

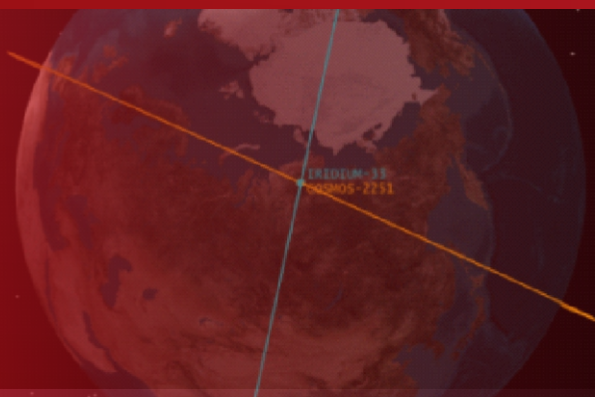
Editor:

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

© 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.

xiv + 311 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

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

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

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

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

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

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

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 Prasetiya Mulya, Fakultas Hukum 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*(171–8). Penerbit BRIN. DOI: 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 multistage 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 (Khairun-nisa & 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 mengganggu 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 antarikasanya 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>

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	: penyebaran 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 mutlak 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 keantariksaan
space-faring nations	: negara maju dalam keantariksaan
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 batuananya.
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	: Atacama Large Millimeter Array
AMDAL	: analisis mengenai dampak lingkungan
APRSAF	: Asia Pasific Regional Space Agency Forum
ASA	: Australian Space Agency
ASAT	: Anti-satellite weapons
ASEAN	: Association of Southeast Asian Nations
ASTI	: Asteroid Survei Telescope ITERA
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	: Coronavirus disease 2019
CRISP	: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing
DPR	: Dewan Perwakilan Rakyat
ELT	: Extremely Large Telescope
ESA	: <i>European Space Agency</i>
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	: Giant Magellan Telescope
GNSS	: Global Navigation Satellite System
Golkar	: Golongan Karya
GPS	: Global Positioning System
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	: Internet of Things
IQSY	: International Quite Sun Year
IRNSS	: Indian Regional Navigation Satellite System
IRT	: ITERA Robotic Telescope

ISPN	: Indonesian Space Patrol Network
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 Keplanetan
SARSr-CoV	: Severe-Acute-Respiratory-Syndrome-Related Coronavirus
SCOSA	: Space Technology Development and Utilization
SDO	: Solar Dynamics Observatory
SPBN	: Sistem Pemantau Bumi Nasional
SSTL	: <i>Singapore Space and Technology Ltd</i>
STEM	: Science Technology Engineering Mathematics
SWOT	: Surface Water and Ocean Topography
TAHURA WAR	: Taman Hutan Raya Wan Abdur Rahman
TMT	: Thirty Meter Telescope
UAV	: Unmanned Aircraft Vehicle
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, 123
Al-Biruni, 24
alloy titanium, 32
All-Sky Camera, 68, 87, 89, 90, 260
Amfoang Tengah, 28
Apollo-Soyuz, 215
Aristarchus, 22, 47
Asia-Pasifik, 10, 18, 121, 122, 125,
126, 133, 137, 262
asteroid, 35
astrolabe, 24
Australia, 10, 11, 12, 18, 121, 123,
124, 125, 126, 132, 133, 134,
135, 137, 138, 139, 140, 141,
142, 262, 263, 295
Babilonia, 22, 36
bandar antariksa, 6, 14, 15, 16, 18,
149, 165, 172, 173, 174, 175,
176, 177, 181, 183, 185, 186,
187, 188, 189, 191, 192, 193,
195, 205, 218, 219, 220, 221,
222, 223, 248, 266, 267, 268
Big Bang, 51, 52, 53, 59
bintang ganda, 35, 275, 276, 287
bintang katai putih, 51
bintang netron, 23, 34, 51
birokrasi, 10, 11, 127, 130, 133, 135,
136, 137, 139, 140, 152, 187,
219, 263, 276
Brothers Karamazov, 39, 59
Bulan, 36, 37, 41, 43, 61, 63, 75, 76,
77, 101, 182, 202, 205, 206,
207, 210, 218, 219, 222, 223,
237

Candi Panataran, ix
 Cape Canaveral, 66, 183
 Caravaggio, 41
 Carina, 54, 55
 Carl Sagan, 39
 Cassini Huygens, 35
 Cassius, 38
 Chichen Itza, 45, 46
 Cina, x
 Contact, 39, 59, 303
 Copernicus, 22, 48, 49, 57, 148, 165, 166
 Corpus Juris Internationalis Spatialis, 171
 Cosmicomics, 39, 57
 covid-19, 119, 123, 132, 137
 creation, 60
 dark energy, 52
 dark side of the Moon, 58
 d'Arrest, 51
 d'Arrest, 51
 Demak, x
 Dewi Nut, 39
 Divina Comedia, 38, 56, 60
 Einstein, 3, 49, 50, 60, 285, 286
 El Castillo, 45, 46
 elektron, 52, 56, 99, 281, 283, 284, 285
 emerging space nations, 125, 278
 empiricism, 51, 278
 energi gelap, 52, 278
 epistemologi, 50, 278
 Extremely Large Telescope, 27, 290
 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, 61, 241, 279
 Galle, 51
 Giant Magellan Telescope, 27, 290
 Giza, 44, 45
 global, 1, 2, 8, 10, 33, 34, 93, 122, 123, 125, 126, 133, 137, 139, 169, 178, 180, 182, 185, 186, 189, 190, 191, 193, 194, 195, 203, 204, 211, 212, 214, 215, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 228, 241, 243, 244, 251, 257, 259, 261, 262, 263, 268, 302
 Global Positioning System (GPS), 34
 GPS, 11, 34, 60, 137, 190, 218, 241, 290
 Gran Telescopio Canarias, 27
 gravitasi, 3, 50, 52, 56, 181, 182, 213, 237, 275, 279, 282, 285, 286, 287
 Gubug Penceng, 33
 Guidelines for The Long-Term Sustainability of Outer Space Activities, 130
 Gula, xi
 Hans Lippersey, 25
 Harmonices Mundi, 43
 heliacal rising, 33
 Heliks, 54, 55
 helium, 52, 56, 216, 275, 281, 283
 Hercules, 40
 Hesiod, 38, 57, 60

- H. G. Wells, 38
 Hipparchos, 36
 Homeros, 38, 58
 Indis, vi
 Indonesia, 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12,
 14, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 33,
 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
 70, 71, 73, 76, 77, 82, 83, 91,
 92, 93, 96, 97, 103, 104, 105,
 112, 113, 114, 115, 116, 117,
 119, 121, 123, 124, 125, 126,
 129, 130, 131, 132, 133, 135,
 136, 137, 138, 139, 140, 141,
 142, 145, 146, 147, 148, 149,
 150, 151, 154, 158, 159, 162,
 164, 165, 169, 170, 171, 172,
 173, 174, 175, 176, 177, 178,
 179, 180, 181, 182, 183, 184,
 187, 188, 189, 190, 191, 192,
 193, 194, 195, 196, 197, 199,
 200, 203, 204, 205, 207, 208,
 210, 216, 217, 218, 219, 220,
 221, 222, 223, 224, 225, 226,
 227, 228, 229, 231, 232, 234,
 235, 236, 237, 238, 239, 240,
 241, 242, 243, 244, 245, 246,
 247, 248, 249, 251, 252, 253,
 254, 257, 258, 259, 260, 261,
 262, 263, 264, 265, 266, 267,
 268, 269, 270, 271, 290, 291,
 296, 301, 302, 303, 304, 305,
 306, 307, 309
 induksi, 51
 inflasi, 51, 52, 184
 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, 61
 kamera CCD, 29, 30, 31
 karbon, 32, 52, 281
 Karnak, 44
 kawasan, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 65,
 70, 81, 105, 108, 110, 111,
 112, 113, 114, 115, 116, 122,
 123, 124, 125, 129, 138, 145,
 146, 147, 148, 150, 151, 152,
 153, 154, 158, 162, 163, 164,
 165, 183, 189, 191, 199, 200,
 208, 258, 260, 261, 263, 264,
 265, 266, 267, 268
 Kebijakan Keantariksaan, 3, 121,
 135
 kelompok kepentingan, 10, 11, 127,
 130, 133, 135, 136, 137, 139,
 140, 158, 263, 281
 Kepler, 34, 43, 57, 280, 281
 Kitab Kejadian, 36
 komet C/2022 E3, 77, 81
 komposit serat karbon, 32
 kosmologi, 38, 39, 51, 56, 281
 krisis, 10, 11, 12, 18, 39, 121, 123,
 125, 136, 138, 139, 243, 244,
 261, 262, 263
 kuil Amon-Re, 44
 Kukulkan, 45, 46
 Kwee Sik Poo, x
 lepton, 51
 Liability Convention, 130

litium, 52
 lubang hitam, 51, 96, 285
 Ludwig von Beethoven, 43
 Machu Picchu, 45
 Majapahit, v, vi, ix, 21
 Makam Troloyo, vi, x
 Malang, 1, 21, 121
 Mars, 5, 16, 35, 36, 202, 203, 222, 223, 274
 Matahari, 22, 23, 24, 32, 34, 36, 37, 38, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 54, 56, 63, 70, 76, 98, 101, 179, 182, 274, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 287, 288, 295, 296, 298
 Mata Kucing, 54
 materi gelap, 51, 282
 mekanika benda langit, 34, 35
 Merkurius, 5, 36, 50
 Mesir, 4, 22, 24, 36, 39, 40, 44, 45, 180
 Metamorphoses, 38, 59
 meteoroid, 66
 Moonlight Sonata, 43
 Naditira Pradeca, vi, x, xi
 Nasir Al-Din Al-Tusi, 24
 nebula, 54, 283
 Neptunus, 51, 280
 netron, 23, 34, 51, 52, 56, 277, 280, 283
 New Horizon, 35
 new space age, 201, 203, 224, 225
 Newton, 3, 34, 49, 50, 279, 285
 nitrogen, 52
 nukleosintesis, 52, 283
 observational science, 61
 Observatorium Bosscha, 9, 27, 63, 96, 97, 103, 104, 105
 Observatorium Griffith, 46, 59
 Observatorium Yerkes, 26
 Off-Grid Electrical System, 82
 Orion, 4, 22, 33, 40, 44, 54, 57
 Osiris, 44
 Outer Space Treaty, 14, 130, 171
 Ovidius, 38, 59
 pandemi, 10, 119, 123, 125, 126, 129, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 262
 Paradise Lost, 38, 59
 paralaks spektroskopik, 24, 284
 paralaks trigonometri, 24
 partai politik, 10, 126, 127, 131, 135, 139, 284
 Parthenon, 45
 Pasuruan, vi, xi, 121
 Paul Klee, 42
 Percy Bysshe Shelley, 38
 Pink Floyd, 44
 piramid, 4, 44, 45
 planet, 2, 16, 22, 35, 38, 39, 43, 49, 50, 51, 61, 69, 76, 202, 204, 273, 274, 277, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 287
 Planetarium, 62
 Plato, 3, 43
 Pleiades, 33, 45
 Pluto, 35
 politik komparatif, 126, 284
 Prasasti Balawi, ix
 Prasasti Pamintihan, ix
 Prelude, 38, 60
 presesi, 50, 284

prinsip kosmologi antropik, 56
 proton, 52, 56, 277, 280, 285
 Ptolomeus, 22, 36, 38, 41, 47, 49
 pulsar, 34, 285
 Pythagoras, 42, 43
 Qomariyah, 63
 quark, 51, 52, 285
 Rain Safety Monitor, 82
 Raphael, 40, 41
 realisme ilmiah, 51, 285
 Registration Convention, 130
 Romawi, 36, 40
 Saturnus, 5, 35, 36, 280
 School of Athens, 40, 41
 Shakespeare, 38
 sistem optika aktif, 29
 Sky Quality Meter, 82
 Solar Dynamics Observatory, 23, 31, 57
 Space Age, 199, 267
 space debris, 65, 93, 94
 Space Debris Mitigation Guidelines, 130
 space-faring nations, 125, 286
 space power country, 125, 286
 Space probes, 202
 Sputnik, 3, 66, 177, 179, 199, 206, 224, 267
 Starry Night, 41, 42
 Star Wars, 44, 57
 supernova, 52, 96, 213, 283, 287
 Surabaya, vi, x
 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, 292
 Thomas Kuhn, 48
 Timaeus, 43
 Titan, 35
 To a Sky-Lark, 38, 59
 Troloyo, vi, x
 Tuban, vi, x
 Uang Gobog, ix
 uncrewed spacecraft, 222
 Vanguard, 66
 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



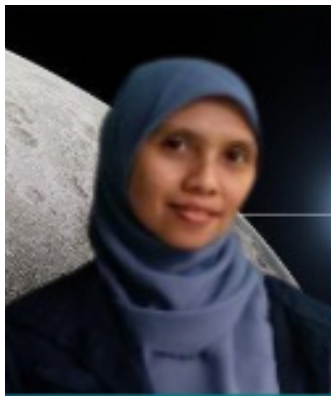
Thomas Djamaluddin, seorang Peneliti Ahli Utama/Profesor Riset Astronomi Astrofisika, LAPAN/BRIN (2009 – sekarang). Beliau pernah menjabat sebagai Kepala LAPAN (2014 – 2021), Deputi Sains, LAPAN (2011 – 2014), Kepala Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN, Kepala Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN dan Kepala Komputer Induk, LAPAN. Dengan bekal 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 Aditutama 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



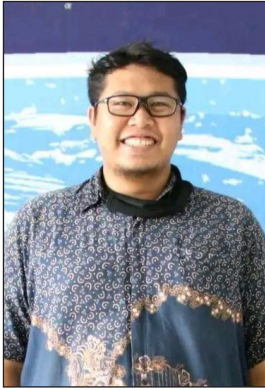
Agustinus Gunawan Admiranto adalah peneliti pada Pusat Riset Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pada tahun 1988, dia memperoleh gelar Sarjana Astronomi dari Institut Teknologi Bandung. Penelitian yang dilakukannya mencakup fisika Matahari, polusi cahaya, dan dosis radiasi antariksa. 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

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



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: robiatulmuztaba@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, termasuk 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, Deputi 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 In-

ternasional. 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 program 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 mendiseminasi 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 Kedeputan 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 Kedeputan 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 menempuh 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 Geostationer (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 Geostationer (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