancaman yang ada saat ini belum cukup memadai dalam konteks keantariksaan karena lingkungan antariksa memiliki risikonya sendiri yang khas. Ancaman yang terkait dengan aktivitas keantariksaan dapat terjadi, baik di permukaan Bumi (terrestrial) maupun di orbit Bumi (orbital). Kedua jenis ancaman ini saling terkait karena apa yang terjadi di orbit Bumi dapat memengaruhi situasi di permukaan Bumi, dan sebaliknya, meskipun tingkat dampaknya dapat berbeda-beda dalam setiap kasus.

3. Ketahanan Antariksa (*Space resilience*).

Salah satu buku yang secara mendalam membahas ketahanan antariksa adalah *Handbook of Space Security* Edisi Kedua (Hays, 2020). Dalam salah satu bab yang ditulis oleh Peldszus (2019) disebutkan bahwa “ketahanan” atau *resilience* telah menjadi konsep yang penting dalam keamanan antariksa kontemporer. Bab tersebut memberikan gambaran mengenai prinsip-prinsip dan praktik-praktik ketahanan dalam sistem dan operasi antariksa. Secara umum, pengembangan bidang baru ini didasarkan pada dua pendekatan yang berbeda namun saling melengkapi: (a) jaminan misi dan pencegahan; serta (b) keandalan tinggi dan rekayasa ketahanan. Dengan mempertimbangkan

perspektif sipil dan militer, ketahanan menjadi konsep yang unik namun fleksibel yang berada di persimpangan keduanya.

Tabel 9.2 Ketahanan sebagai konsep tingkat-tinggi/abstrak.

| Resilience as High-Level Concept | | | |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Mission assurance and deterrence | Resilience engineering | High reliability organizing | Contributing disciplines |
| Disaggregation Distribution | Learning from factual | Preoccupation with failure | Space situational awareness |
| Diversification | Responding to actual | Reluctance to simplify | Partnerships |
| Deception | Monitoring | Sensitivity to operation | Information sharing |
| Proliferation | critical | Deference to expertise | Transparency and confidence building |
| Protection | Anticipating potential | Commitment to resilience | measures Foresight |
| Architecture | Operations | Organization | Governance |

Sumber: Peldszus (2019)

Peldszus mengembangkan pemahaman ketahanan antariksa berdasarkan analisisnya terhadap kebijakan negara-negara, menjadi konsep tingkat tinggi atau abstrak yang lebih akademis. Tabel 9.2 menampilkan hasil konseptualisasi yang mengintegrasikan unsur-unsur keamanan dengan keselamatan. Unsur-unsur tersebut meliputi: (a) arsitektur, yang berarti “*mission assurance and deterrence*”; (b) operasi, yang berarti “*resilience engineering*”; (c) organisasi, yang berarti “*high reliability organizing*”; serta (d) tata kelola, yang berarti “*contributing disciplines*”. Poin (a), (b), dan (c) cenderung bersifat unilateral, sedangkan poin (d) bersifat multilateral.

4. Ketahanan Nasional (*National resilience*)

berdasarkan kajian literatur dan paradigma geopolitik kritis, dapat dipahami dalam bentuk geopolitik praktis dan geopolitik formal-akademis. Dalam konteks geopolitik praktis, ketahanan nasional

Buku ini tidak diperjualbelikan

yang dimaksud dalam proposal ini adalah versi yang dikembangkan oleh Pemerintah Indonesia, yang umumnya dikonseptualisasikan oleh Lemhannas RI. Konsep-konsep, seperti Asta Gatra dan Wawasan Nusantara menjadi bagian penting, dengan Wawasan Nusantara sebagai fokus utama ketahanan nasional dalam bentuk geopolitik praktis dalam penelitian ini.

Bab ini memusatkan perhatian pada beberapa aspek yang paling terkait dengan pemanfaatan orbit Bumi. Dari kelompok aspek statis (trigatra), diambil aspek geografi dan sumber kekayaan alam. Sementara itu, dari kelompok aspek dinamis (pancagatra), diambil aspek ekonomi, politik, serta pertahanan dan keamanan.

Selain definisi yang diberikan oleh Lemhannas, “ketahanan nasional” juga memiliki definisi akademis. Hanita (2020) mendefinisikan ketahanan nasional sebagai *“kemampuan negara untuk beradaptasi, bangkit kembali dan atau bertransformasi dari berbagai gangguan, berbagai serangan, berbagai peristiwa merusak, yang mengancam jiwa, harta, benda, kedaulatan negara, baik dari dalam maupun dari luar, dan setelahnya mampu menyusun strategi yang efektif agar negara menjadi tahan terhadap guncangan yang terjadi tiba-tiba.”* Ketahanan nasional harus dibangun melalui ketahanan individu, keluarga, komunitas, sosial, kota, provinsi, energi, pangan, bencana, pertahanan dan keamanan, serta kesehatan. Definisi ini bersifat dinamis seiring dengan perkembangan kajian akademis yang dilakukan di Program Studi Kajian Ketahanan Nasional, Sekolah Kajian Strategik dan Global, Universitas Indonesia. Pemahaman ketahanan nasional yang diajukan oleh Hanita (2020) mencakup variabel-variabel dalam rumus risiko ketahanan nasional dari Lemhannas (B. Helmy, komunikasi pribadi, 6 Juli 2022)¹.

Dalam ranah geopolitik formal, definisi ketahanan nasional yang dirumuskan oleh Hanita (2020) digunakan sebagai konsep ilmiah yang diadopsi dalam bab ini. Beberapa poin konseptual dari definisi tersebut meliputi: (a) gangguan/ancaman/peristiwa merusak; (b)

¹ Komunikasi pribadi dengan B. Helmy mengenai Antariksa menurut pandangan Ketahanan Nasional dan Lemhannas pada tanggal 6 Juli 2022

kemampuan adaptasi/pemulihan/transformasi/strategi; (c) tingkat analisis; dan (d) sektor. Keempat komponen ini digunakan untuk menelaah bagaimana pemanfaatan orbit Bumi dan ketahanan antariksa dapat diintegrasikan ke dalam ketahanan nasional Indonesia.

Sama halnya dengan ketahanan nasional, konsep ketahanan antariksa (*space resilience*) dalam paradigma geopolitik kritis dapat dilihat sebagai geopolitik praktis maupun formal. Dalam konteks geopolitik praktis, ketahanan antariksa merujuk pada kebijakan negara-negara dalam mengimplementasikan konsep ketahanan dalam aktivitas antariksa mereka. Sementara itu, dalam ranah geopolitik formal, bab ini menggunakan definisi dari Peldszus (2019). Aspek-aspek yang dikembangkan oleh Peldszus meliputi: (a) arsitektur, (b) operasi, (c) organisasi, dan (d) tata kelola.

Dalam konteks ketahanan nasional, ketahanan antariksa ditempatkan sebagai bagian dari ketahanan nasional. Penempatan ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa ketahanan antariksa merupakan komponen dari ketahanan nasional. Meskipun demikian, konsep ketahanan antariksa memiliki cakupan analitis tersendiri yang kemudian dihubungkan dengan pemahaman ketahanan nasional yang lebih luas. Menurut Hanita (2020), hubungan inklusif antara ketahanan antariksa dan ketahanan nasional dapat diwujudkan melalui empat aspek dalam konsep ketahanan nasional.

Bourbeau (2018) berpendapat bahwa ketahanan harus dianalisis dalam konteks sosio-historis dari pelakunya. Oleh karena itu, karakteristik unik Indonesia yang tidak dapat disederhanakan ke dalam angka-angka menjadi alasan mengapa bahasan dalam bab ini menggunakan pendekatan kualitatif. Bab ini menggunakan jenis penelitian kualitatif yang bersifat deskriptif, dengan fokus pada studi kasus yang mempertimbangkan pemanfaatan orbit Bumi oleh Indonesia serta beberapa negara lainnya. Tiga masalah pokok yang coba disasar oleh bab ini mencakup.

- 1) Bagaimana pola ancaman seputar pemanfaatan orbit Bumi?
- 2) Bagaimana pemanfaatan orbit Bumi oleh Indonesia mendukung pemenuhan kepentingan keantariksaan dan pengokohan ketahanan nasional?
- 3) Bagaimana pengembangan dan penerapan konsep ketahanan antariksa dalam konteks ketahanan nasional yang lebih luas di era post-modern?

Sejumlah informasi kualitatif, baik primer maupun sekunder, digunakan untuk menjawab pokok-pokok masalah tersebut. Informasi-informasi primer dikumpulkan langsung dari sejumlah pemangku kepentingan dalam bidang antariksa dan ketahanan nasional di Indonesia selama penelitian studi magister yang saya lakukan pada periode 2020–2022. Sementara itu, data sekunder berasal dari literatur ilmiah, arsip, dan sumber lainnya. Beberapa sumber utama data meliputi:

- 1) Deputy Kebijakan Riset dan Inovasi (DKRI), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN RI);
- 2) Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa (ORPA), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN RI);
- 3) *Indonesian Space Agency* (INASA), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN RI);
- 4) Arsip Nasional Republik Indonesia (ANRI), Jln. Ampera, Jakarta Selatan;
- 5) Dinas Hukum Angkatan Udara (Diskumau), Mabes TNI AU;
- 6) Komando Operasi Udara Nasional (Koopsudnas), Mabes TNI AU;
- 7) Lembaga Ketahanan Nasional (Lemhannas RI), Jakarta; dan

- 8) Direktorat Jenderal Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan (Ditjen PSDKP), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), Jakarta.

C. Ketahanan Antariksa Indonesia

Ancaman seputar penggunaan orbit Bumi terbagi berdasarkan kondisi geografisnya ke dalam dua kelompok secara keruangan, yaitu dari orbit ke permukaan Bumi (terrestrial) dan di orbit Bumi sendiri (orbital). Pada ketinggian praktis antara 100 kilometer di atas permukaan laut hingga 36.000 kilometer di atas permukaan laut, orbit Bumi terdiri dari beberapa segmen yang bergantung pada ketinggian dan karakteristik mekanika orbitnya. Ada berbagai klasifikasi yang muncul, tetapi paling tidak terdapat dua kategori besar orbit Bumi, yaitu orbit geostasioner (GSO) dan orbit non-geostasioner (NGSO).

Berdasarkan praktik pemanfaatannya, orbit Bumi meliputi area yang terjangkau oleh gravitasi Bumi, termasuk lintasan sekitar Bulan dan lebih jauh lagi. Pada awal perlombaan antariksa, ancaman utama berasal dari aktivitas di permukaan Bumi karena jumlah aset antariksa dan pelaku utama yang terlibat masih terbatas. Ini sejalan dengan prinsip-prinsip yang dikemukakan dalam konsep Dirgantara Nusantara yang diperkenalkan oleh Pangkohanudnas Marsekal Muda TNI, Ir. Novyan Samyoga, pada tahun 2021 (N. Samyoga, komunikasi pribadi, 10 Juni 2022)².

Tabel 9.3 Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Ruang

² Komunikasi pribadi dengan Ir. Novyan Samyoga dalam bedah buku Dirgantara Nusantara pada tanggal 10 Juni 2022

| Terrestrial | Orbital |
|---|--|
| Satelit militer (pengintai/telekomuni- kasi/ navigasi) Roket balistik Benda jatuh Pemanfaatan satelit sipil untuk militer | Tabrakan antarwahana Interferensi radio Sistem Kontraantariksa Penyadapan Ancaman siber Kehabisan slot orbit strategis Embargo Peperangan antariksa Sampah antariksa |

Sumber: Alfathimy (2022)

Ancaman-ancaman dari sumber terrestrial dan orbital yang telah dibahas sebelumnya perlu diklasifikasikan berdasarkan asalnya. Klasifikasi ini esensial karena menentukan pendekatan yang tepat untuk mengatasi masing-masing ancaman. Pemilahan ancaman-ancaman terrestrial dan orbital dalam penggunaan orbit Bumi berdasarkan asalnya dapat ditemukan dalam Tabel 9.4.

Tabel 9.4 Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Aktivitas

| Militer | Non-Militer | Hibrida |
|--|---|--|
| Satelit militer (pengintai/ telekomunikasi/ navigasi) Roket balistik Sistem Kontraantariksa Peperangan antariksa | Benda jatuh Sampah antariksa Tabrakan antarwa- hana Kehabisan slot orbit strategis | Embargo Ancaman siber Interferensi radio Pemanfaatan satelit sipil untuk militer Penyadapan |

Sumber: Alfathimy (2022)

Klasifikasi ancaman berdasarkan relevansinya akan sangat subjektif, tergantung pada perspektif negara yang mengambilnya. Amerika Serikat mungkin merasa memiliki ancaman yang paling signifikan karena dominasi mereka dalam pemanfaatan orbit Bumi menghadirkan kerentanan khusus terhadap negara-negara, seperti Rusia, Tiongkok, Iran, atau Korea Utara. Di sisi lain, bagi Indonesia yang memiliki sedikit aset antariksa dan tidak memiliki musuh strategis yang signifikan di Bumi, ancaman antariksa yang aktual terbatas

dalam jumlahnya. Pada Tabel 9.5 ditunjukkan klasifikasi ancaman antariksa untuk Indonesia berdasarkan relevansinya.

Tabel 9.5 Ancaman Keantariksaan Berdasarkan Aktualitas

| Aktual | Potensial |
|---|---|
| Satelit militer (pengintai/ telekomuni- kasi/ navigasi) Penyadapan Benda jatuh Sampah antariksa | Sistem Kontraantariksa Embargo Ancaman siber Pemanfaatan satelit sipil untuk militer Interferensi radio Roket balistik Kehabisan slot orbit strategis Tabrakan antarwahana Peperangan antariksa |

Sumber: Alfathimy (2022)

1. Dampak Pemanfaatan Orbit Bumi bagi Ketahanan Nasional

a. Gatra Geografi.

Pemanfaatan orbit Bumi memiliki peran yang sangat penting dalam pengelolaan geografi Indonesia. Dalam aspek letak/posisi, teknologi satelit sangat diperlukan untuk pemantauan batas-batas negara, baik di perairan maupun daratan. Sebagai negara kepulauan, Indonesia sangat mengandalkan pulau-pulau terluarnya sebagai titik referensi batas wilayah. Penggunaan teknologi satelit navigasi oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) menjadi krusial sebagai upaya pemantauan terhadap pulau-pulau terluar. Satelit penginderaan jauh dan navigasi juga sangat penting bagi Indonesia untuk memonitor topografi dan fisiografi wilayahnya.

Dalam hal Tata Guna Lahan, implementasi Kebijakan Satu Peta yang berbasis citra satelit terintegrasi memungkinkan Indonesia untuk mengawasi penggunaan lahan yang memiliki karakteristik atau sistemnya sendiri. Pemetaan sumber daya lahan yang tak terbatas

di Indonesia menjadi sangat sulit dilakukan tanpa data satelit dan informasi geospasial yang detail dan menyeluruh, mengingat setiap sektor memiliki kepentingan pemetaan sendiri-sendiri. Data citra satelit menyediakan dasar yang objektif untuk pembuatan peta nasional yang terintegrasi, yang mencakup semua aspek pengelolaan lahan di tingkat nasional.

Dalam konteks Kebencanaan, mekanisme UN-SPIDER dan *Sentinel Asia* memberi Indonesia kesempatan untuk memperoleh dan berbagi data citra satelit dengan negara lain saat terjadi bencana. Kejadian-kejadian bencana alam, seperti Tsunami Aceh 2004, Gempa Donggala 2018, dan kejadian lainnya menunjukkan betapa pentingnya data citra satelit dalam upaya penanggulangan bencana yang cepat dan komprehensif. Indonesia, yang terletak di atas “cincin api” dunia, rentan terhadap berbagai bencana alam ini sehingga pengawasan melalui satelit, penggunaan satelit komunikasi darurat, dan navigasi satelit menjadi kebutuhan yang tidak dapat diabaikan.

Antariksa juga bisa dianggap sebagai domain geografi baru yang penting bagi Indonesia yang perlu diperhatikan secara teliti. Meskipun sering disandingkan dengan dunia siber, orbit Bumi merupakan suatu wilayah fisik yang memiliki karakteristik spasial tersendiri. Karakteristik geografis dan spasial serta keterbatasan sumber daya di sana membuat orbit Bumi menjadi suatu “wilayah kepentingan” dalam konteks antariksa. Namun, karena secara legal tidak dapat dikuasai oleh satu negara, orbit Bumi juga menjadi fokus perhatian bagi negara-negara lain, termasuk dalam hal jangkauan sinyal satelit Indonesia. Perlakuan terhadapnya sebagai wilayah bersama internasional perlu menjadi perhatian khusus dalam kebijakan luar negeri Indonesia.

Kebergantungan Indonesia pada satelit asing untuk pengelolaan berbagai aspek geografis melalui teknologi antariksa menyimpan risiko tersendiri. Dalam situasi kompetitif atau konflik, pihak asing yang mengendalikan satelit-satelit atau negara pemilik satelit dapat sewaktu-waktu mengurangi kualitas atau bahkan memutus layanan. Sebagai contoh, pada awal 2000-an, ketika negara-negara Eropa semakin serius mengembangkan sistem navigasi Galileo. Langkah

ini ditempuh karena Amerika Serikat memiliki keleluasaan untuk mengubah kualitas layanan *global positioning system* (GPS) (Bowen, 2022). Situasi tersebut menunjukkan bahwa jaminan ketersediaan layanan satelit tidak sepenuhnya berlaku, bahkan di antara anggota aliansi sekalipun. Terlebih bagi Indonesia yang menganut politik bebas-aktif dan tidak tergabung dalam kubu geopolitik mana pun, potensi kerentanannya menjadi lebih besar.

b. Ketahanan Sumber Kekayaan Alam.

Teknologi satelit memiliki peran yang sangat penting dalam manajemen sumber daya alam Indonesia. Praktik-praktik penggunaan orbit Bumi memengaruhi berbagai aspek, seperti pemenuhan barang konsumsi; komoditas pemenuhan kebutuhan dan penghasil devisa; lingkungan biofisik; serta lingkungan teknologi. Sebagai contoh, dalam hal pemenuhan barang konsumsi yang mencakup ketersediaan pangan, teknologi penginderaan jauh terbukti sangat berguna untuk memperkirakan produksi beras nasional secara objektif dan cepat. Teknologi ini menggantikan metode survei yang biasa digunakan.

Sumber daya alam lain yang termasuk dalam komoditas pemenuhan kebutuhan dan penghasil devisa dapat dikelola dengan efektif menggunakan teknologi satelit. Contohnya, sumber daya laut hayati telah dikelola dengan cermat oleh Pusat Pengendalian Operasi Pemantauan dan Pengawasan Satelit (PSDKP) Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) menggunakan satelit penginderaan jauh melalui stasiun Bumi. Selain itu, kebijakan satu peta yang mengintegrasikan berbagai pemetaan juga mencakup pengelolaan sumber daya alam nasional secara menyeluruh.

Di samping berbagai manfaat dari penggunaan orbit Bumi, terdapat juga risiko yang berkaitan dengan keamanan sumber daya alam nasional. Satelit-satelit asing yang mampu memotret wilayah Indonesia berpotensi memiliki informasi yang lebih detail mengenai lokasi dan kondisi pusat-pusat sumber daya alam nasional dibandingkan data yang dimiliki pemerintah Indonesia sendiri. Tidak hanya itu, satelit-satelit pengintai militer asing juga dapat dengan mudah

memetakan kondisi geografis Indonesia untuk keperluan strategis mereka. Risiko semacam ini memiliki relevansi yang besar dalam Gatra Geografi.

Isu ekonomi dalam pemnafaatan orbit Bumi juga berkaitan dengan cara pandang Indonesia terhadap status wilayah ini. Dalam RUU Wawasan Nusantara, orbit satelit dianggap sebagai salah satu sumber daya strategis. Namun, dalam UU Cipta Kerja, orbit tidak diakui sebagai aset nasional. Perbedaan perlakuan antara orbit sebagai sumber daya dan orbit sebagai aset nasional dapat menjadi masalah potensial jika tidak dianalisis lebih lanjut, terutama mengingat pentingnya pemanfaatan orbit Bumi yang semakin meningkat bagi Indonesia.

c. Ketahanan Politik,

khususnya dalam dimensi politik luar negeri sangat dipengaruhi oleh pemanfaatan orbit Bumi. Seperti yang disebutkan oleh Bowen (2020), orbit Bumi merupakan wilayah atau isu yang secara alamiah bersifat internasional, sehingga menuntut partisipasi aktif Indonesia bersama dengan negara-negara lain dalam pengelolaannya. Hal ini tecermin dalam beberapa pengalaman Indonesia, misalnya pendirian LAPAN sebagai lembaga khusus bidang antariksa, sikap Indonesia terkait pemanfaatan Geostationary Orbit (GSO0, dan keterlibatan dalam kerja sama internasional untuk pengembangan teknologi satelit melalui PSDKP.

Dalam Keputusan Presiden Nomor 236 Tahun 1963, Sukarno meyakini bahwa pengembangan teknologi antariksa adalah kunci untuk meningkatkan kedudukan Indonesia sejajar dengan negara-negara lain. Hal ini mendorong Sukarno untuk mendirikan LAPAN pada tahun 1963 setelah mendirikan DEPANRI. Kemandirian dalam teknologi antariksa diharapkan tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis masyarakat Indonesia, tetapi juga untuk memperkuat posisi politik internasional Indonesia pada saat itu.

Indonesia berperan aktif dalam menjaga ketertiban dunia juga tecermin dalam isu-isu keantariksaan. Salah satu inisiatif yang paling

penting dan konsisten dilakukan oleh Indonesia adalah penyusunan hukum internasional terkait pemanfaatan orbit geostasioner (GSO) sebagai bagian dari orbit Bumi yang merupakan milik bersama umat manusia. Kepentingan Indonesia terhadap satelit GSO diselaraskan dengan kepentingan global masyarakat internasional.

Dalam konteks kerja sama internasional yang dilakukan oleh PSDKP, kerja sama dengan Global Fishing Watch merupakan contoh signifikan dalam menguji ketahanan politik Indonesia di sektor perikanan. Pada awalnya kerja sama ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapabilitas PSDKP dalam menjalankan tugas, ternyata kerja sama ini justru membuka potensi kerentanan. Global Fishing Watch membocorkan data perikanan Indonesia tanpa izin (A. R. Farhan, komunikasi pribadi, 5 Juli 2022)³.

d. Ketahanan Ekonomi.

Satu contoh yang menonjol dalam hubungan antara penggunaan orbit Bumi dan ketahanan ekonomi Indonesia adalah setelah Krisis Moneter 1998. Pada awal Era Reformasi, Presiden Megawati Soekarnoputri memutuskan untuk menjual perusahaan Indosat beserta asetnya, seperti satelit dan slot GSO yang ditempatinya (Ma'arif, 2019). Keputusan ini merupakan langkah yang dianggap perlu oleh pemerintah saat itu dalam menanggulangi krisis ekonomi. Dampaknya tidak hanya terhadap ketahanan ekonomi tetapi juga politik. Privatisasi Indosat menjadi isu politik yang populer dan masih relevan hingga sepuluh tahun kemudian. Dalam kampanyenya, Presiden Joko Widodo berjanji untuk membeli kembali Indosat sebagai bagian dari platform politiknya (Jazeri, 2018).

Indonesia mengandalkan satelit telekomunikasi untuk menghubungkan mesin ATM di seluruh kepulauan. Penggunaan teknologi satelit dianggap lebih efisien daripada menggelar kanal informasi seperti kabel fiber optik ke seluruh Indonesia. Salah satu contoh adalah Bank Rakyat Indonesia (BRI) memiliki satelit GSO sendiri.

³ Komunikasi pribadi dengan A. R. Farhan mengenai Pemanfaatan teknologi antariksa oleh PSDKP KKP pada tanggal 5 Juli 2022.

BRI menjadi bank pertama di dunia yang memiliki dan mengoperasikan satelitnya sendiri. Kebergantungan pada teknologi ini diuji ketahanannya dalam kasus anomali Telkom-1 yang menyebabkan sejumlah ATM dan transaksi perbankan nasional terhenti sementara (SpaceNewsInc, 2017).

Di samping situasi-situasi krisis yang menguji ketahanan ekonomi secara langsung, terdapat contoh-contoh upaya Indonesia untuk memperkuat ketahanan ekonomi. Salah satunya adalah Kebijakan Satu Peta yang diinisiasi oleh Kementerian Koordinator Bidang Ekonomi (Kemenekon) Republik Indonesia, bekerja sama dengan Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan memanfaatkan data citra satelit. LAPAN telah menandatangani *Memorandum of Understanding* (MoU) pada 2019 dengan Kemenekon untuk memperkuat pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. Kerja sama ini kemudian diteruskan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai suksesor LAPAN.

Meningkatnya nilai bisnis dalam pemanfaatan orbit Bumi secara global merupakan peluang bagi Indonesia untuk memperkuat aspek daya saing dalam sektor ketahanan nasional. Meskipun Indonesia memiliki sumber daya manusia yang kompeten di bidang kedirgantaraan, ekosistem inovasi dan bisnis masih perlu ditingkatkan. Peristiwa *brain drain* ketika ribuan insinyur PT Dirgantara Indonesia pindah ke perusahaan-perusahaan internasional setelah Krisis Moneter 1998 mencerminkan tantangan ini. Dengan adanya Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), muncul peluang untuk mencegah kejadian serupa atau bahkan menarik kembali para insinyur berpengalaman ke Indonesia untuk memajukan industri kedirgantaraan nasional.

e. Ketahanan Pertahanan-Keamanan.

Dari segi kedaulatan, UU Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara menggantikan UU Nomor 29 Tahun 1982 dan menghilangkan pengertian GSO sebagai bagian dari wilayah pertahanan dirgantara. Pemahaman ini sejalan dengan hasil Kongres DEPANRI 1998 yang mengakui GSO sebagai bagian dari ruang antariksa yang tidak berada dalam kedaulatan suatu negara. Namun, GSO dianggap sebagai bagian

dari 'wilayah kepentingan' di antariksa yang memerlukan regulasi khusus (*sui generis regime*). Upaya untuk mengatur ketentuan khusus ini mirip dengan upaya Indonesia untuk mengakui konsep negara kepulauan dalam hukum laut internasional, yang memberikan kebebasan tertentu bagi pelayaran dan penerbangan internasional di Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) (Dirwan, 2011). Meskipun posisi ini bersifat informal dari sudut pandang hukum formal, prinsip ini bertahan setidaknya dua dekade berikutnya sebagai panduan bagi delegasi Indonesia dalam pertemuan internasional mengenai isu antariksa.

Teknologi satelit secara langsung disebut dalam Buku Putih Pertahanan Indonesia Tahun 2015 sebagai landasan modernisasi pertahanan nasional. Berbagai lembaga pertahanan dan keamanan menjadikannya salah satu prioritas untuk meningkatkan kapabilitas *unity of command*, *Network-Centric Warfare*, C4ISR, dan lain-lain. Upaya pengadaan satelit dan teknologi pendukungnya ini dilakukan oleh TNI, BAKAMLA, PSDKP KKP, dan lembaga lainnya. Namun, kemandirian Indonesia masih terbatas belum menguasai teknologi kunci keantariksaan, seperti peluncuran satelit. Akibatnya, pemenuhan kebutuhan akan teknologi sensitif ini masih tetap menjadi tantangan besar.

Gangguan, Serangan, dan/atau Peristiwa Merusak terkait Antariksa. Pemanfaatan orbit Bumi telah memunculkan berbagai bentuk gangguan, serangan, atau peristiwa merusak yang sebelumnya tidak pernah terjadi sebelum eksplorasi antariksa dimulai pada pertengahan abad ke-20. Berbagai temuan mengenai ancaman terestrial dan orbital, baik yang aktual (sudah terjadi) maupun potensial, menunjukkan bahwa Indonesia telah dan akan semakin terpengaruh oleh aktivitas ini. Hubungan yang terbentuk antara ancaman terestrial dan orbital juga menunjukkan bahwa gangguan, serangan, atau peristiwa merusak yang terjadi di orbit Bumi dapat berdampak pada munculnya gangguan, serangan, atau peristiwa merusak di permukaan Bumi.

Sebagai contoh interaksi antara peristiwa merusak di orbit Bumi dan dampaknya di permukaan Bumi adalah anomali Telkom-1.

Kejadian ini memberikan pengajaran bagi Indonesia untuk meningkatkan kewaspadaannya terhadap lingkungan orbit Bumi. Insiden seperti yang terjadi pada Telkom-1 bisa terulang kapan saja, baik karena sampah antariksa maupun serangan antariksa dari pihak musuh. Gangguan yang disebabkan oleh ketergantungan pada teknologi satelit dapat muncul secara tiba-tiba dan menguji ketahanan nasional di daratan. Jika kasus Telkom-1 hanya berdampak pada kegiatan ekonomi, mungkin di kasus-kasus berikutnya, ancaman dapat muncul terhadap sistem-sistem satelit pertahanan dan keamanan yang sedang direncanakan oleh berbagai pihak.

Antariksa dalam Kemampuan Negara untuk Adaptasi, Bangkit Kembali, Transformasi, dan/atau Berstrategi. Pemanfaatan orbit Bumi oleh Indonesia dan negara-negara lain erat kaitannya dengan kemampuan suatu negara untuk menyesuaikan diri, bangkit kembali, bertransformasi, dan berstrategi. Kemampuan ini mencerminkan kapasitas beradaptasi dan bangkit kembali dalam konteks ketahanan nasional. Indonesia telah menunjukkan kemampuan ini sejak awal kemerdekaan. Sebagai bangsa yang belum lama merdeka dan bebas dari penjajahan, pembangunan kemampuan keantariksaan menjadi bagian dari upaya Indonesia untuk bangkit kembali sebagai negara.

Pendirian LAPAN oleh Sukarno mencerminkan kemampuan adaptasi Indonesia pada awal era *Space Race* pada masa Perang Dingin. Bersamaan dengan pendirian DEPANRI pada awal 1960-an, langkah ini menunjukkan bahwa eksplorasi antariksa dipandang sebagai bagian integral dari kemampuan adaptif Indonesia dalam konteks ketahanan nasional. Dalam keputusan pendiriannya, Sukarno menyatakan bahwa “Negara Republik Indonesia harus menyesuaikan diri dengan kemajuan zaman serta memajukan dan menyempurnakan kegiatan-kegiatan nasional di bidang penerbangan dan angkasa luar sehingga setara dengan negara-negara lain.”

Indonesia telah menunjukkan kemampuan untuk bangkit kembali dalam konteks pemanfaatan orbit Bumi, juga dalam ruang orbit itu sendiri. Kasus anomali Telkom-1 menyoroiti bahwa PT Telkom Indonesia mampu menangani kerusakan satelit dengan cepat dan

segera mencari pengganti satelit tersebut. Meskipun penyebab kerusakan belum diketahui, langkah PT Telkom untuk menghidupkan kembali layanan satelit—yang penting bagi ribuan terminal pembayaran nasional—menunjukkan komitmen yang sangat penting bagi ketahanan nasional Indonesia.

Dalam menghadapi gangguan yang mungkin terjadi di masa depan terkait pemanfaatan orbit Bumi, Indonesia masih berada pada tahap awal perumusan strategi. Namun, langkah awal ini jauh lebih baik daripada tidak memiliki rencana sama sekali. Antariksa sekarang tidak dapat dipisahkan dari formulasi strategi ketahanan nasional suatu negara. Dalam konteks geopolitik praktis Indonesia, antariksa telah menjadi bagian dari Wawasan Nusantara sebagai geopolitik nasional, dan ketahanan nasional melalui strategi geostrateginya, yang terwujud dalam Konsepsi Kedirgantaraan Nasional. Meskipun begitu, kedua strategi ini belum sepenuhnya mengakomodasi perkembangan terkini dalam pemanfaatan antariksa, seperti peningkatan penggunaan *Low Earth Orbit* (LEO) dibandingkan *Geostationary Orbit* (GSO). Oleh karena itu, peremajaan strategi ketahanan nasional yang lebih responsif terhadap dinamika pemanfaatan orbit Bumi akan lebih efektif apabila lembaga/organisasi koordinasi tingkat nasional seperti DEPANRI dapat dihidupkan kembali.

Antariksa dan Tingkatan Analisis Ketahanan Nasional. Dalam studi tentang ketahanan nasional, ada beberapa tingkat analisis yang menjadi fokus penelitian. Beberapa tingkat yang sering diperhatikan mencakup individu, organisasi, wilayah, dan negara. Analisis keantariksaan dalam konteks tingkat analisis ketahanan nasional ini dapat dilakukan secara mendalam dengan mempertimbangkan elemen-elemen ketahanan antariksa yang relevan dengan setiap tingkat analisis tertentu.

Pada tingkat individu, aspek operasional dan organisasional dalam konteks ketahanan antariksa menjadi fokus utama. Dalam aspek operasional, keahlian individu untuk memahami situasi sangat krusial untuk menjaga stabilitas sistem antariksa. Sementara itu, dalam aspek organisasional, kemampuan individu untuk siap menghadapi

kegagalan sistem, menghindari oversimplifikasi masalah, sensitivitas terhadap operasional, dan menghargai keahlian yang berbeda merupakan kualitas penting untuk mempertahankan ketahanan sistem antariksa. Kemampuan-kemampuan ini tecermin pada para insinyur di PT Telkom dan LAPAN yang selalu siap siaga untuk menjaga operasional satelit, seperti Telkom-1, LAPAN-A2, dan LAPAN-A3.

Pada tingkat wilayah atau daerah, pengelolaan dalam konteks ketahanan antariksa menjadi sangat penting. Contoh proyek pembangunan bandar antariksa di Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat, dan Biak, Papua, serta observatorium di Timau, Nusa Tenggara Timur, menunjukkan bahwa ketahanan ekonomi dan politik lokal tidak terpisahkan dalam upaya memperkuat ketahanan nasional. Proyek pembangunan bandar antariksa di Pameungpeuk, Garut, misalnya, menghadapi perubahan status Pantai Santolo karena pertimbangan ekonomi pariwisata lokal. Sementara itu, observatorium di Timau, NTT, termasuk dalam proyek Taman Langit Gelap yang bertujuan untuk mengembangkan ekonomi pariwisata masyarakat setempat. Di sisi lain, pengembangan bandar antariksa di Biak, Papua, mempertimbangkan ketahanan politik lokal karena mengingat posisinya yang terletak di provinsi yang menghadapi ancaman separatisme, serta pentingnya menghormati masyarakat adat setempat.

Pada tingkat negara, elemen-elemen penting dalam ketahanan antariksa, seperti arsitektur sistem yang dapat mengatasi gangguan disruptif di orbit telah menjadi perhatian utama Tentara Nasional Indonesia, terutama Angkatan Udara. Namun, perlu dikembangkan lebih lanjut dengan formulasi yang komprehensif dan terperinci. Dari segi organisasi dan tata kelola, mekanisme yang setara dengan DEPANRI sangat dibutuhkan. Peran BRIN yang telah mengintegrasikan LAPAN ke dalam strukturnya menjadi krusial karena di dalamnya terdapat sumber daya manusia yang telah lama menjaga proses dan mekanisme serupa berjalan. Konsep seperti “Konsepsi Kedirgantaraan Nasional” (DEPANRI, 1996) atau “Dirgantara Nusantara” (DEPANRI, 1969; Samyoga, 2022) yang pernah ada berpotensi untuk direvitalisasi

sebagai landasan pemikiran dan implementasi ketahanan nasional di bidang udara dan antariksa.

Antariksa dan Sektor Ketahanan Nasional. Antariksa memiliki dua potensi integrasi yang dapat berkontribusi terhadap sektor ketahanan nasional: (a) secara menyeluruh memengaruhi gatra-gatra geografi, sumber daya alam (SDA), dan bidang lainnya; (b) menjadi matra yang mandiri untuk mengintegrasikan semua gatra dalam kerangka “Ketahanan Antariksa.” Dalam konteks potensi pada poin (a), kehadiran keantariksaan memperluas cakupan dengan memasukkan aspek-aspek, variabel-variabel, atau indikator-indikator yang mencerminkan tingkat ketahanan Indonesia dalam pemanfaatan orbit Bumi atau aktivitas keantariksaan secara keseluruhan.

Pada gatra geografi, penting untuk mempertimbangkan orbit Bumi dengan cermat, baik secara statis dalam *trigatra* maupun dinamis dalam *pancagatra*. Kepentingan terhadap orbit Bumi telah menjadi fokus utama bagi para pembuat kebijakan nasional sejak masa pemerintahan Presiden Sukarno dan setelahnya. Hal ini tecermin dalam pendirian DEPANRI dan LAPAN. Pendirian kedua lembaga ini bertujuan untuk mendukung pandangan bahwa Indonesia harus memiliki kemampuan dalam bidang antariksa dan nuklir untuk mencapai kemajuan sebagai bangsa.

Indonesia telah mengeluarkan beberapa regulasi terkait kedaulatan wilayah udara, termasuk Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan (Syarief & Sunendar, 2019) dan Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2018 tentang Pengamanan Wilayah Udara Republik Indonesia (Savitri & Prabandari, 2020). Namun, kedua regulasi ini tidak secara eksplisit mengatur batas vertikal ruang udara Indonesia. Dalam Undang-Undang Keantariksaan, terdapat penjelasan tentang batas udara antara 100 hingga 110 kilometer di atas permukaan laut (Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan, 2013), namun pengaturannya masih terbilang lemah secara hukum. Potensi untuk lebih menguatkan definisi dan delimitasi antariksa secara nasional saat ini ada pada Rancangan

Undang-Undang Pengelolaan Ruang Udara Nasional (RUUPRUN) yang sedang dalam tahap pembahasan (Setiyawan dkk., 2020).

Berkaitan dengan Ketahanan Sumber Kekayaan Alam, penting untuk mendorong perlakuan orbit Bumi sebagai bagian dari sumber daya alam dalam praktik kebijakan ketahanan nasional serta dalam perhitungan Indeks Ketahanan Nasional (IKN) Sirkutannas Lemhannas. Setelah rezim Presiden Suharto berakhir, Era Reformasi mengubah sejumlah tatanan konstitusional dan peraturan perundang-undangan terkait GSO. Salah satunya adalah hilangnya dasar hukum Wawasan Nusantara setelah TAP MPR tidak lagi menjadi bagian dari hierarki peraturan perundang-undangan. Meskipun demikian, konsepsi Wawasan Nusantara masih tetap relevan dan bertahan di berbagai kalangan. Saat ini, posisi hukum Wawasan Nusantara sedang diperjuangkan dalam bentuk Rancangan Undang-Undang (RUU) yang diajukan oleh Dewan Perwakilan Daerah (DPD) pada tanggal 2 Februari 2015 (Novia, 2016). Dalam draf RUU yang tercantum di situs resmi Program Legislasi Nasional (Prolegnas), Pasal 30 mengakui ‘orbit satelit’ sebagai salah satu sumber daya alam nasional. Namun, hingga kini pembahasan RUU tersebut di DPR belum melampaui tahap Pembicaraan Tingkat I pada 24 Oktober 2016 (Setjen DPR RI, 2016).

Selain menyatu dengan cara meresap ke dalam gatra-gatra tradisional, antariksa juga dapat sejajar dengan sektor-sektor ketahanan yang telah lebih dulu dikembangkan, seperti “maritim”, “siber”, dan “udara”, sebagai matra baru dalam konsep ketahanan nasional. “Ketahanan antariksa” dikembangkan sebagai dimensi dalam konsepsi ketahanan nasional yang mencakup semua aspek gatra dalam semua hal yang terkait dengan keantariksaan.

Upaya seperti ini sebenarnya telah dilakukan oleh beberapa unsur TNI AU, seperti Marsekal Muda TNI Novyan Samyoga saat menjadi Pangkohanudnas. Beliau mengusung konsep “Dirgantara Nusantara” untuk menjadi landasan bagi seluruh operasi udara nasional. Pada tahun 1969, DEPANRI sebelumnya telah menerbitkan doktrin yang serupa dengan nama “Doktrin Dirgantara Nusantara.” Pada tahun

1996, DEPANRI, Lemhannas, dan pihak-pihak terkait lainnya juga telah menyusun “Konsepsi Kedirgantaraan Nasional” yang secara eksplisit menginterpretasikan Wawasan Nusantara dan Ketahanan Nasional sebagai dasar dalam setiap kegiatan pemanfaatan dan pengembangan kedirgantaraan nasional. Saat ini, dengan kondisi yang sudah sangat berbeda, pengembangan konsep “ketahanan antariksa” yang sejalan dengan gagasan yang pernah diusulkan oleh para pendahulu menjadi langkah yang diperlukan.

Pengembangan tidak hanya berhenti pada tingkat praktis kebijakan, tetapi juga dalam ranah formal akademik untuk menyediakan infrastruktur pengujian dan pengembangan pemikiran yang berbasis bukti dan penelitian ilmiah yang terus berkembang. Konsep seperti ini dapat melengkapi kerangka pemikiran tentang ketahanan nasional sebagai sesuatu yang unik namun tetap terintegrasi dalam kerangka konseptual yang lebih luas tentang ketahanan nasional. Konsep yang dikembangkan oleh Peldszuz (2020) dapat menjadi titik tolak bagi pengembangan lebih lanjut oleh para peneliti ketahanan nasional dan kebijakan antariksa di Indonesia.

D. Penutup

Bab ini menunjukkan bahwa pengembangan konsep ketahanan antariksa yang mandiri namun terintegrasi dengan ketahanan nasional dapat dan perlu dilakukan. Hal ini berdasarkan bukti-bukti penelitian tentang pemanfaatan orbit Bumi secara global dan khususnya oleh Indonesia. Konsep ini dapat dikembangkan, baik dalam bentuk formal maupun praktis. Pola ancaman yang diidentifikasi dan dijelaskan dalam tesis ini menunjukkan bahwa gangguan, serangan, dan peristiwa merusak yang terjadi di orbit Bumi memiliki keterkaitan yang kuat dengan ketahanan nasional Indonesia di permukaan Bumi. Pemanfaatan orbit Bumi berdampak positif dan negatif yang bersifat timbal balik karena tidak hanya memengaruhi ketahanan nasional di permukaan Bumi, tetapi juga memengaruhi kondisi orbit Bumi itu sendiri. Potensi hubungan ini dapat membuka jalan bagi penelitian

lebih lanjut mengenai isu keantariksaan dalam konteks studi tentang Ketahanan Nasional.

Dalam tataran teoretis, pengembangan pemikiran ketahanan nasional yang berwawasan antariksa perlu ditingkatkan. Upaya penelaahan awal terkait perbatasan atau *boundaries* terhadap “antariksa” sebagai ruang lingkup baru dalam kajian ketahanan nasional perlu dilakukan untuk menyediakan batasan analisis yang dapat diandalkan. Oleh sebab itu, para akademisi perlu mengembangkan konsep ketahanan antariksa yang lebih relevan bagi ketahanan nasional Indonesia.

Dalam tataran praktis, persoalan antariksa harus dapat diterjemahkan sesederhana mungkin ke ranah pembuatan kebijakan. Langkah awal bisa dimulai dengan visualisasi peta baru keantariksaan, terutama orbit Bumi, dalam konteks Wawasan Nusantara. Dengan landasan visional yang memadai, pengembangan Kebijakan Ketahanan Nasional berwawasan keantariksaan akan lebih dapat dicapai. Kebijakan ketahanan nasional sebagai landasan konseptual harus senantiasa didasari oleh Wawasan Nusantara yang berwawasan antariksa sebagai landasan visional yang menaunginya. Pengembangan Kebijakan Ketahanan Antariksa Nasional lebih efektif dilakukan melalui sarana kelembagaan sejenis DEPANRI dalam bingkai ‘Konsepsi Kedirgantaraan Nasional’ atau ‘Dirgantara Nusantara’. Pekerjaan ini sangat panjang dan memerlukan keberlanjutan antargenerasi sehingga pendidikan keantariksaan yang relevan dibutuhkan dalam sistem pendidikan nasional, termasuk di dalamnya memberikan pemahaman dasar tentang *Space Situational Awareness* (SSA).

Daftar Referensi

- Alfathimy, D. H. A. (2022). *Pengembangan konsep ketahanan antariksa melalui pemanfaatan orbit Bumi dalam pengokohan ketahanan nasional* [Master Thesis, Universitas Indonesia]. Universitas Indonesia Library, LONTAR - Library Automation and Digital Archive. <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=20522659#digital#digital>
- Alfathimy, D. H. A., Sudjatmiko, T., & Susilawati, E. (2019). Ketimpangan pemanfaatan orbit geostasioner (GSO) dalam lingkungan sistem dunia.

- Intermestic: Journal of International Studies*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.24198/intermestic.v4n1.6>
- Bell, B. M., & Rogers, E. T. (2014). *Space resilience and the contested, degraded, and operationally limited environment: The gaps in tactical space operations*. *Air and Space Power Journal*. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA626050>
- Bourbeau, P. (2018). *On resilience: Genealogy, logics, and world politics*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108349017>
- Bowen, B. E. (2020). *War in space: Strategy, space power, geopolitics* (1st edition). Edinburgh University Press.
- Bowen, B. E. (2022). *Original sin: Power, technology and war in outer space*. Hurst Publishers.
- Buckerfield de la Roche, A. (2011). Space, security and resilience: Reflections on the debate. *Space Policy*, 27(4), 247–249. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2011.09.006>
- Buzan, B., Waeber, O., & Wilde, J. D. (1997). *Security: A New Framework for Analysis* (UK ed. edition). Lynne Rienner Publishers.
- Corbett, T., & Barker, N. (2020, 15 November). With resilience, NASA & SpaceX begin operational commercial crew flights. *NASASpaceFlight.Com*. <https://www.nasaspaceflight.com/2020/11/crew1-launch/>
- Dalby, S., & Tuathail, G. Ó. (Ed.). (1998). *Rethinking geopolitics* (1st Edition). Routledge.
- DEPANRI. (1969). *Doktrin Dirgantara Nusantara*. Dewan Penerbangan dan Antariksa Nasional Republik Indonesia.
- DEPANRI. (1996). *Konsepsi Kedirgantaraan Nasional* (Konsep Akhir 12/06/1996). Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).
- Dirwan, A. (2011). Pengaturan ruang udara di atas Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.22146/jkn.12646>
- Hanita, M. (2020). *Ketahanan Nasional: Teori, adaptasi dan strategi*. UI Publishing.
- Hays, P. L. (2020). International space security setting: An introduction. Dalam *Handbook of Space Security: Policies, Applications and Programs* (hlm. 1–5). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22786-9_60-2

- Hempsell, M., Longstaff, R., & Alexandra, S. (2019). Next steps in preserving geostationary orbit. *Journal of the British Interplanetary Society*, 71, 314.
- Jazeri, M. (2018). Communication culture in political debate in Indonesia. *KnE Social Sciences*, 364–376. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i9.2698>
- Ma'arif, S. (2019). Privatisasi BUMN dan reorientasi peran negara di sektor bisnis orde baru. *Jurnal Analisis Sosial Politik*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.23960/jasp.v3i1.51>
- McLeod, G. W., Nacouzi, G., Dreyer, P., Eisman, M., Hura, M., Langeland, K. S., Manheim, D., & Torrington, G. (2016). *Enhancing space resilience through non-materiel means* [Research Report]. RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1067.html
- Novia, D. R. M. (2016, 27 Agustus). DPD desak RUU Wawasan Nusantara disahkan jadi Undang-Undang. *Republika Online*. <https://republika.co.id/berita/nasional/politik/16/08/27/ocja15354-dpd-desak-ruu-wawasan-nusantara-disahkan-jadi-undangundang>
- Peldszus, R. (2019). Resilience of space systems: Principles and practice. Dalam *Handbook of Space Security: Policies, Applications and Programs* (hlm. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22786-9_87-1
- Samyoga, N. (2022). *Dirgantara Nusantara: Perisai udara benua maritim*. Intrans Publishing.
- Savitri, R. N. R., & Prabandari, A. P. (2020). TNI Angkatan Udara dan keamanan wilayah udara Indonesia. *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, 2(2), 236–245.
- Setiyawan, W. B. M., Hidayah, N., & Sofyan, A. C. (2020). Urgensi penerapan Interdependent Airspace Governance untuk optimalisasi tata kelola ruang udara nasional sebagaiantisipasi Open Sky Policy. *Wajah Hukum*, 4(2), 494–499.
- Setjen DPR RI. (2016). *RUU tentang Wawasan Nusantara* [Government]. Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia. <https://www.dpr.go.id/uu/detail/id/4>
- SpaceNewsInc (Direktur). (2017). *Telkom-1 Satellite Debris Incident* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=4FXX1kSNljU>
- Sudjatmiko, T., Alfathimy, D. H. A., Susilawati, E., Dikjiratmi, & Kusumaningtyas, M. R. (2018). *Posisi Indonesia tentang Sui Generis Regime Geostationary Orbit (GSO)* [Laporan Kajian]. Pusat Kajian Kebijakan Penerbangan dan Antariksa, LAPAN.

- Syarief, M. I. C., & Sunendar, I. (2019). Kedaulatan menurut Konvensi Chicago 1944 dan implementasinya dalam Undang-Undang No. 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan (Studi kasus pendaratan helikopter 9M-YMH berbendera Malaysia di Pulau Sebatik, Kalimantan Utara). *Prosiding Ilmu Hukum*, 0, Article 0. <https://doi.org/10.29313/v0i0.16466>
- Temple, D. (2020). Real-time plume detection and segmentation using neural networks. *The Journal of the Astronautical Sciences*, 67(4), 1793–1810. <https://doi.org/10.1007/s40295-020-00237-w>
- Testé, J.-D. (2019). Future of French space security programs. Dalam *Handbook of Space Security: Policies, Applications and Programs* (hlm. 1–14). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22786-9_122-1
- Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan. (2013). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/38897/uu-no-21-tahun-2013>

BAB X

Konsep dan Kebijakan Keantariksaan Indonesia Menuju Kemandirian Antariksa Untuk Kemajuan Masyarakat dan Bangsa

Fitri Nuraeni

A. Pendahuluan

Keantariksaan saat ini menjadi sektor penting dalam kehidupan masyarakat modern secara global. Di Indonesia sendiri perkembangan keantariksaan sudah dimulai sejak lama dengan pembentukan Komite Astronautika pada 31 Mei 1962. Komite ini dibentuk oleh Perdana Menteri Juanda dan R.J. Salatun atas arahan Presiden Soekarno (Pradana dan Permatasari, 2021). Dengan adanya Undang-Undang No. 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan, maka pembangunan keantariksaan Indonesia memiliki landasan hukum yang kuat. Meskipun begitu, kajian kebijakan keantariksaan masih sangat dibutuhkan untuk mendorong dan mempercepat kemajuan penguasaan dan pemanfaatan sains dan teknologi Antariksa.

F. Nuraeni

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: v3kerjaan@gmail.com

© 2025 Editor & Penulis

Nuraeni, F. (2025). Konsep dan Kebijakan Keantariksaan Indonesia Menuju Kemandirian Antariksa Untuk Kemajuan Masyarakat dan Bangsa Dalam T. Djamaluddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(259–273). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1504, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

Buku ini tidak diperjualbelikan

Isu geopolitik dunia terutama di Indo-Pasifik mengenai dinamika persaingan dan kerja sama dalam kegiatan keantariksaan tentunya memengaruhi arah kebijakan Antariksa Indonesia sebagai salah satu *emerging power* di kawasan tersebut (Alfathimy dkk., 2021). Posisi Indonesia sebagai negara kepulauan, dengan bentangan yang cukup lebar di khatulistiwa, menyebabkan kita memiliki kesempatan yang sangat besar untuk dapat mengeksplorasi dan memanfaatkan Antariksa sesuai dengan amanat undang-undang. Hal itu juga menjadi penyebab kebutuhan bangsa Indonesia untuk memiliki kemandirian keantariksaan sehingga dapat melindungi wilayahnya dari bencana Antariksa akibat benda Antariksa buatan ataupun alami dan pemanfaatan Antariksa di atas wilayah Indonesia oleh negara lain yang dapat mengancam kedaulatan negara.

B. Sains dan Teknologi Antariksa dalam Budaya Bangsa

Benda Antariksa dan fenomenanya memiliki sejarah yang panjang dalam memengaruhi kehidupan manusia. Sejak zaman dahulu, budaya-budaya tertua di dunia telah memanfaatkan astronomi dalam perkembangan matematika, navigasi, penanggalan dan bahkan perkembangan peradaban masyarakatnya, seperti filsafat, kesenian, sastra, dan ekonomi. Sebagai ilmu berbasis pada pengamatan, astronomi telah berkembang selama ribuan tahun. Perkembangan ini berpuncak pada kemajuan teknologi pada abad ke-20 dan ke-21 yaitu teleskop luar angkasa, seperti Hubble dan ekspedisi, seperti Solar Dynamics Observatory. Perkembangan pesat pada teknologi pengamatan astronomi tidak hanya terjadi pada sisi instrumennya saja, tetapi teknis dan metode, material instrumentasi ataupun lingkungan pengamatannya juga menjadi objek riset yang menghasilkan inovasi baru. Kemajuan teknologi, seperti teleskop, telah menghasilkan inovasi dalam bidang seperti kedokteran (misalnya mesin MRI) dan teknologi komunikasi (misalnya satelit). Teknis dan metode pengamatan astronomi berkembang pesat. Pengamatan tidak lagi terbatas pada gelombang optik, tetapi juga mencakup panjang gelombang radio dan

spektrum elektromagnetik lainnya. Selain itu, telah dikembangkan pula metode pengamatan otomatis yang memanfaatkan teknologi digitalisasi dan sistem robotik. Dalam hal lingkungan pengamatan, riset mengenai polusi cahaya terus dilakukan, kemudian hasilnya didiseminasikan dalam bentuk edukasi ke masyarakat. Upaya ini bertujuan agar lokasi pengamatan tetap terjaga sehingga menghasilkan pengamatan yang berkualitas.

C. Sains dan Teknologi Antariksa untuk Kedaulatan Negara

Hingga saat ini bangsa Indonesia telah menunjukkan kemampuan dari sisi sumber daya manusia dan teknologi Antariksa landas Bumi untuk dapat berkontribusi dalam hal pengembangan keantariksaan, baik regional maupun global. Hal ini dibuktikan dengan adanya beberapa pusat riset yang memiliki fokus, antara lain untuk mengembangkan sains dan teknologi keantariksaan dalam Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang kemudian dilanjutkan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), meningkatnya kolaborasi antara akademisi terkait keilmuan sains dan teknologi Antariksa, pengembangan jaringan pengamatan Antariksa yang mencakup banyak wilayah Indonesia, dan adanya peningkatan kesadaran tentang kondisi Antariksa dan dampaknya (*Space situational awareness*). Penguasaan sains dan teknologi keantariksaan ini juga perlu didukung dengan kebijakan-kebijakan yang dapat mempercepat kemajuannya.

Oleh karena itu, diinisiasi suatu konsep pemantauan berupa Jaringan Patroli Langit Indonesia (ISPN = *Indonesian Space Patrol Network*) untuk menjaga kedaulatan dan keamanan wilayah Indonesia dari ancaman bencana Antariksa, baik berupa benda jatuh Antariksa buatan maupun alami. Kolaborasi antara Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL) dan Surabaya Astronomy Club (SAC) pada 2022 berhasil mewujudkan konsep ini. Hingga saat ini, ISPN telah memiliki anggota yang tersebar di beberapa wilayah Indonesia dan masih mengajak seluruh observatorium dan komunitas astronomi di Indonesia, baik yang dikelola oleh individu maupun lembaga

pemerintah, pendidikan dan swasta untuk ikut serta memantau langit Indonesia. Dengan tujuan memantau langit Indonesia, khususnya terhadap benda jatuh, seperti meteor atau sampah luar angkasa, serta pemantauan polusi cahaya, dibangunlah jaringan *All-Sky Camera* yang dapat langsung diakses oleh masyarakat. Melalui jaringan ini, masyarakat dapat berkolaborasi untuk membangun database *All-Sky Camera*. Kolaborasi dalam bentuk ISPN ini berperan aktif untuk mendeteksi potensi ancaman dari benda-benda langit yang berdampak pada Bumi. Hal ini dapat mendukung upaya mitigasi dan perlindungan khususnya wilayah Indonesia.

Upaya mitigasi dengan pemantauan objek antariksa, baik alami maupun buatan secara kontinu membutuhkan lingkungan pengamatan yang baik. Secara umum suatu observatorium dapat berfungsi optimal membutuhkan lingkungan yang memiliki kondisi cuaca yang stabil dan minim awan, minim getaran seperti jauh dari jalur kereta api ataupun jalan raya yang padat lalu lintas. Selain itu, juga memerlukan ketinggian yang memadai untuk menghindari gangguan atmosfer dan mendapatkan pandangan yang lebih jelas ke angkasa. Lokasi observatorium mengharuskan lokasi yang jauh dari polusi cahaya yang dapat mengganggu pengamatan. Peningkatan polusi cahaya adalah suatu hal yang sulit dihindari karena keberadaan observatorium umumnya akan meningkatkan aktivitas masyarakat sekitar. Polusi cahaya terjadi karena penggunaan pencahayaan yang berlebihan, seperti lampu yang digunakan untuk penerangan perumahan dan jalan raya, lampu taman, penggunaan lampu *fluorescent* dan lampu papan reklame. Untuk mengatasi hal tersebut para akademisi melakukan riset dan pemodelan untuk memperkirakan peningkatan polusi cahaya di sembilan *geopark* di Indonesia. Selain perkiraan peningkatan polusi cahaya dengan pemodelan dilakukan juga upaya pengamatan kualitas langit malam pada beberapa kawasan BRIN. Dari data yang diperoleh kemudian dibuat peta kecerahan langit yang hasilnya mengonfirmasi polusi cahaya di sekitar perkotaan dibandingkan daerah yang lebih jauh dari pusat kota. Beberapa metode mitigasi polusi cahaya yang bersifat ekonomis dan mudah dilakukan

di antaranya adalah dengan mengarahkan cahaya ke tempat yang diperlukan; meredupkan cahaya dan memilih penerangan, spektrum warna dan filter yang paling sesuai; menaungi pencahayaan untuk melindungi sekitar; dan belajar dari alam; serta menciptakan kawasan dengan tingkat kegelapan yang terjaga. Pada tingkat internasional kegiatan *Dark and Quiet Sky Initiatives* diinisiasi oleh International Astronomy Union (IAU) dan United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS) sebagai upaya mengurangi polusi cahaya dari gangguan buatan yang berdampak negatif pada visibilitas langit malam dan ilmu astronomi, hingga lingkungan hayati dan kesehatan manusia (UNCOPUOS, 2021). Di Indonesia, langkah strategis yang direncanakan adalah menjadikan kawasan di sekitar observatorium Timau menjadi kawasan taman langit gelap yang membatasi pencahayaan buatan sesuai dengan standar Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA). Dengan adanya taman langit gelap di sekitar kawasan Observatorium Nasional Timau dapat menjaga keberlangsungan dan pengembangan ilmu astronomi, baik modern maupun tradisional, menjaga keberlangsungan ekosistem hayati dan bahkan membangkitkan perekonomian dengan mengembangkan *astrotourism*. Hal tersebut juga sejalan dengan tujuan pembangunan Indonesia berkelanjutan untuk poin mendukung keberlanjutan ekosistem hayati, pendidikan berkualitas, dan pertumbuhan ekonomi.

D. Dukungan konsep dan kebijakan keantariksaan untuk kemandirian antariksa

Pada masa krisis seperti yang baru saja terjadi, yaitu masa saat Covid-19 mewabah secara global, keantariksaan dapat dikatakan berperan sangat penting dalam proses mitigasi, terutama dalam hal komunikasi dan navigasi. Ketika aktivitas fisik manusia pada saat itu sangat terbatas, kita masih dapat terkoneksi dengan baik karena teknologi satelit yang mendukung jaringan telekomunikasi dan navigasi. Selain itu, pemahaman global tentang sains dan teknologi keantariksaan yang semakin baik mempermudah penetrasinya ke masyarakat, termasuk manajemen lingkungan yang mengarah ke digitalisasi dan otomatisasi.

Di wilayah Asia-Pasifik, Indonesia adalah salah satu negara yang telah memiliki sejarah panjang keantariksaan dan bertujuan untuk mengembangkan industri pengamatan antariksa berbasis satelit untuk mendukung pembangunan dalam berbagai sektor. Kebijakan keantariksaan Indonesia pada masa krisis itu, berfokus pada mitigasi bencana, manajemen lingkungan, dan pembangunan satelit. Sebagai contohnya adalah saat masa krisis akibat pandemi Covid-19, langkah yang diambil pemerintah pada saat itu adalah dengan membangun “LAPAN Hub” yang mengintegrasikan data berbasis satelit, geospasial, dan statistik menggunakan suatu antarmuka yang dapat membantu pengambil keputusan mengidentifikasi area berisiko tinggi. Data risiko ini disampaikan kepada pemerintah dan masyarakat dengan cepat, aktual, dan kontinu. Selain itu, pemanfaatan wahana udara tanpa awak (UAV) digunakan untuk memantau kepatuhan pembatasan area dan kerumunan dan pengawasan aktivitas di luar ruangan untuk mengurangi risiko infeksi. Kolaborasi dengan organisasi internasional seperti UNESCAP untuk mendukung implementasi Rencana Aksi Asia-Pasifik mengenai Penggunaan Antariksa untuk Pembangunan Berkelanjutan (2018–2030) juga dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa arah kebijakan keantariksaan pemerintah berfokus pada pembangunan kemampuan domestik dan memanfaatkan teknologi antariksa untuk memenuhi kebutuhan nasional pada masa krisis. Adapun Australia, sebagai salah satu negara dalam regional Asia-Pasifik yang tergolong sebagai negara maju dalam hal keantariksaan, memfokuskan kebijakan keantariksannya ke arah diversifikasi ekonomi, keamanan, dan inovasi. Kebijakan keantariksaan ini sangat dipengaruhi oleh kepentingan strategis dan keamanan nasional. Pada masa krisis pandemi Covid-19, kebijakan keantariksaan Australia adalah memanfaatkan satelit yang tersedia secara internasional untuk pemantauan kerumunan, pelacakan polusi dan logistik yang bergantung pada kemitraan global. Oleh karena itu, dapat dikatakan Australia tetap memprioritaskan kebijakan keantariksannya ke arah pertumbuhan industri, kolaborasi internasional, dan lebih memanfaatkan kepakaran eksternal dalam menghadapi masa krisis. Dapat dikatakan, ketika mengalami krisis yang berdampak global terhadap

banyak aspek kehidupan, baik sosial dan ekonomi, Indonesia ataupun Australia memilih tetap memanfaatkan teknologi keantariksaan dalam menghadapi masa krisis meskipun dengan pendekatan yang berbeda berdasarkan pada kemampuan teknologi dan sumber daya masing-masing. Hal ini tampak dari dinamika kebijakan yang diambil oleh Indonesia dan Australia pada masa krisis didominasi oleh para pelakunya. Australia yang didominasi oleh kelompok kepentingan melalui kemitraan global tetap mempertahankan fokus industrialisasi dan responsif dalam memperluas kemitraan global. Sementara itu, Indonesia dengan aktor yang terlibat didominasi oleh birokrasi sehingga kebijakan yang diambil adalah secara aktif memanfaatkan dan mengembangkan kemampuan dalam negeri. Keantariksaan yang memerlukan biaya tinggi, adanya keterbatasan teknologi, dan faktor-faktor geopolitik dapat menjadi hambatan bagi negara berkembang seperti Indonesia untuk dapat ikut memasuki pasar Antariksa global. Hal yang perlu digarisbawahi adalah cakupan antariksa yang semakin kompetitif memerlukan kebijakan yang dapat menyeimbangkan kemajuan teknologi, keamanan, keselamatan, kedaulatan nasional, dan keberlanjutan. Memperkuat kolaborasi internasional juga sangat penting untuk dapat mengatasi tantangan bersama dan mendorong pembangunan berkelanjutan dalam kegiatan keantariksaan. Hal yang tidak kalah penting tentunya diperlukan aktor khusus terkait keantariksaan agar dapat lebih fokus dan bisa mendorong peran Indonesia dalam konteks nasional dan internasional.

Sejarah panjang keantariksaan Indonesia menjadikan bangsa Indonesia memiliki kebanggaan dan identitas nasional sebagai negara pionir di bidang sains dan teknologi antariksa terutama di wilayah Asia Tenggara. Sumber daya lokasi dan pencapaian sejak 1963 sebagai pionir pada sektor keantariksaan di wilayah Asia Tenggara dapat menjadi modal dasar bagi Indonesia untuk berperan lebih besar di kawasan ini. Sebagai negara kepulauan di ekuator dengan bentangan terlebar, secara geostartegis memiliki daya tawar sebagai lokasi peluncuran roket dan pengoperasian satelit, ditambah lagi dengan pencapaian selama ini mencakup kemajuan di bidang pengindraan

jauh, aeronautika dan kolaborasi multilevel dalam pengembangan teknologi satelit dan roket.

Dengan modal dasar tersebut, masih ada beberapa tantangan dalam perkembangan keantariksaan Indonesia berupa keterbatasan anggaran, sumber daya manusia, ilmu pengetahuan, dan infrastruktur. Perubahan organisasi keantariksaan yang menjadi bagian struktur lembaga riset juga menciptakan tantangan dalam hal otonomi dan efektivitas penyelenggaraan keantariksaan. Hal ini juga termasuk kebergantungan pada dukungan internasional dan terbatasnya keterlibatan, baik swasta maupun pendidikan tinggi. Di tingkat regional Sub-Committee on Space Technology and Applications (SCOSA) merupakan bagian dari komite teknologi dan ilmu pengetahuan (Committee on Science and Technology-COST) ASEAN, menawarkan kerangka kerja sama regional keantariksaan. Meskipun begitu, struktur SCOSA tidak independen dan kebijakan pendanaan opsional yang membebaskan masing-masing anggotanya untuk ikut berkontribusi ataupun tidak dalam pengembangan riset dan teknologi Antariksa, menyebabkan kemajuan keantariksaan di kawasan Asia Tenggara berjalan lambat. Selain itu, adanya perbedaan prioritas dan kepentingan nasional antarnegara di ASEAN juga menghambat terbentuknya kolaborasi keantariksaan yang kohesif.

Dengan adanya tantangan-tantangan tersebut, baik di tingkat nasional maupun regional, maka integrasi menjadi salah satu cara yang direkomendasikan untuk mengatasi ketimpangan teknologi antarnegara di kawasan Asia Tenggara dan dapat saling mengisi kekurangan masing-masing negara. Integrasi ini dapat memperkuat kedaulatan keantariksaan di kawasan Asia Tenggara. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa model integrasi kerja sama keantariksaan negara-negara kawasan Asia Tenggara yang dianggap cocok adalah model Liberal Intergovernmentalisme (LI). Secara teori, LI berfokus pada interaksi antara kepentingan nasional, dinamika negosiasi, dan desain kelembagaan dalam mendorong upaya integrasi. Terdapat 3 postulat inti LI sebagai panduan dalam integrasi, yang pertama adalah preferensi nasional. Sebagai contoh, dalam kerja

sama keantariksaan Indonesia beserta negara-negara lainnya di Asia Tenggara akan menyelaraskan prioritas domestik masing-masing, seperti pengembangan teknologi, pemantauan lingkungan ataupun keuntungan ekonomi dengan tujuan kolaboratif regional. Postulat kedua adalah perundingan substantif, yang artinya tahap ini melibatkan proses perundingan antarnegara untuk merekonsiliasi preferensi yang saling bertentangan dan membuat kesepakatan bersama. Daya tawar masing-masing negara bersifat asimetris bergantung pada negara mana yang memiliki kapasitas yang lebih kuat ataupun prioritas yang lebih jelas. Di kawasan Asia Tenggara, kekuatan tawar-menawar Indonesia dapat berasal dari keunggulan peluncuran di wilayah ekuator dan program satelit yang mapan. Namun, adanya perbedaan dalam pengembangan teknologi keantariksaan antara negara-negara di kawasan Asia Tenggara memperumit proses tawar menawar. Hal ini tampak pada beberapa hal, seperti keterlibatan Vietnam dalam misi Soyuz dan ketertarikan Singapura dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi keantariksaan, juga keinginan kuat Malaysia dan Thailand untuk menjadi negara yang memiliki kekuatan antariksa di kawasan dan mulai melakukan kerja sama bilateral dengan negara *space faring* di luar kawasan. Postulat yang terakhir adalah pilihan institusional yang berfungsi sebagai kerangka kerja untuk mengimplementasikan perjanjian, memastikan kepatuhan, dan membina kerja sama jangka panjang dengan menyediakan mekanisme hukum dan operasional untuk kolaborasi. LI mengarahkan pada pembentukan lembaga yang fleksibel dan spesifik terhadap isu tertentu. Bagi kawasan Asia Tenggara, badan antariksa independen berdasarkan model ini akan memfasilitasi kerja sama tanpa mengorbankan kedaulatan negara anggota. Singkatnya, LI menawarkan kerangka kerja yang pragmatis dan adaptif untuk mendorong integrasi antariksa di Asia Tenggara. Penekanannya pada penyeimbangan preferensi nasional, mendorong negosiasi yang adil, dan pembentukan lembaga yang fleksibel membuat model LI sangat relevan dengan konteks ASEAN, yang memiliki keragaman kapasitas dan kepentingan negara. Namun, keberhasilan model LI bergantung pada penanganan defisit kepercayaan, peningkatan kapasitas domestik, dan memastikan

partisipasi yang adil pada semua negara anggota. Model LI sangat memungkinkan Indonesia untuk menjadi inisiator integrasi antariksa di kawasan Asia Tenggara dalam tataran teori. Secara praktis tentu saja masih ada keterbatasan Indonesia untuk berperan sebagai inisiator terutama terkait masalah sumber daya teknologi dan manusia. Hal ini dapat diatasi dengan terus meningkatkan kolaborasi dengan negara dalam kawasan dan membuat langkah-langkah strategis dalam sektor antariksa. Salah satunya adalah rencana pembangunan bandara antariksa yang tentunya dapat meningkatkan sektor ekonomi dan memberi dampak positif/daya tawar Indonesia di kawasan dan dunia.

Rencana pemerintah Indonesia mengenai pembangunan bandar antariksa dapat dikatakan sebagai salah satu langkah strategis untuk mencapai kemandirian antariksa dan memperkuat posisi tawar Indonesia di kawasan Asia Tenggara. Studi pembangunan bandar antariksa secara substansi sudah dilakukan sejak lama dan posisi yang dipertimbangkan sebagai lokasi bandar antariksa adalah Biak Numfor. Meskipun begitu, ada beberapa hal yang masih menjadi hambatan dalam pelaksanaan pembangunannya. Dari sisi regulasi persiapan pembangunan bandar antariksa ini berjalan cukup lambat. Saat ini Undang-Undang No. 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan telah mencakup aspek eksplorasi, keamanan, pemanfaatan, pendaftaran benda antariksam dan kerja sama internasional. Dari sekian banyak aspek tersebut, bandar antariksa menjadi salah satu kegiatan keantariksaan yang diatur, tetapi masih memerlukan peraturan pelaksana. Peraturan Presiden No. 45 Tahun 2017 mengenai Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Indonesia 2016–2040 juga telah memuat rencana pembangunan bandara antariksa, hanya saja muatan mengenai bandar antariksa di dalamnya masih bersifat substantif dan umum, hal-hal yang lebih detail mengenai tata cara pembangunan dan operasionalnya belum diatur. Ketidaktersediaan aturan yang lebih rinci ini dapat menghambat jadwal pembangunan bandar antariksa yang sedianya direncanakan pada kurun waktu 2021–2025 (PP No. 45, 2017). Kemudian dari sisi investasi, pemerintah harus dapat menjaga kestabilan politik, baik dalam maupun luar negeri dan memberikan

kejelasan regulasi terkait investasi sehingga investor tertarik untuk menanamkan modal dalam proyek-proyek pemerintah. Stabilitas politik ini tentunya juga dapat meningkatkan keinginan kolaborasi dari negara-negara lain, terutama dengan posisi geografis, yang secara ekonomis sangat menguntungkan Indonesia. Kejelasan regulasi terkait investasi ini pun masih perlu diselesaikan agar dapat meningkatkan kepercayaan investor. Dari sisi lingkungan, pembangunan dan pengoperasian bandar antariksa ini tentunya akan berdampak pada lingkungan hidup di sekitarnya. Oleh karena itu, regulasi terkait analisis dampak lingkungan (AMDAL) di wilayah sekitar bandar antariksa perlu dibuat, sehingga dapat meminimalisasi terjadinya kerusakan ataupun pencemaran lingkungan. Hal lain yang perlu diatur adalah terkait kebijakan pengembangan sumber daya manusia. Untuk dapat berdaulat secara utuh tentunya bangsa Indonesia perlu memiliki kemandirian dalam bidang keantariksaan termasuk kemampuan menguasai sains dan teknologi antariksa. Hal itu dapat diperoleh ketika kebijakan pemerintah dalam hal pengembangan sumber daya manusia di bidang sains dan teknologi antariksa diatur sedemikian rupa sehingga dapat menciptakan pakar-pakar antariksa. Kemudahan dan investasi untuk pendidikan dan pelatihan yang dapat membangun SDM keantariksaan yang kuat juga perlu didukung dengan kebijakan dari pemerintah. Secara garis besar pembangunan bandar antariksa ini sangat perlu untuk mendukung kedaulatan nasional dari sisi antariksa. Untuk itu, pemerintah perlu mengakselerasi regulasi yang dibutuhkan untuk dapat menarik investasi, kolaborasi internasional, dan membangun sumber daya manusia yang berdaya saing di bidang keantariksaan tanpa mengesampingkan keutuhan lingkungan hidup di dalam maupun di sekitar wilayah bandara Antariksa sehingga dapat bermanfaat untuk jangka panjang.

Sejak era antariksa atau disebut juga sebagai *Space Age* yang ditandai dengan keberhasilan peluncuran Sputnik-1 oleh Uni Soviet saat itu, maka kompetisi antarbangsa untuk mengeksplorasi dan mengembangkan teknologi antariksa dimulai. Indonesia termasuk menjadi negara pionir dalam hal keantariksaan di kawasan Asia

Tenggara dengan peluncuran satelit Palapa dan berhasil mengoperasikan Sistem Komunikasi Satelit Domestik (SKSD). Akan tetapi, kemajuan sains dan teknologi keantariksaan Indonesia hingga saat ini bisa dikatakan sangat lambat jika dibandingkan negara-negara di kawasan Asia Tenggara lain yang memulai program keantariksaan baru beberapa waktu setelahnya. Tidak dapat dipungkiri bahwa fokus keantariksaan Indonesia lebih kearah pemanfaatan teknologi satelit untuk mendukung aspek sosioekonomi sehingga inisiatif ke arah eksplorasi antariksa tidak banyak dilakukan. Memasuki era baru keantariksaan ini, kompetisi negara-negara ke arah eksplorasi antariksa semakin meningkat. Hal ini disebabkan banyak manfaat nyata yang berdampak pada kehidupan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Contohnya, tantangan dan kendala yang dihadapi untuk mengeksplorasi antariksa mendorong terciptanya inovasi baru di bidang teknologi yang selanjutnya berdampak pada pertumbuhan ekonomi dan monitoring, baik lingkungan maupun cuaca. Di sisi lain eksplorasi antariksa juga meningkatkan minat generasi muda untuk mendalami bidang sains, teknologi, *engineering* (kerekayasaan), dan matematika (STEM). Bahkan lebih jauh lagi eksplorasi antariksa menawarkan pemahaman filosofis yang terus berkembang mengenai posisi umat manusia di alam semesta. Kompleksnya kegiatan eksplorasi antariksa, termasuk kebutuhan SDM dengan kemampuan sains dan teknologi tinggi dan pembiayaan yang cukup besar menyebabkan eksplorasi antariksa membuka peluang kolaborasi global antarnegara. Lalu bagaimanakah posisi Indonesia dalam hal eksplorasi Antariksa? Tentunya dengan modal dasar yang dimiliki, berupa posisi geografis dan peran aktif di forum-forum antariksa internasional hingga saat ini, Indonesia memiliki daya tawar untuk terlibat dalam misi eksplorasi antariksa dengan kolaborasi internasional dan keterlibatan sektor swasta. Untuk itu, strategi keantariksaan Indonesia perlu tetap fokus pada pengembangan infrastruktur dan teknologi keantariksaan, seperti pembangunan observatorium dan bandar antariksa, pengembangan roket dan satelit, peningkatan kemampuan SDM dalam bidang dan sains teknologi, sambil menjajaki kemitraan global. Selain itu, beberapa kegiatan terkait pemanfaatan sumber daya antariksa (*space*

resource utilization) dapat juga menjadi peluang Indonesia untuk terlibat dan berkontribusi dalam misi eksplorasi antariksa. Kontribusi ini sebagai bagian dari usaha pemanfaatan antariksa berkelanjutan dalam jangka panjang untuk tujuan damai.

Ketahanan antariksa merupakan salah satu aspek dari ketahanan nasional yang perlu dimiliki suatu bangsa untuk menjaga kedaulatannya. Di Indonesia bencana antariksa sudah kerap kali terjadi. Hal ini disebabkan wilayah Indonesia yang terbentang sangat luas di daerah ekuator sehingga memiliki risiko cukup besar mengalami bencana akibatnya jatuhnya sampah antariksa. Selain itu, sebagai negara kepulauan yang terletak di lintang rendah geomagnetik menyebabkan Indonesia rentan dengan bencana akibat cuaca antariksa ekstrem, seperti badai geomagnet dan ionosfer yang dapat mengganggu sistem satelit, komunikasi, dan navigasi yang dampaknya akan memengaruhi sosioekonomi dan juga pertahanan negara. Namun, Indonesia belum mengintegrasikan ketahanan antariksa ke dalam kerangka ketahanan nasional sehingga belum ada kerangka kerja terpadu untuk mengatasi ancaman bencana antariksa. Dari sisi praktis, contohnya adalah mengenai posisi Indonesia terhadap pengaturan pemanfaatan orbit Geostasioner yang sudah ada sejak lama dan menjadi kurang relevan dengan kondisi terkini, juga adanya perubahan dalam skala internasional yang menyebabkan perlunya penyesuaian di tingkat domestik. Dari sisi konsep ketahanan yang berkembang di Indonesia pun belum memasukkan aktivitas antariksa dan dinamikanya, sedangkan di tingkat internasional sudah banyak ahli dari negara-negara lain yang mengembangkan gagasan mengenai keterkaitan antara aktivitas antariksa dan ketahanan nasional. Dengan mempertimbangkan kemungkinan ancaman dari bencana antariksa dan kebutuhan akan kedaulatan yang menyeluruh, baik dari sisi praktis maupun akademis, maka gagasan mengenai ketahanan nasional yang mempertimbangkan dinamika aktivitas antariksa di Indonesia perlu untuk diwujudkan. Geopolitik kritis kemudian diadopsi sebagai paradigma teoretis yang mendasari tiga konsep utama, yaitu ancaman (*threats*), ketahanan antariksa (*space resilience*), dan ketahanan na-

sional (*national resilience*) untuk menganalisis lebih lanjut mengenai permasalahan dan penerapan gagasan terkait kegiatan keantariksaan dan ketahanan nasional. Indonesia sendiri mendefinisikan ancaman menjadi 2 kategori, yaitu ancaman aktual dan potensial, dari segi aktivitasnya ancaman didefinisikan dalam 3 kategori, yaitu militer, non-militer dan hibrid. Keunikan di lingkungan antariksa karena ancaman dari bencana antariksa dapat terjadi di permukaan bumi ataupun di orbit bumi, dan keduanya dapat saling memengaruhi. Hal ini karena sistem antariksa-bumi saling terhubung menyebabkan klasifikasi yang ada belum mencukupi untuk mendefinisikan risiko dari aktivitas antariksa.

Studi kasus yang dianalisis adalah ancaman risiko pemanfaatan orbit Bumi ditinjau dari sisi nasional untuk pemenuhan kepentingan keantariksaan dan memperkuat ketahanan nasional. Selain itu, juga pengembangan dan penerapan konsep ketahanan antariksa sebagai bagian ketahanan nasional dalam lingkup internasional. Risiko pemanfaatan orbit bumi dalam ruang terrestrial (dari orbit ke permukaan bumi) berupa pemanfaatan satelit, baik dalam orbit GSO maupun NGSO untuk keperluan militer, mencakup satelit pengintai, telekomunikasi, dan navigasi ataupun pemanfaatan satelit sipil untuk keperluan militer. Selain itu, yang termasuk ancaman dalam ruang terrestrial adalah risiko benda jatuh dan teknologi roket balistik. Sementara itu, yang termasuk ancaman dalam ruang orbit di antaranya adalah sampah antariksa, tumbukan antarwahana, keterbatasan slot orbit strategis, interferensi radio, dan masih banyak lagi contoh lainnya. Ketergantungan Indonesia terhadap teknologi dan pemanfaatan satelit milik negara lain juga memiliki potensi ancaman jangka panjang yang cukup besar. Sebagai negara kepulauan yang luas dengan banyak pulau-pulau kecil di dalamnya dan berada di daerah aktif subduksi (*ring of fire*) yang rawan bencana, baik geologi maupun hidrometeorologi, pemanfaatan satelit untuk menjaga kedaulatan negara dan pengawasan wilayah untuk mitigasi bencana termasuk pemanfaatan lahan menjadi sangat penting dan akan sangat berisiko jika masih bergantung pada teknologi antariksa negara lain. Dalam hal

regulasi, RUU Wawasan Nusantara memandang orbit satelit sebagai sumber daya, tetapi dalam UU Cipta Kerja orbit satelit tidak diakui sebagai aset nasional. Hal ini dapat berdampak pada perekonomian, mengingat semakin banyaknya ketergantungan masyarakat modern terhadap teknologi berbasis antariksa terutama pemanfaatan satelit dan orbitnya. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kedaulatan, baik wilayah, ekonomi, politik, maupun pertahanan-keamanan nasional, salah satu hal terkait ketahanan antariksa yang diperlukan adalah pengembangan dan pengoperasian satelit domestik dan harus didukung oleh regulasi yang kuat.

Inti utamanya adalah ketahanan antariksa perlu diintegrasikan ke dalam kerangka wawasan Nusantara sehingga terhubung dengan ketahanan nasional yang lebih luas. Antariksa perlu dimasukkan sebagai salah satu matra tersendiri dalam strategi pertahanan nasional selain sektor maritim, siber, dan udara. Untuk keperluan ini tentunya diperlukan suatu lembaga tersendiri yang fokus dalam penyelenggara keantariksaan nasional di antaranya merumuskan landasan konseptual ataupun kerangka kerja untuk meningkatkan ketahanan antariksa.

Referensi

- Pradana, N. M. E., & Permatasari, Y. (2021). Bandar antariksa Biak dalam diplomasi publik Indonesia. *Jurnal Kajian Kebijakan Penerbangan dan Antariksa* 1(2), 139-161. doi: <http://dx.doi.org/10.30536/j.kkpa.v1n2>
- Alfathimy, D. H. A., Permatasari, Y., Susilawati, E., Susanti, D., Diana, S. R., Susanto, J., & Darmawan, A. R. (2021, November). Di antara tiga Launchpad: Indonesia dan dinamika diplomasi antariksa dalam geopolitik Indo-Pasifik. *Intermestic: Journal of International Studies* 6(1), 147-171. e-ISSN.2503-443X. doi:10.24198/intermestic.v6n1.8
- UNCOPUOS. (2021). *Recommendations to Keep Dark and Quiet Skies for Science and Society*. Committee on the Peaceful Uses of Outer Space Scientific and Technical Subcommittee. Fifty-eighth session. Vienna, 19-30 April 2021. A/AC.105/C.1/2021/CRP.17

Daftar Istilah

- Adams, John Couch : Seorang astronom Inggris yang pada tahun 1845 meramalkan adanya planet yang terletak di seberang Uranus dengan mempelajari gangguan yang dialami orbit Uranus. Astronom Prancis Le Verrier membuat prediksi yang sama dan kemudian hasilnya diserahkan ke Observatorium Berlin di mana selanjutnya para astronom di observatorium ini berhasil menemukan Uranus pada 24 September 1846.
- akresi : Berkumpulnya gas dan debu menjadi benda-benda yang lebih besar, seperti planet, bulan (satelit) atau bintang.
- akresi, piringan : suatu piringan yang mengelilingi sebuah bintang atau objek di mana dari piringan ini materi jatuh ke bintang atau objek yang dikelilinginya.

| | |
|--------------------------|--|
| albedo | : Daya pantul suatu benda yang dinyatakan dengan perbandingan intensitas cahaya yang datang dengan intensitas yang bisa dipantulkannya. |
| angin surya (solar wind) | : Pancaran partikel berenergi tinggi dari korona Matahari. |
| aphelion | : Titik terjauh dalam orbit planet yang bergerak mengelilingi Matahari. |
| asensio rekta | : Koordinat untuk mencari kedudukan suatu benda langit dalam arah barat-timur dalam sistem koordinat ekuatorial. |
| asteroid Troya | : Asteroid-asteroid yang jarak orbitnya sama dengan jarak orbit Jupiter, tetapi berada pada jarak 60° di depan atau di belakang Jupiter. |
| asteroid | : Benda langit yang mengorbit Matahari dan ukurannya lebih kecil dari ukuran planet tetapi tidak memiliki ciri-ciri yang dimiliki komet. Biasa disebut juga planet minor. |
| asteroid, sabuk | : Daerah di antara orbit Mars dan Jupiter yang merupakan tempat kedudukan sebagian besar asteroid. Sabuk utama berada pada jarak 2,2 sampai 3,3 satuan astronomi dari Matahari. |
| asthenosfer | : Lapisan batuan yang lentur, terletak di bawah litosfer (kerak bumi). |
| astrofisika | : Bagian astronomi yang membahas fisika bintang, sistem bintang dan materi antar bintang. Astrofisika juga membahas struktur dan fisika Matahari serta planet-planet. |
| astronomi, satuan | : Setengah sumbu panjang orbit benda langit yang memiliki massa dan periode orbit sama dengan periode orbit bumi. Besaran ini dipakai sebagai satuan jarak dalam telaah tentang tata surya kita dan berharga 149.600.000 km. |

| | |
|----------------------|---|
| aurora | : Cahaya yang dipancarkan oleh atom dan ion di ionosfer. Biasa terjadi di daerah kutub. |
| azimuth | : Sudut pada horison langit yang diukur ke arah timur dari titik utara ke titik potong horison dengan lingkaran yang melewati suatu benda langit. |
| benda hitam | : Benda yang menyerap dan memancarkan semua radiasi yang datang padanya. |
| benua, pergeseran | : Pergerakan benua-benua di bumi akibat tektonik lempeng. |
| berat, unsur-unsur | : Dalam astronomi, ini adalah unsur-unsur yang lebih berat dari helium (nomor atomnya lebih besar). |
| bintang ganda visual | : Pasangan bintang ganda yang kegan- daannya bisa dilihat secara visual dengan menggunakan teropong. Pengamatan bintang ganda ini selama beberapa waktu bisa memberikan informasi tentang or- bit, massa, dan tingkat evolusinya. Salah satu contoh bintang ganda visual ini adalah Alpha Centauri. |
| bintang ganda | : Suatu sistem yang terdiri atas dua bin- tang atau lebih yang saling memberikan pengaruh satu sama lain secara gravitasi sehingga jalan evolusi masing-masing anggota menjadi berbeda dengan evolusi bintang tunggal. |

- bintang katai putih : Bintang yang massanya sama dengan Matahari, tetapi hanya sebesar bumi. Kerapatan bintang ini sejuta kali kerapatan air. Bintang katai putih adalah hasil akhir evolusi bintang di mana reaksi termonuklir yang berlangsung di intinya sudah berhenti sehingga bintang runtuh akibat gravitasinya dan ukurannya menjadi sangat kecil. Bintang katai putih pertama kali ditemukan pada tahun 1862 yang mengorbit bintang Sirius. Fisika bintang katai putih pertama kali dikembangkan oleh Subrahmanyan Chandrasekhar.
- bintang variabel : Bintang yang cahayanya berubah-ubah, dan perubahan ini bisa berlangsung periodik seperti pada cepheid, bintang ganda gerhana, dan bintang variabel yang berdenyut, atau tidak seperti yang terjadi pada bintang variabel kataklismik. Sekarang sudah ditemukan sangat banyak bintang variabel dan kemudian dimasukkan ke dalam satu katalog khusus bintang variabel.
- biosfer : Wilayah kehidupan yang terdapat di bumi, termasuk di dalamnya adalah atmosfer, hidrosfer, tanah, dan litosfer (kerak bumi) sampai kedalaman 2 km.
- birokrasi : sistem pemerintahan yang dijalankan oleh pegawai pemerintah yang berpegang pada hierarki dan jenjang jabatan
- cahaya, tahun : Satuan jarak dalam astronomi yang menyatakan jarak yang ditempuh cahaya selama satu tahun, besarnya adalah $9,46 \times 10^9$ km.
- center of gravity : titik imajiner yang menyeimbangkan distribusi berat objek; lokasi strategis geopolitik

| | |
|---|---|
| Chandrasekhar, batas | : Batas massa bintang tertinggi suatu bintang untuk bisa menjadi sebuah bintang katai/bayang putih; besarnya adalah 1,44 massa Matahari. |
| Chandrasekhar, Subrahmanyan (1910-1995) | : Ahli astrofisika kelahiran India yang terkenal dengan teori bintang katai putih yang atas jasanya bagi ilmu pengetahuan mendapatkan hadiah Nobel untuk fisika pada tahun 1983. |
| charged-coupled-device | : Sejenis detektor elektronik yang dipasang pada fokus sebuah teleskop. Alat ini sejenis dengan kamera fotografis yang memiliki kepekaan yang sangat tinggi. |
| daya pisah (resolving power) | : Kemampuan suatu alat optik untuk menghasilkan bayangan sehingga benda-benda yang cukup kecil bisa kelihatan jelas. Pada sebuah teleskop ini berarti jarak terkecil di langit yang bisa dipisahkan teleskop itu. |
| deklinasi | : Koordinat suatu benda langit dalam arah utara-selatan pada sistem koordinat ekuatorial. |
| deuterium | : Isotop hidrogen yang memiliki satu proton dan satu netron. |
| diseminasi | : penyebaranluasan pengetahuan |
| efek rumah kaca | : Terperangkapnya radiasi infra merah oleh gas-gas yang ada di atmosfer sebuah planet. Peristiwa ini mengakibatkan kenaikan temperatur permukaan planet itu. |
| ekliptika | : Tempat kedudukan lintasan semu Matahari di langit. |
| eksentrisitas | : Suatu besaran yang menentukan bentuk sebuah elips, yang menunjukkan perbandingan antara jarak fokus dengan sumbu panjang elips itu. |

| | |
|------------------------|---|
| eksosfer | : Bagian terluar lapisan atmosfer. Di sini atom-atom dan molekul mudah sekali terlepas ke angkasa luar akibat tumbukan antara sesamanya. |
| ekuator langit | : Perluasan ekuator bumi sampai memotong bola langit. |
| ekuator | : Lingkaran besar di bumi yang berjarak 90° dari kutubnya. |
| ekuinoks (equinox) | : Titik potong ekliptika dengan ekuator langit. |
| elektromagnetik, gaya | : Salah satu dari empat gaya dasar di alam. Gaya ini adalah gaya yang mengikat atom dan molekul serta yang beraksi pada muatan-muatan listrik. |
| elips | : Salah satu bentuk irisan kerucut. Elips terbentuk bila sebuah bidang datar memotong kerucut dalam arah yang tidak sejajar alasnya. |
| emerging space nations | : negara berkembang dalam keantariksaan |
| empirisisme | : Salah satu cabang ilmu filsafat yang menekankan pengalaman dan pencerapan inderawi sebagai dasar dalam pembentukan pengetahuan. |
| energi gelap | : sebarang energi misterius yang bertanggung jawab dalam proses percepatan pengembangan alam semesta. Energi gelap ini mencakup 68% dari seluruh energi yang ada di dalam alam semesta. |
| epistemologi | : cabang ilmu filsafat yang mempelajari sifat-sifat ilmu pengetahuan, bagaimana kita mendapatkan pengetahuan itu, ruang lingkup dan keterbatasannya. |
| final frontier | : antariksa dimana belum ada manusia yang mencapainya |
| flare | : Pancaran cahaya terang di suatu daerah di Matahari yang berlangsung singkat. |

| | |
|-----------------------------|--|
| fluks | : Laju lewatnya energi/materi melewati suatu satuan luas permukaan. |
| fotosfer | : Bagian permukaan Matahari yang kelihatan, tempat dipancarkannya radiasi ke luar angkasa. |
| Fraunhofer, garis | : Garis absorpsi pada spektrum Matahari. |
| fusi | : Pembentukan atom-atom berat dari atom yang lebih ringan. |
| galaksi | : Bintang-bintang yang membentuk suatu kelompok besar. Sebuah galaksi bisa mengandung milyaran bintang. |
| Galilean, satelit | Satelit-satelit Jupiter yang terbesar, yaitu Io, Ganymede, Callisto dan Europa. Satelit-satelit ini ditemukan oleh Galileo. |
| geomagnetik, kutub | : Kutub sebuah magnet batang hipotesis yang garis-garis gaya medan magnetnya berimpit dengan garis-garis gaya medan magnet bumi. |
| geosentris | : berpusat pada Bumi. |
| gerhana | : Terhalangnya cahaya yang dipancarkan suatu obyek oleh obyek lain yang ukuran sudutnya hampir sama besar. Bandingkan dengan okultasi. |
| gravitasi diferensial, gaya | : Selisih gaya gravitasi yang dialami oleh titik-titik di suatu benda yang masing-masing berbeda jaraknya dengan benda yang memberikan gaya gravitasi itu. |
| gravitasi | : Gaya tarik menarik antar benda/partikel. |
| gravitasi, konstanta (G) | : Konstanta dalam hukum gravitasi Newton. Dalam sistem metrik besaran ini berharga $6,673 \times 10^{-11}$ newton m ² /det ² . |
| halo (bulan atau Matahari) | : Cincin cahaya yang disebabkan oleh pembiasan kristal-kristal es di awan cirrus. |

| | |
|---------------------------|---|
| harmonik, hukum | : Ungkapan lain dari hukum Kepler ketiga. Hukum ini menyatakan bahwa pangkat tiga dari setengah sumbu panjang orbit sebuah planet yang mengelilingi Matahari sebanding dengan kuadrat periode sideris planet itu. |
| heliosentrik | : Teori yang menganggap Matahari adalah pusat alam semesta. |
| heliosfer | : Bagian ruang antar planet yang dipenuhi oleh gas dan medan magnet Matahari serta angin surya. |
| hitam, lubang | : Sebuah obyek yang memiliki kecepatan lepas sama atau lebih besar dari kecepatan cahaya sehingga radiasi tidak bisa terpancar dari permukaannya. |
| horison | : Lingkaran besar pada bola langit yang terletak 90° dari zenith. |
| horison, sistem koordinat | : Sistem koordinat yang berdasar pada horison dan titik utara. Kedudukan obyek dinyatakan dalam ketinggian dan azimuth. |
| inklinasi orbit | : Sudut yang dibentuk oleh bidang orbit sebuah benda langit yang mengitari benda lain dengan suatu bidang referensi, seperti ekliptika atau bidang langit. |
| ionosfer | : Daerah atmosfer atas suatu planet tempat terionisasinya atom-atom. |
| isotop | : Unsur dengan jumlah proton yang sama dan netron yang berbeda. |
| Jovian, planet | : Planet-planet yang sejenis dengan Yupiter, yaitu Yupiter, Saturnus, Uranus dan Neptunus. |
| kaldera | : Kawah vulkanik yang berasal dari letusan gunung berapi. |

| | |
|----------------------|--|
| karbon, siklus | : Reaksi termonuklir berubahnya hidrogen menjadi helium yang berlangsung di dalam bintang dengan karbon sebagai katalisatornya. |
| katai putih | : Bintang yang sudah menghabiskan sebagian besar bahan bakarnya dan sudah hampir sampai pada akhir kehidupannya. Bintang sejenis ini memiliki kerapatan yang amat besar. |
| kelompok kepentingan | : perkumpulan dengan kesamaan tujuan dan mengorganisasikan diri yang berusaha mempengaruhi kebijakan pemerintah |
| Kepler, hukum | : Hukum yang ditemukan oleh Johannes Kepler yang menguraikan pergerakan planet. |
| kerucut, irisan | : Kurva hasil perpotongan kerucut lingkaran tegak dengan sebuah bidang datar. Kurva ini bisa berupa elips, lingkaran, parabola atau hiperbola. |
| komet | : Benda langit berbentuk gumpalan es kotor yang mengelilingi Matahari dalam lintasan berbentuk elips yang sangat lonjong. Saat berada di dekat Matahari sebagian materi yang ada di komet menguap akibat radiasi Matahari dan menghasilkan ekor. |
| konduksi | : Proses hantaran energi secara langsung melalui hantaran oleh atom atau elektron. |
| konstelasi | : Konfigurasi bintang yang diberi nama tokoh-tokoh mitologi, binatang atau benda. |
| konveksi | : Proses hantaran energi melalui perpindahan materi yang membawa energi itu. |
| korona | : Bagian terluar angkasa Matahari. |
| kosmologi | : Telaah tentang struktur dan evolusi alam semesta. |

| | |
|-------------------------|---|
| kromosfer | : Daerah angkasa Matahari yang terletak di antara fotosfer dan korona. |
| lempeng, tektonik | : Pergerakan yang berlangsung pada kerak bumi. |
| litosfer | : Bagian terluar lapisan bumi yang terdapat sampai pada kedalaman 50 - 100 km. |
| lockdowns | : penutupan akses masuk maupun keluar di suatu wilayah dalam upaya pengendalian penyebaran virus tertentu |
| Lorentz, gaya | : Gaya yang dialami oleh partikel yang bergerak di dalam medan magnet. |
| lustrum | : lima tahun |
| magma | : Batuan cair yang terdapat di bagian dalam suatu planet. |
| magnetosfer | : Daerah di sekeliling planet di mana pengaruh medan magnetnya lebih dominan dibandingkan dengan angin surya. |
| massa | : Besaran yang menunjukkan kuantitas materi pada suatu benda. |
| Matahari, siklus bintik | : Perubahan jumlah bintang Matahari secara periodik dengan periode sekitar 11 tahun. |
| materi antar bintang | : Gas dan debu yang ada di ruang antar bintang. |
| materi antar planet | : Gas dan debu yang terletak dalam ruang antar planet. |
| materi gelap | : objek astronomi yang tidak bisa teramati menggunakan teleskop, tetapi keberadaannya bisa dipastikan melalui interaksi gravitasi yang ditimbulkannya. |
| Maunder, minimum | : Kurun waktu saat aktivitas Matahari menjadi rendah sekali dan bintik Matahari yang nampak di permukaan Matahari menjadi sedikit sekali. Masa ini berlangsung antara tahun 1640 sampai 1710. |

| | |
|-------------------|--|
| meridian (bumi) | : Lingkaran besar di permukaan bumi yang melewati suatu tempat tertentu dan kutub-kutub bumi. |
| meridian (langit) | : Lingkaran besar yang melewati zenith pengamat dan kutub-kutub langit. |
| mulia, gas | : Gas-gas yang sulit bereaksi dengan unsur-unsur lain, yaitu helium, neon, argon, kripton, ksenon dan radon. |
| nadir | : Titik pada bola langit yang terletak 180° dari zenith. |
| navigasi | : pengetahuan (tentang posisi, jarak, dan sebagainya) untuk menjalankan kapal laut, pesawat, dan sebagainya dari suatu tempat ke tempat lain |
| nebula | : Awan debu atau gas antar bintang. |
| nebula, hipotesis | : Hipotesis yang menyatakan kalau Matahari dan planet-planet terbentuk dari awan gas dan debu antar bintang yang sama. |
| netron, bintang | : Bintang yang sangat mampat dan sebagian materinya besar terdiri dari netron. |
| neutrino | : Sejenis partikel elementer yang diperkirakan tidak mempunyai massa. Ada tiga jenis neutrino, yaitu neutrino elektron, muon dan tauon. |
| nukleosintesis | : pembentukan unsur-unsur berat dari unsur yang lebih ringan. Proses ini berlangsung di inti bintang dan dalam sebuah ledakan supernova.. |
| oposisi | : Kedudukan suatu planet saat sudut elongasinya 180° . |
| paralaks bintang | : Perpindahan kedudukan semu sebuah bintang akibat rotasi bumi mengelilingi Matahari. |

| | |
|------------------------|---|
| paralaks spektroskopik | : Penentuan jarak suatu bintang dengan cara membandingkan magnitudo semu bintang itu dengan magnitudo mutlaknya yang ditentukan dari spektrum bintang itu. |
| partai politik | : perkumpulan yang didirikan untuk mewujudkan ideologi politik tertentu |
| Perang Dingin | : perang ideologi tanpa mengangkat senjata antara Blok Barat (liberal kapitalis) dan Blok Timur (sosial komunis) yang berkembang setelah Perang Dunia Kedua |
| perihelion | : Kedudukan sebuah planet saat mencapai jarak terdekat dengan Matahari. |
| periode sideris | : Periode revolusi sebuah benda langit diukur terhadap suatu bintang tertentu. |
| periode sinodis | : Waktu yang diperlukan antara dua konfigurasi serupa suatu planet berturut-turut, misalnya dari oposisi ke oposisi, atau konjungsi ke konjungsi. |
| planet | : Sembilan benda langit besar yang mengorbit Matahari. Bisa juga benda-benda gelap yang mengorbit bintang lain. |
| planetologi | : Bidang ilmu yang mempelajari sifat-sifat fisika dan kimiawi planet-planet. |
| plasma | : Gas yang sangat terionisasi. Gas ini mengandung ion dan elektron dalam jumlah yang hampir sama banyaknya. |
| politik komparatif | : bidang ilmu politik dengan metode perbandingan terhadap pendekatan empiris |
| presesi | : Rotasi sumbu benda yang sedang berputar dan memiliki lintasan berbentuk kerucut. |
| prestise | : wibawa (perbawa) yang berkenaan dengan prestasi |

| | |
|----------------------------------|--|
| Principia | : Singkatan dari Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, buku karangan Sir Isaac Newton yang menguraikan teorinya tentang gravitasi dan gerak benda. |
| proton | : Partikel elementer yang bermuatan positif dan terletak di inti atom. |
| pulsar (pulsating radio sources) | : Sumber pancaran gelombang radio yang memancarkan pulsa-pulsa radio dengan periode yang sangat teratur, antara 0,03 sampai 5 detik. |
| quark | : Partikel elementer hipotetis, terdiri dari enam jenis (up, down, strange, charm, bottom dan top). Partikel dalam inti atom dianggap tersusun dari partikel-partikel ini. Quark tidak pernah terdapat dalam keadaan bebas. |
| radiasi | : Cara hantaran energi tanpa melalui medium. |
| raksasa merah | : Bintang dingin terang dan berwarna merah yang terletak pada bagian kanan atas diagram Hertzsprung-Russell. |
| realisme ilmiah | : pandangan dalam filsafat ilmu yang berpendapat bahwa dunia yang diuraikan oleh sains itu nyata dan bersifat independen terhadap pengamatan, teori, dan keyakinan kita. Dalam pandangan ini, teori-teori ilmiah berupaya menguraikan tidak hanya fenomena yang nampak melalui pengamatan, tetapi juga berbagai fenomena yang tidak bisa diamati seperti elektron, lubang hitam, dan kode genetik. |
| relativitas khusus, teori | : Teori yang dirumuskan Albert Einstein yang mengungkapkan hubungan gejala-gejala fisis yang diukur oleh pengamat-pengamat yang bergerak relatif terhadap sesamanya. |

| | |
|-------------------------|---|
| relativitas umum, teori | : Teori dari Albert Einstein yang menyatakan hubungan medan gravitasi dengan pelengkungan ruang yang diakibatkan oleh medan gravitasi itu. |
| resolusi | : Suatu ukuran yang menyatakan sampai seberapa jauh benda-benda yang kecil ukurannya bisa diamati oleh suatu alat. |
| revolusi industri 5.0 | : Model produksi yang mengembangkan kolaborasi manusia dan mesin |
| revolusi | : Pergerakan sebuah benda mengelilingi benda lainnya. |
| sinkron, orbit | : Orbit suatu benda langit yang mengelilingi sebuah planet di mana periode orbit benda sama dengan periode rotasi planet induknya. |
| solstice | : Dua titik di bola langit tempat kedudukan Matahari saat berada paling jauh dari ekuator langit. |
| space power country | : Negara adi daya keantariiksaan |
| space-faring nations | : Negara maju dalam keantariiksaan |
| spektroskopi | : Telaah spektrum cahaya yang dipancarkan sebuah benda. |
| spektrum | : Deretan warna yang dihasilkan saat seberkas cahaya putih mengalami dispersi (penguraian warna) setelah lewat sebuah prisma atau kisi difraksi. |
| spektrum, kelas | : Klasifikasi bintang menurut spektrum bintang itu. |
| spicule | : Semburan materi yang terjadi di kromosfer Matahari. |
| Stefan-Boltzmann, hukum | : Hukum yang menyatakan bahwa pada sebuah benda hitam yang memancarkan radiasi, laju pancaran radiasinya akan sebanding dengan pangkat empat temperaturnya. |

| | |
|-----------------------|--|
| stratigrafi | : Sejarah geologi suatu daerah ditinjau dari segi lapisan-lapisan batumannya. |
| stratosfer | : Salah satu lapisan atmosfer bumi yang terletak di antara lapisan troposfer dan ionosfer. Di lapisan ini temperatur bertambah dengan bertambahnya ketinggian. |
| subduksi (subduction) | : Proses yng berlangsung saat kerak suatu planet terdesak masuk ke daerah mantel. |
| sumbu panjang | : Diameter maksimum sebuah elips. |
| sumbu pendek | : Diameter minimum sebuah elips. |
| superior, planet | : Planet yang jaraknya dari Matahari lebih jauh dari jarak bumi-Matahari. |
| supernova | : Ledakan yang berlangsung di tahap akhir kehidupan bintang. Ada dua tipe supernova, tipe I dan tipe II. Supernova tipe I terjadi pada pasangan bintang ganda yang salah satu anggotanya adalah bintang katai putih, di mana aliran materi yang datang dari pasangan bintang katai putih ini mengakibatkan adanya reaksi termonuklir yang eksplosif di permukaan bintang katai putih dan menghasilkan ledakan supernova. Supernova tipe II terjadi akibat adanya keruntuhan gravitasi pada bintang yang tidak lagi melakukan reaksi termonuklir di intinya sehingga tidak ada lagi yang bisa menahan proses keruntuhan gravitasi bintang tersebut. |
| tahun sideris | : Periode revolusi bumi mengelilingi Matahari diukur terhadap bintang. |
| tahun tropis | : Periode revolusi bumi mengelilingi Matahari diukur terhadap titik ekuinoks 21 Maret. |
| tektonik | : Berhubungan dengan gaya-gaya yang bekerja pada kerak suatu planet. |

| | |
|--------------------------|---|
| telehealth | : Layanan kesehatan jarak jauh menggunakan teknologi |
| telekomunikasi | : Komunikasi jarak jauh yang merujuk pada kombinasi suara dan data, baik analog maupun digital |
| termodinamika | : Cabang ilmu fisika yang menelaah panas dan perpindahan panas antar medium. |
| termonuklir, reaksi | : Reaksi dan perubahan inti atom berat dari inti yang lebih ringan akibat tumbukan inti-inti atom yang lebih ringan pada temperatur yang amat tinggi. |
| termosfer | : Daerah di atmosfer di mana temperatur naik dengan bertambahnya ketinggian akibat pemanasan oleh ionosfer. |
| tropopause | : Daerah perbatasan antara troposfer dengan stratosfer. |
| troposfer | : Daerah terbawah atmosfer bumi tempat berlangsungnya kegiatan-kegiatan iklim bumi. |
| van Allen, sabuk radiasi | : Daerah magnetosfer bumi tempat terperangkapnya partikel-partikel bermuatan dari Matahari. |

Daftar Singkatan

| | |
|--------|--|
| ALMA | : <i>Atacama Large Millimeter Array</i> |
| AMDAL | : analisis mengenai dampak lingkungan |
| APRSAF | : Asia Pasific Regional Space Agency Forum |
| ASA | : Australian Space Agency |
| ASAT | : <i>Anti-satellite weapons</i> |
| ASEAN | : Association of Southeast Asian Nations |
| ASTI | : <i>Asteroid Survei Telescope ITERA</i> |
| BDPJN | : Bank Data Penginderaan Jauh Nasional |
| BRIN | : Badan Riset dan Inovasi Nasional |
| CCD | : <i>Charge-Coupled Device</i> |
| CMOS | : <i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i> |
| CMSA | : China Manned Space Agency |
| CNSA | : China National Space Administration |

| | |
|------------|---|
| COPUOS | : The Committee on the Peaceful Uses of Outer Space |
| COVID-19 | : <i>Coronavirus disease 2019</i> |
| CRISP | : Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing |
| DPR | : Dewan Perwakilan Rakyat |
| ELT | : Extremely Large Telescope |
| ESA | : European Space Agency |
| EUSPA | : European Union Space Program Agency |
| FDI | : <i>foreign direct investment</i> |
| GEO | : Geosynchronous Equatorial Orbit |
| Gerindra | : Gerakan Indonesia Raya |
| GISTDA | : Geo-Informatics and Space Technology Development Agency |
| GMF | : Global Maritime Fulcrum |
| GMT | : <i>Giant Magellan Telescope</i> |
| GNSS | : <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| Golkar | : Golongan Karya |
| GPS | : <i>Global Positioning System</i> |
| GSO | : <i>Geo Synchronous Object</i> |
| Hanura | : Hati Nurani Rakyat |
| IAO ESSECS | : Astronomical Observatory, Earth and Space Sciences Education Center in Sumatera |
| IDA | : International Dark-Sky Association |
| IMSSP | : <i>International Moon Sighting Station Program</i> |
| IoT | : <i>Internet of Things</i> |
| IQSY | : <i>International Quite Sun Year</i> |
| IRNSS | : Indian Regional Navigation Satellite System |
| IRT | : <i>ITERA Robotic Telescope</i> |
| ISPN | : <i>Indonesian Space Patrol Network</i> |

| | |
|-----------|--|
| ISRO | : Indian Space Research Organisation |
| ISS | : International Space Station |
| JAXA | : Japan Aerospace Exploration Agency |
| KALA | : Komunitas Astronomi Lampung |
| KARI | : Korea Aerospace Research Institute |
| LAPAN | : Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional |
| LED | : <i>Light-Emitting Diode</i> |
| LI | : Liberal Intergovernmentalisme |
| MSW | : <i>Municipal Solid Waste</i> |
| MYSA | : Malaysian Space Agency |
| NAMRIA | : The National Mapping and Resource Information Authority |
| NASA | : National Aeronautics and Space Administration |
| NICER | : Neutron Star Interior Composition Explorer |
| OAIL | : Observatorium Astronomi ITERA Lampung |
| OSTIn | : Office for Space Technology and Industry |
| PAGASA | : The Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration |
| PAN | : Partai Amanat Nasional |
| PDIP | : Partai Demokrasi Indonesia Perjuangan |
| PhilSA | : Philippine Space Agency |
| PKB | : Partai Kebangkitan Bangsa |
| PKS | : Partai Keadilan Sejahtera |
| PPP | : Partai Persatuan Pembangunan |
| PRIMA | : Pengembangan Roket Ilmiah dan Militer Awal |
| ROSCOSMOS | : State Space Corporation Roscosmos |
| SAC | : Surabaya Astronomy Club |
| SAP | : Sains Atmosfer dan Planetan |

| | |
|------------|---|
| SARSr-CoV | : <i>Severe-Acute-Respiratory-Syndrome-Related Coronavirus</i> |
| SCOSA | : <i>Space Technology Development and Utilization</i> |
| SDO | : <i>Solar Dynamics Observatory</i> |
| SPBN | : Sistem Pemantau Bumi Nasional |
| SSTL | : Singapore Space and Technology Ltd |
| STEM | : <i>Science Technology Engineering Mathematics</i> |
| SWOT | : <i>Surface Water and Ocean Topography</i> |
| TAHURA WAR | : Taman Hutan Raya Wan Abdur Rahman |
| TMT | : <i>Thirty Meter Telescope</i> |
| UAV | : <i>Unmanned Aircraft Vehicle</i> |
| UE | : Uni Eropa |
| UNESCAP | : <i>United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific</i> |
| UNESCAP | : United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific |
| UNOOSA | : United Nations Office for Outer Space Activities |
| USSF | : United States Space Force |
| UU | : Undang-Undang |
| VAST-VNSC | : Vietnam National Space Center |

Indeks

- Abad Asia, 125
Al-Biruni, 24
alloy titanium, 32
All-Sky Camera, 70, 89, 91, 92, 262
Amfoang Tengah, 28
Apollo-Soyuz, 217
Aristarchus, 22, 47
Asia-Pasifik, 10, 18, 123, 124, 127,
128, 135, 139, 264
asteroid, 34
astrolabe, 24
Australia, 10, 11, 12, 18, 123, 125,
126, 127, 128, 134, 135, 136,
137, 139, 140, 141, 142, 143,
144, 264, 265, 302
Babilonia, 22, 36
bandar antariksa, 6, 14, 15, 16, 18,
151, 167, 174, 175, 176, 177,
178, 179, 183, 185, 187, 188,
189, 190, 191, 193, 194, 195,
197, 207, 220, 221, 222, 223,
224, 225, 250, 268, 269, 270
Big Bang, 51, 52, 53, 60
bintang ganda, 35, 277, 278, 289
bintang katai putih, 51
bintang netron, 23, 34, 51
birokrasi, 10, 11, 129, 132, 135, 137,
138, 139, 141, 142, 154, 189,
221, 265, 278
Brothers Karamazov, 39, 58

- Bulan, 36, 37, 41, 43, 63, 65, 77, 78,
 79, 103, 184, 204, 207, 208,
 209, 212, 220, 221, 224, 225,
 239
- Cape Canaveral, 68, 185
 Caravaggio, 41
 Carina, 54, 55
 Carl Sagan, 39
 Cassini Huygens, 35
 Cassius, 38
 Chichen Itza, 45, 46
 Contact, 39, 60, 309
 Copernicus, 22, 48, 49, 57, 58, 150,
 168
 Corpus Juris Internationalis Spatia-
 lis, 173
 Cosmicomics, 39, 57
 covid-19, 122, 125, 134, 139
 creation, 60
- dark energy*, 52
dark side of the Moon, 58
 d'Arrest, 51
 Dewi Nut, 39
 Divina Comedia, 38, 56
- Einstein, 3, 49, 50, 60, 287, 288
 El Castillo, 45, 46
 elektron, 52, 56, 101, 283, 285, 286,
 287
 emerging space nations, 127, 280
 empirisisme, 50, 280
 energi gelap, 52, 280
 epistemologi, 50, 280
- Extremely Large Telescope, 27, 292
 filter pita lebar Bessel, 29
 fine tuning, 56
 fisika kuantum, 49, 51
 Franz Joseph Haydn, 43
 Fyodor Dostoevsky, 39
- Galileo, 25, 35, 41, 43, 50, 57, 63,
 242, 281
 Galle, 51
 Giant Magellan Telescope, 27, 292
 Giza, 44, 45
 global, 1, 2, 8, 10, 33, 34, 95, 124,
 125, 127, 128, 135, 139, 141,
 171, 180, 182, 184, 187, 188,
 191, 192, 195, 196, 197, 205,
 206, 213, 214, 216, 217, 221,
 222, 223, 224, 226, 227, 230,
 243, 245, 246, 253, 259, 261,
 263, 264, 265, 270, 308
 Global Positioning System (GPS),
 34
 GPS, 11, 34, 61, 139, 192, 220, 243,
 292
 Gran Telescopio Canarias, 27
 gravitasi, 3, 50, 52, 56, 183, 184,
 215, 239, 277, 281, 284, 287,
 288, 289
 Guidelines for The Long-Term
 Sustainability of Outer Space
 Activities, 132
 Hans Lippersey, 25
 Harmonices Mundi, 43
 heliacal rising, 33
 Heliks, 54, 55
 helium, 52, 56, 218, 277, 283, 285

Hercules, 40
 Hesiod, 38, 56, 57
 H. G. Wells, 38
 Hipparchos, 36
 Homeros, 38, 58
 Indonesia, 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12,
 14, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 33,
 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
 72, 73, 75, 78, 79, 84, 85, 93,
 94, 95, 98, 99, 105, 106, 107,
 114, 115, 116, 117, 118, 119,
 122, 123, 125, 126, 127, 128,
 131, 132, 133, 134, 135, 137,
 138, 139, 140, 141, 142, 143,
 144, 147, 148, 149, 150, 151,
 152, 153, 156, 160, 161, 164,
 166, 167, 171, 172, 173, 174,
 175, 176, 177, 178, 179, 180,
 181, 182, 183, 184, 185, 186,
 188, 189, 190, 191, 192, 193,
 194, 195, 196, 197, 198, 199,
 201, 202, 205, 206, 209, 210,
 212, 218, 219, 220, 221, 222,
 223, 224, 225, 226, 227, 228,
 229, 230, 231, 233, 234, 236,
 237, 238, 239, 240, 241, 242,
 243, 244, 245, 246, 247, 248,
 249, 250, 251, 253, 254, 255,
 256, 259, 260, 261, 262, 263,
 264, 265, 266, 267, 268, 269,
 270, 271, 272, 273, 292, 293,
 303, 308, 309, 310, 311, 312,
 313
 induksi, 51
 inflasi, 51, 52, 186
 Italo Calvino, 39
 Ivan Karamazov, 39
 Joan Miro, 42
 John Couch Adams, 51
 John Harrison, 25
 John Milton, 38
 John Williams, 44
 Jules Verne, 38
 Julius Caesar, 38
 Jupiter, 5, 35, 36, 63
 kamera CCD, 29, 30, 31
 karbon, 32, 52, 283
 Karnak, 44
 kawasan, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 67,
 72, 83, 107, 110, 112, 113,
 114, 115, 116, 117, 118, 124,
 125, 126, 127, 131, 140, 147,
 148, 149, 150, 152, 153, 154,
 155, 156, 160, 164, 165, 166,
 167, 185, 191, 193, 201, 202,
 209, 260, 262, 263, 265, 266,
 267, 268, 269, 270
 Kebijakan Keantariksaan, 3, 123,
 137
 kelompok kepentingan, 10, 11, 129,
 132, 135, 137, 138, 139, 141,
 142, 160, 265, 283
 Kepler, 34, 43, 58, 282, 283
 Kitab Kejadian, 36
 komet C/2022 E3, 79, 83
 komposit serat karbon, 32
 kosmologi, 38, 39, 51, 56, 283
 krisis, 10, 11, 12, 18, 39, 123, 125,
 127, 138, 140, 141, 245, 246,
 263, 264, 265
 kuil Amon-Re, 44
 Kukulkan, 45, 46
 lepton, 51
 Liability Convention, 132

Lintang Waluku, 33
 litium, 52
 lubang hitam, 51, 98, 287
 Ludwig von Beethoven, 43
 Machu Picchu, 45
 Mars, 5, 16, 17, 35, 36, 204, 205,
 224, 225, 276
 Matahari, 22, 23, 24, 32, 34, 36, 37,
 38, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 52,
 54, 56, 65, 72, 78, 100, 103,
 181, 184, 276, 278, 279, 280,
 281, 282, 283, 284, 285, 286,
 288, 289, 290, 301, 303, 305
 Mata Kucing, 54
 materi gelap, 51, 284
 mekanika benda langit, 34, 35
 Merkurius, 5, 36, 50
 Mesir, 4, 22, 24, 36, 39, 40, 44, 45,
 182
 Metamorphoses, 38, 59
 meteoroid, 68
 Moonlight Sonata, 43
 Nasir Al-Din Al-Tusi, 24
 nebula, 53, 54, 285
 Neptunus, 51, 282
 netron, 23, 34, 51, 52, 56, 279, 282,
 285
 New Horizon, 35
 new space age, 203, 205, 226, 227
 Newton, 3, 34, 49, 50, 281, 287
 nitrogen, 52
 nukleosintesis, 52, 285
 observational science, 63
 Observatorium Bosscha, 9, 27, 65,
 98, 99, 105, 106, 107
 Observatorium Griffith, 46, 59
 Observatorium Yerkes, 26
 Off-Grid Electrical System, 84
 Orion, 4, 22, 33, 40, 44, 54, 57
 Osiris, 44
 Outer Space Treaty, 14, 132, 173
 Ovidius, 38, 59
 pandemi, 10, 122, 125, 127, 128,
 131, 133, 134, 136, 137, 138,
 139, 140, 141, 264
 Paradise Lost, 38, 59
 paralaks spektroskopik, 24, 286
 paralaks trigonometri, 24
 partai politik, 10, 128, 129, 133,
 137, 141, 286
 Parthenon, 45
 Paul Klee, 42
 Percy Bysshe Shelley, 38
 Pink Floyd, 44
 piramid, 4, 44, 45
 planet, 2, 16, 17, 22, 34, 38, 39, 43,
 49, 50, 51, 63, 71, 78, 204,
 206, 275, 276, 279, 282, 283,
 284, 285, 286, 288, 289
 Planetarium, 64
 Plato, 3, 43
 Pleiades, 33, 45
 Pluto, 35
 politik komparatif, 128, 286
 Prelude, 38, 61
 presesi, 50, 286
 prinsip kosmologi antropik, 56
 proton, 52, 56, 279, 282, 287
 Ptolomeus, 22, 36, 38, 41, 47, 49
 pulsar, 34, 287
 Pythagoras, 42, 43

Qomariyah, 65
 quark, 51, 52, 287
 Rain Safety Monitor, 84
 Raphael, 40, 41
 realisme ilmiah, 50, 51, 287
 Registration Convention, 132
 Romawi, 36, 40
 Saturnus, 5, 35, 36, 282
 School of Athens, 40, 41
 Shakespeare, 38
 sistem optika aktif, 29
 Sky Quality Meter, 84
 Solar Dynamics Observatory, 23, 31, 57
 Space Age, 201, 269
 space debris, 67, 95, 96
 Space Debris Mitigation Guidelines, 132
 space-faring nations, 127, 288
 space power country, 127, 288
 Space probes, 204
 Sputnik, 3, 68, 179, 181, 201, 208, 226, 269
 Starry Night, 41, 42
 Star Wars, 44, 57
 supernova, 52, 98, 215, 285, 289
 tahun kabisat, 37
 teleskop Hubble, 23, 31, 32
 teleskop James Webb, 31
 teleskop ruang angkasa James Webb, 31, 32
 Teleskop Ruang Angkasa James Webb, 32
 teori relativitas, 49, 50
 The Brothers Karamazov, 39
 The Creation, 43
 The Dark Side of the Moon, 44
 The Prelude, 38
 The School of Athens, 41
 Thirty Meter Telescope, 27, 294
 Thomas Kuhn, 48
 Timaeus, 43
 Titan, 35
 To a Sky-Lark, 38, 60
 uncrewed spacecraft, 223, 224
 Vanguard, 68
 Venera, 35
 Venus, 36
 Venus Express, 35
 Vincent van Gogh, 41
 War of the Worlds, 38
 William Wordsworth, 38
 Works and Days, 38
 Yunani Kuno, 24, 37, 42, 44, 45, 47
 Zoroaster, 41

Tentang Editor



Thomas Djamaluddin, seorang Peneliti Ahli Utama/Profesor Riset Astronomi Astrofisika, LAPAN/BRIN (2009 – sekarang). Beliau pernah menjabat sebagai Kepala LAPAN (2014 – 2021), Deputy Sains, LAPAN (2011 – 2014), Kepala Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN, Kepala Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN dan Kepala Komputer Induk, LAPAN. Dengan berbekal pendidikan S1 Astronomi ITB (AS '81) - S2 dan S3

Astronomi Universitas Kyoto, Jepang, Thomas Djamaluddin banyak melakukan kegiatan riset dalam bidang astronomi, seperti struktur galaksi, materi antar bintang, pembentukan bintang, hubungan

antariksa – bumi, astronomi untuk masyarakat, dan etnoastronomi. Telah banyak juga penghargaan yang diperolehnya, seperti penghargaan sebagai profesor riset 2009, penghargaan Elshinta 2012, penghargaan terbaik I Diklatpim II 2007, penghargaan Sarwono 2013 (LIPI), penghargaan Ganesa Widya Jasa Adiutama 2015 (ITB), dan lain-lain. Selain itu, Thomas Djamaluddin sempat menjadi perwakilan beberapa kegiatan internasional seperti International Conference: Jordan (1998), Jepang (2002, 2005, 2007), AS (2002), Slovakia (2003), Rusia (2014), Anggota delegasi RI: APRSAF (Jepang 2005, India 2007, Vietnam 2008 & 2013, Thailand 2010, Australia 2010, Singapura 2011), WMO (Swiss 2009), UNCOPUOS (Austria 2011, 2012, 2013), Studi banding (Brazil 2012), Ketua Delegasi RI: APRSAF (Jepang 2014, Filipina

2016, India 2018, Jepang 2019), UNCOPUOS (Austria 2014 – 2019), UNESCAP (Thailand 2014 – 2019), CSTEAP (India 2011, 2012), RCSTEAP (RRT 2014), Space Agency Summit (Meksiko, 2015), GSTC (Singapura 2017, 2018), IAF (2017), Space Dialog (AS 2019), Bilateral (RRT 2015 & 2019, Prancis 2016, Korea 2016, Jerman 2017), dan menjadi First Vice Chairman UNCOPUOS (2019).

Email: thom001@brin.go.id, t_djamal@yahoo.com.



Fitri Nuraeni adalah seorang Peneliti Ahli Muda di bidang geomagnet. Dengan latar belakang pendidikan S1 Geofisika ITB dan S2 sains Kebumihan ITB, Fitri Nuraeni mengembangkan riset-risetnya dan menghasilkan berbagai karya tulis mengenai efek termal dalam medan magnet magnetosfer satelit LAPAN, arus ionosferik ekuivalen pada berbagai level badai geomagnet, Fenomena Medan Magnet Antariksa ber-

dasarkan Satelit LAPAN-A3, Karakteristik Fluks Elektron Akibat Pengaruh Fenomena di Matahari, Model Prediksi Indeks Dst untuk Cuaca Antariksa, Pengembangan model prediksi badai geomagnet Indonesia berbasis multi input (CME dan Coronal Hole, Solar wind, IMF), Development of Coronal Holes Index For Study of Coronal Hole Geo Effectiveness, Low-Latitude Fluctuation of Ionospheric Magnetic Field Measured by LAPAN-A3 Satellite , dan sebagainya. Selain itu, editor aktif di beberapa kegiatan seminar maupun simposium internasional.

E-mail : fitrinur.fn@gmail.com ; fitr008@brin.go.id

Tentang Penulis



Agustinus Gunawan Admiranto adalah peneliti pada Pusat Riset Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pada tahun 1988, dia memperoleh gelar Sarjana Astronomi dari Institut Teknologi Bandung. Penelitian yang dilakukannya mencakup fisika Matahari, polusi cahaya, dan dosis radiasi antariksa. Minatnya adalah menulis, dan beberapa bukunya yang sudah terbit adalah *Tata Surya dan Alam Semesta* (Kanisius, 2000), *Menjelajahi Tata Surya* (Kanisius, 2009), *Menjelajahi Bintang, Galaksi dan Alam Semesta* (Kanisius, 2009), *Kiamat 2012: Omong Kosong!!* (Transmedia, 2009), dan *Eksplorasi Tata Surya* (Mizan, 2017). Minatnya yang lain adalah tentang filsafat dan spiritualitas, beberapa kali diminta untuk memberikan kuliah

Buku ini tidak diperjualbelikan

singkat (Extension Course) tentang hubungan antara sains, khususnya astronomi, dengan filsafat pada Fakultas Filsafat Universitas Katolik Parahyangan.



M. Ferdhiansyah Noor adalah Analisis data Ilmiah pada Pusat Riset Antariksa, Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), lahir di Jakarta pada 30 Januari 1975 Selain memiliki ketertarikan dalam bidang yang berhubungan dengan Keantariksaan, ia juga memiliki hobi berolahraga terutama Bulutangkis, baginya keantariksaan dan kesehatan penting dan saling berkaitan satu sama lainnya. Beliau mendapat gelar sarjana di Fakultas Teknik Informatika Universitas

Respati Indonesia, Jakarta tahun 2015, dan mendalami ilmu sistem informasi Universitas cyber Asia di Jakarta, 2024. Penelitian yang dilakukannya mencakup polusi cahaya dan dosis radiasi antariksa serta objek bintang lainnya. Minatnya yang lain adalah tentang layanan informasi dan edukasi untuk pelajar dan mahasiswa terkait keantariksaan



Elyyani adalah peneliti di Pusat Riset Antariksa Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pada tahun 1995, memperoleh gelar Sarjana Sains Bidang Minat Ilmu Komputer dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Padjadjaran Bandung. Penelitian yang dilakukannya meliputi polusi cahaya, kecerlangan langit, dan dosis radiasi antariksa serta objek antariksa lainnya. Beliau memiliki ketertarikan

dalam bidang manajemen data dan sistem informasi yang berhubungan dengan keantariksaan.

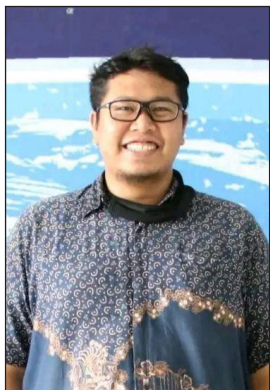


Siti Maryam adalah peneliti di Pusat Riset Antariksa Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pada tahun 1996, memperoleh gelar Sarjana Teknik Informatika dari Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara Bandung. Penelitian yang dilakukannya meliputi kecerlangan langit, polusi cahaya, dan dosis radiasi antariksa serta objek antariksa lainnya. Beliau memiliki ketertarikan dalam bidang manajemen data dan sistem informasi yang berhubungan dengan keantariksaan.

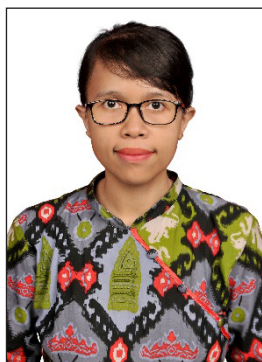


Robiatul Muztaba, merupakan dosen di Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, dan peneliti di Observatorium Astronomi Itera Lampung (OAIL), Institut Teknologi Sumatera. Selain itu, juga sebagai pendiri Komunitas Astronomi Lampung (KALA). Pada tahun 2014 menyelesaikan sarjana di Program Studi Fisika, Universitas Gadjah Mada (UGM), dan dilanjutkan menyelesaikan program

master pada tahun 2016 dan doktor pada tahun 2023 di Program Studi Astronomi, Institut Teknologi Bandung (ITB). Bidang riset utama meliputi pemanfaatan AI pada instrumentasi dan big data astronomi. Selain itu ketertarikannya pada observasi dan instrumentasi telah banyak menerbitkan publikasi terkait evolusi bintang, pengembangan observatorium, dan instrumentasi teleskop robotik. Daftar publikasi ilmiah yang telah diterbitkan <https://scholar.google.com/citations?hl=id&user=8wTBeQkAAAAJ>. Alamat email: robiatul.muztaba@sap.itera.ac.id atau Instagram: @adjirm_astrofoto.



Aditya Abdilah Yusuf, merupakan laboran dan peneliti di Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL), dan aktif sebagai anggota diberbagai komunitas astronomi nasional seperti Fokalis Jatim, Jombang Astronomy Club, Arisan Astro, dan Komunitas Astronomi Lampung. Pada tahun 2016 menyelesaikan sarjana di Program Studi Astronomi, Institut Teknologi Bandung. Bidang riset yang dikerjakan meliputi pengembangan instrumentasi astronomi baik optik maupun radio, instrumen untuk pendidikan astronomi, pengembangan komunitas astronomi, pengamatan fotometri (nova, bintang variabel, transit eksoplanet), astrometri (komet, asteroid), dan astrofotografi. Email aktif : aditya.yusuf@staff.itera.ac.id.. Instagram (astrofotografi) : @astro.srscat



Antonia Rahayu Rosaria Wibowo adalah peneliti pada Pusat Riset Manuskrip, Literatur, dan Tradisi Lisan, Organisasi Riset Arkeologi, Bahasa, dan Sastra, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pada tahun 2011, dia memperoleh gelar Sarjana Sastra dari Universitas Sanata Dharma pada Fakultas Sastra, Program Studi Sastra Inggris. Setelah itu, dia melanjutkan pendidikan dan meraih gelar Master of Arts dari Universitas Gadjah Mada pada Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Program Studi Ilmu Hubungan Internasional pada tahun 2012. Minat penelitiannya saat ini berkisar pada sastra interdisipliner seperti sastra dan politik, sastra dan filsafat, etika, serta film, novel, drama, dan berbagai produk budaya, ter-

masuk etnoastronomi. Tulisan-tulisannya dapat dilihat pada laman <https://scholar.google.com/citations?user=oCo71DsAAAAJ&hl=id&oi=ao>

Yunita Permatasari, peneliti dengan bidang penelitian kebijakan kedirgantaraan pada Direktorat PKRTI, Deputy KRI, BRIN. Saat ini, Yunita juga awardee LPDP program doktor pada Departemen Ilmu Politik, FISIP, UI. Pengalaman terkini Yunita antara lain co-chair national space legislation initiative-APRSAF, vice national contact point for UNCOPUOS and UNESCAP-INASA BRIN, Perwakilan Angkatan Doktor PK-207 LPDP, Young Leader Pacific Forum, Ketua Periset PRN 2020 Strategi Peningkatan Peran Indonesia di Indo-Pasifik:Implementasi Diplomasi Antariksa.



Ade Meirizal merupakan tutor dan peneliti di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pada tahun 2014, dia memperoleh gelar sarjana ilmu politik jurusan Ilmu Hubungan Internasional dari Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta (UPNVIK), dan baru saja memperoleh gelar *Master of Arts* jurusan Ilmu Hubungan Internasional dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2024. Ade memiliki ketertarikan pada isu-isu antariksa yang ditinjau dari perspektif hubungan internasional dan politik global. Karya-karya Ade Meirizal bisa dilihat pada Google Scholars maupun Researchgate, dan bisa dihubungi melalui ade.meirizal@uii.ac.id atau melalui [linkedin.com/in/ade-meirizal/](https://www.linkedin.com/in/ade-meirizal/)



Yaries Mahardika Putro adalah dosen tetap di Departemen Hukum Internasional, Fakultas Hukum, Universitas Surabaya. Yaries meraih gelar Sarjana Hukum dari Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia dan melanjutkan program magister dengan memperoleh gelar LL.M dalam bidang Hukum Bisnis Eropa dan Internasional dari University of Debrecen, Hongaria. Sebagai seorang akademisi, Yaries telah menerbitkan berbagai

makalah ilmiah di jurnal nasional and internasional di bidang Hukum Udara, Hukum Antariksa, dan Hukum Internasional. Selain itu, Yaries juga sering dipercaya sebagai reviewer di Jurnal Internasional seperti Space Policy dan Asian Security, serta berbagai jurnal hukum nasional terindeksasi. Yaries juga merupakan editor dalam Jurnal Yustika: Media Hukum dan Keadilan. Yaries juga secara aktif membagikan pemikiran terkait isu-isu kedirgantaraan di surat kabar nasional dan internasional, seperti Hukumonline, the Jakarta Post dan Asia News Network. Selain aktif dalam berbagai kegiatan pengajaran dan penelitian, Yaries juga terlibat dalam berbagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Yaries pernah terlibat sebagai National Point of Contact dari Space Generation Advisory Council (NPoC SGAC) untuk Indonesia dari tahun 2020 hingga 2022.



Aris Rahmat Juliannoor adalah Asisten Peneliti di bidang Hukum Internasional pada Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Ia memperoleh gelar Sarjana Hukum (S.H.) dan Magister Hukum (M.H.) dari universitas yang sama. Aris memiliki minat besar dalam menulis berbagai topik hukum, terutama terkait dengan Hukum Internasional, Hukum Humaniter Internasional, Hukum Antariksa, dan Hukum Perdagangan Interna-

sional. Minat ini diwujudkan melalui berbagai karya tulisnya yang telah dipublikasikan dalam bentuk artikel jurnal ilmiah dan blog post. Karya-karya tersebut tidak hanya menunjukkan pemahamannya yang mendalam dalam bidang-bidang tersebut, tetapi juga menunjukkan kontribusinya dalam memperkaya diskursus hukum di level internasional



Ridha Aditya Nugraha mengembangkan riset hukum udara dan antariksa melalui Air and Space Law Studies, Universitas Prasetiya Mulya sejak 2018. Ridha mengampu kelas Air and Space Law dan Space Law and Policy pada program sarjana. Lulus dari program pascasarjana (LL.M.) International Institute of Air and Space Law, Universiteit Leiden; dan pro-

gram sarjana (S.H.) Fakultas Hukum Universitas Indonesia. Mengikuti the 24 th European Centre for Space Law (ECSL) Summer Course on Space Law and Policy dibawah naungan European Space Agency (ESA) di Caen pada tahun 2015. Ridha Aditya Nugraha fokus mendi-seminasi perihal hukum dan kebijakan antariksa dengan focus regional ASEAN melalui tulisan. Saat ini aktif sebagai kontributor kolom opini pada media massa Harian Kompas, The Jakarta Post, dan Hukumonline. Selain itu, Ridha juga aktif menulis baik pada artikel jurnal ilmiah nasional maupun internasional. Sejak 2020 dipercaya menjadi editor pada Hasanuddin Law Review salah satunya terkait bidang hukum dan kebijakan antariksa. Aktif sebagai juri peradilan semu hukum antariksa, terakhir pada Asia-Pacific Round of the International Institute of Space Law (IISL) Manfred Lachs Moot Court Competition 2022. Ridha Aditya Nugraha juga merupakan salah satu penerima Secure World Foundation (SWF) Young Professional Scholarship 2016 dengan riset mengenai space traffic management.



Soraya Sakinah adalah dosen di Fakultas Hukum Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, di mana ia mengajar mata kuliah Hukum Udara dan Ruang Angkasa. Selain itu, ia merupakan lulusan S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan S2 dari International Institute of Air and Space Law, Leiden University. Tesisnya yang berjudul “In Light of Its Aspirations for Cooperation Following the World’s

First Bloc-to-bloc EU-ASEAN Comprehensive Air Transport Agreement: Does the Substantial O&C Requirement Put the ASEAN Bloc at a Competitive Disadvantage in the CATA Agreement?” berhasil memenangkan Indonesia-Netherlands Society Thesis Prize pada tahun 2024. Soraya juga merupakan prospective member dari International Institute of Space Law hingga tahun 2025.



Stevani Anggina adalah peneliti di bidang kebijakan publik. Penulis menyelesaikan Sarjana Sains pada bidang Geografi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia pada tahun 2013. Kemudian menamatkan studi jenjang S-2 dengan gelar *Master of Arts in Economics* dari *International University of Japan* (IUJ) pada tahun 2019. Saat ini, penulis adalah pelaksana fungsi Evaluasi Kebijakan dan Program

Keantariksaan pada Direktorat Evaluasi Kebijakan, Riset, Teknologi, dan Inovasi di Kedeputusan Kebijakan Riset dan Inovasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Email: stev002@brin.go.id



Adhi Pratomo, lahir di Jakarta, 22 Februari 1981. Penulis meraih gelar sarjananya pada 2004 di Jurusan Ilmu Komunikasi Universitas Sebelas Maret dan gelar Magister bidang Komunikasi Universitas Mercubuana pada 2011. Penulis saat ini bekerja sebagai Analis Kebijakan di Direktorat Evaluasi Kebijakan Riset, Teknologi dan Inovasi pada Kedeputusan Kebijakan Riset dan Inovasi di Badan Riset dan Inovasi Nasional. Adapun publikasi jurnal ilmiah penulis yaitu Implementasi Kebi-

jakan Standardisasi Penerbangan dan Antariksa (2019), serta Pengembangan Kebijakan Pelaksanaan Standardisasi Penerbangan dan Antariksa (2019). Email: adhi008@brin.go.id



Deden Habibi Ali Alfathimy, adalah seorang Penelaah Teknis Kebijakan. Beliau menem-puh pendidikan Sarjana Studi Hubungan Internasional, Universitas Padjadjaran (2010-2015), Magister Kajian Ketahanan Nasional, Universitas Indonesia (2020-2022), dan dilanjutkan pendidikan doktoral di Politics and International Relations, University of Leicester (2022-sekarang). Aktivitas yang pernah dilakukan cukup banyak, di antaranya menjadi Anggota Tim

Prioritas Riset Nasional “Strategi Peningkatan Peran Indonesia di Indo-Pasifik: Implementasi Diplomasi Antariksa” (2020-2021), menjadi Anggota Tim Kajian “Posisi Indonesia pada Isu Orbit Geostasioner (GSO) di UNCOPUOS” (2018-2020), menjadi Anggota Tim Kajian “Posisi Indonesia pada Isu Definisi Delimitasi Antariksa di UNCOPUOS” (2018-2020), dan sebagainya. Selain itu, beliau juga aktif menulis dan telah menghasilkan beberapa karya seperti: Ketimpangan Pemanfaatan Orbit Geostasioner (GSO) dalam Lingkungan Sistem Dunia; Di Antara Tiga Launchpad: Indonesia dan Dinamika Diplomasi Antariksa dalam Geopolitik Indo-Pasifik; Kemunculan Perlombaan Antariksa Bernuansa Ekonomi; The Indo-Pacific and Space Diplomacy: Opportunities and Challenges; Application of sustainability concept to near-Earth space as an integral part of earth-system in the context of sustainable development goals (SDGs); Wawasan Nusantara and space resilience in Indonesia; Beda Jalan Sama Tujuan: Ancaman Politik sebagai Alternatif Ancaman Militer dalam Pelucutan Kedaulatan Negara di Era Demokrasi; Persistent Collaboration: Between International and Indonesian National Law on the Utilization of Earth Orbit; dll. Email: dede029@brin.go.id: dhaa1@leicester.ac.uk.

Penguasaan sains dan teknologi keantariksaan bukan lagi sekadar eksplorasi ilmiah semata, melainkan kebutuhan strategis yang berimplikasi langsung pada kedaulatan, keamanan, dan kemajuan peradaban suatu negara. Secara global, keantariksaan sudah merambah aspek ekonomi, masyarakat, aksesibilitas, sampai diplomasi keantariksaan. Dalam konteks Indonesia, isu keantariksaan juga terus berkembang. Mulai dari sains antariksa untuk masyarakat, pengembangan teknologi roket, satelit, dan aeronautika, pemanfaatan teknologi antariksa untuk penginderaan jauh dan telekomunikasi, serta pengkajian kebijakan keantariksaan terkait.

Buku berjudul *Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan* ini menyajikan pembahasan keantariksaan dalam spektrum aspek kebijakan keantariksaan. Di antaranya meliputi urgensi sains dasar, seperti astronomi bagi kemajuan peradaban. Buku ini juga mengupas isu krusial seperti pembangunan bandar antariksa, pengelolaan sampah antariksa, kebijakan langit gelap untuk pembangunan berkelanjutan, serta konsep ketahanan nasional dalam menghadapi ancaman dari dan di antariksa. Tidak hanya menyoroti aspek teknis dan saintifik, naskah ini juga menawarkan perspektif hukum dan politik internasional, termasuk model integrasi keantariksaan di kawasan Asia Tenggara dan strategi diplomasi antariksa di tengah dinamika geopolitik Asia-Pasifik.

Buku ini hadir sebagai referensi esensial bagi akademisi, peneliti, pengambil kebijakan, dan masyarakat umum untuk memahami urgensi serta kontribusi nyata sektor keantariksaan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan kemajuan bangsa Indonesia.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.1592



ISBN 978-602-6303-87-5



9 786026 303875