

# Kepentingan Nasional Jepang dalam Mengembangkan Teknologi Pembersih Sampah Antariksa

Jusmalia Oktaviani<sup>1</sup>  
Helga Yohana Simatupang<sup>2</sup>

Universitas Jenderal Achmad Yani<sup>1</sup>  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur<sup>2</sup>

e-mail: [jusmalia.oktaviani@lecture.unjani.ac.id](mailto:jusmalia.oktaviani@lecture.unjani.ac.id)<sup>1\*</sup>  
[helgayohana.fisip@upnjatim.ac.id](mailto:helgayohana.fisip@upnjatim.ac.id)<sup>2</sup>

## ABSTRACT

*Space debris has emerged as a critical challenge in low Earth orbit exploration, with over 14,000 fragments of varying sizes increasing collision risks and causing potential financial losses and disruptions to satellite infrastructure services. This report examines the global distribution of space debris—dominated by Russia, the United States, and China—and Japan's evolving policy and technological developments in debris removal. Despite Japan's relatively small debris footprint, it strategically leverages the Space Strategic Fund, constitutional reinterpretation of “peaceful purposes,” and partnerships with private firms such as Astroscale to develop dual-use debris mitigation solutions. These technologies aim not only to clean the orbital environment but also to possess potential applications in space security, in response to mounting regional military space programs. Japan's approach integrates financial investment, regulatory frameworks, and technological soft power diplomacy to position itself as a leader in global space governance. This study offers insights into how middle powers can harness technological innovation to amplify strategic influence in the space domain, with significant implications for foreign policy, national security, and international collaboration in the contemporary space era.*

**Keywords:** *space debris, debris removal technology, space diplomacy, Japan, space security*

*Sampah antariksa telah menjadi tantangan kritis dalam eksplorasi orbit rendah Bumi, dengan lebih dari 14.000 potongan puing beragam ukuran yang meningkatkan risiko tabrakan dan menimbulkan potensi kerugian finansial serta gangguan layanan infrastruktur satelit. Laporan ini menganalisis distribusi sampah antariksa global—didominasi oleh Rusia, Amerika Serikat, dan Tiongkok—serta perkembangan kebijakan dan teknologi pembersihan sampah antariksa di Jepang. Meskipun kontribusi puing Jepang relatif kecil, negara ini memanfaatkan peluang strategis melalui pembentukan Space Strategic Fund, redefinisi konstitusi “tujuan damai,” dan kemitraan dengan sektor swasta seperti Astroscale untuk mengembangkan solusi dual-use. Teknologi ini tidak hanya bertujuan membersihkan orbit tetapi juga memiliki potensi aplikasi keamanan antariksa, sejalan dengan meningkatnya ancaman dari program luar angkasa militer regional. Pendekatan Jepang menggabungkan investasi keuangan, kerangka regulasi, dan diplomasi soft power untuk membangun reputasi sebagai pemimpin tata kelola antariksa global. Studi ini memberikan wawasan tentang bagaimana negara kekuatan menengah dapat memanfaatkan inovasi teknologi untuk meningkatkan pengaruh strategis di domain antariksa, dengan implikasi penting bagi kebijakan luar negeri, keamanan nasional, dan kolaborasi internasional di era antariksa kontemporer.*

**Kata Kunci:** *sampah antariksa, teknologi pembersihan, diplomasi antariksa, Jepang, keamanan antariksa*

## **Pendahuluan**

Sampah antariksa telah menjadi salah satu tantangan paling mendesak dalam eksplorasi dan pemanfaatan ruang angkasa kontemporer. Dengan lebih dari 140 juta objek berukuran lebih dari 1 milimeter yang mengorbit Bumi, ancaman terhadap infrastruktur satelit dan misi antariksa masa depan semakin nyata (The European Space Agency, 2025). Fenomena yang dikenal sebagai Sindrom Kessler—di mana tabrakan antarobjek menciptakan reaksi berantai yang menghasilkan lebih banyak puing—mengancam keberlanjutan operasi antariksa global (CNN Indonesia, 2021). Dalam konteks ini, Jepang telah muncul sebagai pemain kunci dalam pengembangan teknologi pembersihan sampah antariksa, menginvestasikan lebih dari 6,6 miliar dolar AS hingga tahun 2034 melalui Space Strategic Fund yang baru dibentuk (Mori & Noguchi, 2024).

Kompleksitas permasalahan sampah antariksa memerlukan pemahaman mendalam tentang dimensi teknis dan politiknya. Berdasarkan data yang didapatkan dari Visual Capitalist, pada bulan Mei 2023 diperkirakan ada sekitar 14.000 sampah antariksa dari yang kecil, sedang, hingga berukuran besar mengitari orbit rendah bumi (Shah, 2023). Angka tersebut belum termasuk sampah-sampah yang terlalu kecil untuk dilacak. Kondisi ini menciptakan lingkungan operasional yang semakin berbahaya, di mana setiap misi antariksa harus memperhitungkan risiko tabrakan yang dapat mengakibatkan kerugian finansial miliaran dolar dan gangguan layanan kritis seperti komunikasi, navigasi, dan pemantauan cuaca. Ketergantungan ekonomi dan sosial modern terhadap infrastruktur satelit menjadikan isu sampah antariksa bukan lagi permasalahan teknis semata, melainkan tantangan keamanan nasional yang memerlukan respons strategis komprehensif.

Transformasi Jepang dari negara dengan kebijakan antariksa yang sepenuhnya damai menjadi aktor keamanan antariksa yang aktif mencerminkan perubahan fundamental dalam lingkungan strategis Asia Timur. Reinterpretasi Basic Space Law 2008 yang mengubah definisi "tujuan damai" dari "non-militer" menjadi "non-agresif" memungkinkan Jepang mengembangkan kapabilitas *dual-use* yang melayani tujuan sipil dan keamanan (Kallender-Umezu, 2013). Pendekatan ini memungkinkan Jepang menavigasi batasan konstitusionalnya sambil merespons ancaman regional yang berkembang, khususnya dari program antariksa militer Tiongkok dan uji coba rudal Korea Utara.

Perubahan paradigma kebijakan ini tidak terjadi dalam ruang hampa, melainkan sebagai respons terhadap dinamika geopolitik regional yang berkembang pesat. Tiongkok telah mengembangkan program antariksa yang ambisius dengan implikasi militer yang signifikan, termasuk kemampuan anti-satelit yang telah didemonstrasikan melalui uji coba penghancuran satelit pada tahun 2007. Korea Utara juga terus mengembangkan teknologi rudal balistik yang melewati ruang angkasa Jepang, menciptakan ancaman langsung terhadap keamanan nasional. Dalam konteks ancaman regional yang meningkat ini, kemampuan untuk memantau, melacak, dan berpotensi menonaktifkan objek di ruang angkasa menjadi semakin strategis bagi pertahanan nasional Jepang.

Reposisi kebijakan antariksa Jepang juga didorong oleh kesadaran akan pentingnya domain antariksa dalam infrastruktur nasional modern. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) telah mengidentifikasi bahwa gangguan terhadap infrastruktur satelit dapat mengakibatkan kerugian ekonomi hingga triliunan yen, menjadikan investasi dalam keamanan antariksa sebagai prioritas keamanan nasional (Carlo & Breda, 2024). Ketergantungan terhadap satelit komunikasi, navigasi GPS, dan sistem pemantauan cuaca menciptakan kerentanan strategis yang memerlukan perlindungan aktif, sehingga

teknologi pembersihan sampah antariksa menjadi komponen integral dari strategi pertahanan berlapis Jepang.

Keunggulan Jepang dalam sektor ini tidak hanya bersifat teknologis tetapi juga mencerminkan strategi diplomatik yang canggih. Melalui kepemimpinan di forum internasional seperti UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS), kemitraan komersial pionir seperti misi pembersihan sampah pertama di dunia oleh Astroscale, dan kerangka hukum inovatif, Jepang telah memposisikan pembersihan sampah antariksa sebagai infrastruktur penting untuk operasi antariksa berkelanjutan (Komiya & Bhattacharjee, 2025). Pendekatan ini memungkinkan Jepang mengembangkan teknologi yang berpotensi relevan secara militer sambil mempertahankan legitimasi melalui pembingkaian lingkungan.

Diplomasi antariksa Jepang menunjukkan kecanggihan dalam memanfaatkan soft power teknologi untuk mencapai tujuan strategis yang lebih luas. Dengan memimpin inisiatif pembersihan sampah antariksa, Jepang memposisikan diri sebagai negara yang bertanggung jawab dalam tata kelola antariksa global, sekaligus mengembangkan kemampuan teknis yang memiliki aplikasi dual-use. Teknologi yang sama yang digunakan untuk menangkap dan menghilangkan sampah antariksa dapat diadaptasi untuk tujuan keamanan, seperti menonaktifkan satelit musuh atau melindungi aset antariksa strategis. Kemitraan dengan sektor swasta, khususnya melalui dukungan terhadap perusahaan seperti Astroscale dan Mitsubishi Electric, menciptakan ekosistem inovasi yang menggabungkan keunggulan teknologi Jepang dengan kebutuhan pasar global, memungkinkan Jepang mengeksport teknologi antariksa sambil mempertahankan kontrol atas aplikasi strategis (Rainbow, 2023).

Dimensi ekonomi dari investasi masif Jepang dalam teknologi pembersihan sampah antariksa mencerminkan perhitungan strategis yang kompleks. Pasar pembersihan sampah antariksa diproyeksikan mencapai 2,05 miliar dolar AS pada tahun 2033, dengan tingkat pertumbuhan tahunan yang mencapai 7,8 persen (Grand View Research, 2024). Dengan memposisikan diri sebagai pemimpin teknologi dalam sektor ini, Jepang tidak hanya mengamankan kepentingan keamanan nasionalnya tetapi juga membuka peluang ekspor teknologi yang bernilai triliunan yen. Keunggulan teknologi Jepang dalam robotika, sistem kontrol presisi, dan material canggih memberikan fondasi yang kuat untuk pengembangan teknologi pembersihan sampah antariksa yang kompetitif di pasar global.

Perusahaan seperti Kawasaki Heavy Industries dan IHI Corporation telah mengintegrasikan keahlian mereka dalam sistem propulsi dan manipulasi robotik untuk mengembangkan solusi inovatif dalam penanganan objek antariksa (Kawasaki, 2019). Teknologi yang dikembangkan untuk misi pembersihan sampah dapat diterapkan untuk berbagai aplikasi antariksalainnya, termasuk pemeliharaan satelit, konstruksi antariksa, dan misi eksplorasi. Aspek ekonomi juga mencakup perlindungan investasi antariksa yang sudah ada, dimana Jepang memiliki investasi signifikan dalam konstelasi satelit untuk komunikasi, observasi Bumi, dan navigasi, dengan nilai total mencapai puluhan miliar dolar. Ancaman sampah antariksa terhadap aset-aset ini menciptakan risiko finansial yang substansial, menjadikan investasi dalam teknologi pembersihan sebagai bentuk asuransi ekonomi yang rasional.

Dalam konteks keamanan regional, teknologi pembersihan sampah antariksa Jepang memiliki dimensi strategis yang melampaui aplikasi sipil. Kemampuan untuk mendekati, menangkap, dan memanipulasi objek di ruang angkasa memberikan opsi strategis dalam skenario konflik, meskipun hal ini tidak dinyatakan secara eksplisit

dalam kebijakan resmi. Teknologi ini dapat digunakan untuk melindungi satelit strategis Jepang dan sekutunya dari ancaman kinetik maupun non-kinetik, sambil memberikan kemampuan untuk mengganggu operasi satelit musuh jika diperlukan. Kemitraan keamanan antariksa dengan Amerika Serikat semakin diperkuat melalui inisiatif teknologi pembersihan sampah, dimana Japan-US Space Security Cooperation mencakup berbagai informasi tentang pemantauan sampah antariksa, pengembangan teknologi *dual-use*, dan koordinasi dalam situasi darurat antariksa (ESPI, 2023).

Posisi geografis Jepang memberikan keunggulan strategis dalam pemantauan dan respons terhadap aktivitas antariksa regional. Fasilitas pelacakan antariksa Jepang dapat memantau luncuran rudal dari Korea Utara dan aktivitas satelit Tiongkok, memberikan *early warning* yang berharga bagi sistem pertahanan regional. Teknologi pembersihan sampah dapat diintegrasikan dengan sistem pemantauan ini untuk memberikan respons yang lebih komprehensif terhadap ancaman antariksa. Kolaborasi ini memperkuat aliansi bilateral sambil meningkatkan kemampuan kolektif untuk merespons ancaman antariksa regional, menciptakan *deterrence effect* yang signifikan terhadap potensi agressor di kawasan.

Jepang telah menggunakan kepemimpinannya dalam teknologi pembersihan sampah antariksa sebagai platform untuk membentuk norma dan standar internasional dalam tata kelola antariksa. Melalui partisipasi aktif dalam Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) dan inisiatif di bawah United Nations Office for Outer Space Affairs, Jepang berupaya menciptakan kerangka kerja internasional yang menguntungkan kepentingan strategisnya sambil mempromosikan penggunaan ruang angkasa yang berkelanjutan (Reesman & Rogers, 2018). Pendekatan multilateral Jepang dalam isu sampah antariksa mencerminkan strategi yang lebih luas untuk memposisikan diri sebagai middle power yang konstruktif dalam tata kelola global, membangun kredibilitas sebagai pemimpin dalam domain antariksa sambil menghindari polarisasi yang dapat merusak hubungan dengan mitra penting.

Inisiatif pembentukan standar teknis internasional untuk operasi pembersihan sampah antariksa memberikan Jepang advantage dalam mengatur kompetisi sektor ini. Dengan menjadi *early mover* dalam pengembangan teknologi dan standar, Jepang dapat mempengaruhi regulasi internasional yang menguntungkan perusahaan dan teknologi domestiknya, menciptakan *barrier to entry* bagi kompetitor potensial. Strategi ini mencerminkan pemahaman mendalam tentang bagaimana standar teknis dapat menjadi instrumen kekuatan ekonomi dan politik dalam ekonomi global yang semakin teknologi-sentrik.

Artikel ini menganalisis kepentingan strategis Jepang dalam mengembangkan teknologi pembersihan sampah antariksa dari perspektif hubungan internasional. Analisis ini mengungkap bagaimana Jepang memanfaatkan keahlian teknis untuk mempertahankan relevansi dalam kompetisi kekuatan besar, memperkuat aliansi keamanan dengan Amerika Serikat, dan membentuk tata kelola antariksa global. Rumusan masalah yang diajukan adalah: Apa kepentingan strategis Jepang dalam mengembangkan teknologi pembersihan sampah antariksa, dan bagaimana investasi ini mencerminkan tujuan keamanan nasional, ekonomi, dan diplomatik Jepang dalam konteks persaingan regional dan global?

Keunikan penelitian ini terletak pada pendekatan analitisnya yang menggabungkan aspek teknologi, keamanan, kebijakan, dan diplomasi dalam satu kerangka konseptual yang saling terhubung untuk memahami strategi Jepang dalam pembersihan sampah antariksa. Signifikansi penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pemahaman

tentang bagaimana negara kekuatan menengah dapat memanfaatkan inovasi teknologi untuk mencapai pengaruh yang tidak proporsional dalam tata kelola domain strategis baru. Selain menyoroti dimensi kebijakan domestik, penelitian ini juga menghadirkan keunikan melalui pengaitan langsung antara teknologi pembersihan sampah antariksa dengan dinamika geopolitik kawasan Asia Timur dan struktur sistem internasional yang anarkis sebagaimana dijelaskan dalam teori neorealisme. Kasus Jepang menawarkan wawasan berharga tentang interaksi antara kendala domestik, tekanan sistemik, dan peluang teknologi dalam membentuk kebijakan luar negeri kontemporer. Lebih lanjut, analisis ini berkontribusi pada literatur yang berkembang tentang diplomasi antariksa dan implikasi keamanan dari teknologi *dual-use* dalam domain antariksa. Teknologi *dual-use* memungkinkan Jepang melakukan pembersihan orbit sebagai fungsi ekologis namun juga memiliki fungsi strategis dan militer yaitu mampu mendekati dan menonaktifkan satelit musuh. Artikel ini menyoroti tentang bagaimana pembersihan sampah antariksa bisa dikatakan sebagai strategi membangun *power*—bukan sekedar masalah teknis dan lingkungan—seperti yang dianalisis dalam neorealisme dan kepentingan nasional. Hal ini karena adanya pertimbangan sistem internasional yang mana Jepang terhubung dengan ancaman Tiongkok, Korea Utara, serta aliansinya dengan Amerika Serikat.

## **Metode**

Metode penelitian pada tulisan ini adalah metode kualitatif-ekspanatif. Metode penelitian kualitatif dalam penelitian ini untuk memahami serta menjelaskan realitas sosial dari sudut pandang pelaku, makna suatu konteks, deskripsi proses pembentukan atau perkembangan realitas sosial (Afrizal, 2019). Metode kualitatif akan berfokus pada pemahaman mendalam tentang suatu fenomena melalui data deskriptif seperti jurnal, internet, buku, dan sumber lain yang relevan. Kualitatif mengacu pada paradigma pospositivis, yang berarti ilmu sosial berbeda dengan ilmu alam, sehingga dalam perlakuan harusnya dibedakan pula (Afrizal, 2019).

Untuk melakukan analisis, peneliti sebagai instrumen penelitian mencari dan mengolah data dari pengamatan lapangan, dokumen, wawancara, dokumentasi, dll. Namun dalam penelitian ini, peneliti fokus pada data sekunder terutama analisis dokumen sehingga data diperoleh dari berbagai sumber dokumen. Data dikategorisasi, sintesis, dijabarkan ke dalam unit-unit, menyusun ke dalam pola, memilah yang penting, membuat data menjadi mudah dipahami. Data tidak diubah dalam angka, karena sifatnya konseptual atas suatu permasalahan (Elvera; & Astarina, 2021). Menurut Bowen, Analisis dokumen merupakan prosedur meninjau dan mengevaluasi dokumen-dokumen dalam berbagai bentuk, baik elektronik ataupun manual dan bisa berbentuk agenda, catatan rapat, artikel, buku, brosur, jurnal, surat, peta, diagram, press release, laporan organisasi, dst (Bowen, 2009).

Dalam konteks penelitian mengenai kebijakan antariksa Jepang, metode kualitatif-ekspanatif digunakan karena dinamika pengembangan teknologi pembersihan sampah antariksa di Jepang sarat dengan dimensi historis, politik, dan keamanan yang hanya dapat dipahami melalui penelusuran mendalam terhadap dokumen kebijakan. Isu pembersihan sampah antariksa adalah isu kebijakan, regulasi, teknologi, dan geopolitik yang lebih cocok dipahami melalui pendekatan kualitatif.

Karena penelitian ini memeriksa kebijakan, strategi keamanan, dan arah diplomasi Jepang, dokumen-dokumen resmi dan laporan institusi merupakan sumber paling valid untuk menilai intensi negara dan aktivitas aktual. Jepang merupakan negara yang sejak lama memiliki restriksi normatif terhadap aktivitas antariksa melalui prinsip “tujuan

damai”, sehingga setiap perubahan seperti reinterpretasi Basic Space Law 2008, pembentukan Space Strategic Fund, serta kemitraan dengan perusahaan swasta seperti Astroscale selalu terdokumentasi secara jelas dalam laporan pemerintah, strategi nasional, dan publikasi resmi JAXA. Analisis dokumen memungkinkan peneliti memetakan bagaimana Jepang membingkai teknologi pembersihan sampah sebagai instrumen kepentingan nasional yang berkaitan dengan keamanan, ekonomi, dan diplomasi. Dengan demikian, metode ini tidak hanya menjelaskan fenomena, tetapi juga mengontekstualisasikan kebijakan antariksa Jepang dalam dinamika geopolitik Asia Timur dan kompetisi kekuatan besar yang mempengaruhi orientasi strategis negara tersebut.

## **Hasil dan Pembahasan**

### **Pengaturan Pembersihan Sampah Antariksa Di Tingkat Global**

Sampah antariksa, yang juga dikenal dengan istilah “*space debris*”, “*space junk*”, atau “*space waste*”, merujuk pada semua objek buatan manusia yang berada di orbit Bumi namun tak lagi memiliki fungsi (Sipiera & Kähler, 2024). Objek-objek ini meliputi satelit yang sudah usang, bagian roket yang terbuang, sisa misi antariksa, hingga serpihan kecil hasil tabrakan atau ledakan di ruang angkasa. Selain benda-benda berukuran besar, sampah antariksa juga mencakup partikel sangat kecil seperti serpihan cat yang terlepas dari permukaan wahana luar angkasa, hingga partikel sisa pembakaran roket. Sampah ini biasanya tetap mengorbit Bumi dengan kecepatan sangat tinggi dan menjadi ancaman potensial bagi wahana aktif, satelit operasional, serta Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS), karena tabrakan dengan fragmen sekecil apapun dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada struktur dan sistem antariksa.

Fenomena akumulasi sampah antariksa bermula sejak peluncuran Sputnik 1 pada Oktober 1957, yang menandai lahirnya era eksplorasi ruang angkasa. Fragmen sampah bertambah seiring terjadinya tabrakan antarantongkat roket, ledakan sisa bahan bakar, atau uji coba senjata anti-satelit yang terjadi selama masa Perang Dingin. Dengan terus bertambahnya aktivitas luar angkasa, volume sampah pun meningkat pesat, hingga tak hanya memperbesar risiko kecelakaan di ruang angkasa, tapi juga berpotensi membahayakan keselamatan manusia dan aset teknologi vital berbagai negara (Luke, 2021).

Organisasi seperti NASA dan Komando Pertahanan Udara Amerika Utara (NORAD) mulai mengidentifikasi, memantau, serta mengkatalogkan objek manusia di luar angkasa pada akhir 1950-an. Namun, istilah “*space debris*” mendapatkan pemakaian luas seiring berkembangnya riset mitigasi sampah antariksa, terutama sejak NASA mendirikan Orbital Debris Program pada tahun 1979 yang secara khusus meneliti dan mengurangi risiko terkait sampah antariksa. Variasi terminologi seperti “*space waste*”, “*space junk*”, hingga “*orbital debris*” lazim ditemukan, namun seluruhnya merujuk pada kumpulan objek buatan manusia yang sudah tidak berfungsi di ruang angkasa (Stansbery & Johnson, 2013).

Klasifikasi sampah antariksa berdasarkan ukuran menjadi fundamental untuk pemahaman risiko dan pengembangan strategi mitigasi yang efektif. Objek berukuran lebih dari 10 sentimeter dapat dilacak dari Bumi dan saat ini berjumlah sekitar 36.500 objek yang terdaftar secara resmi. Kategori ini mencakup satelit yang tidak berfungsi, tahapan roket, dan fragmen besar dari tabrakan atau ledakan yang dapat menyebabkan kerusakan katastrofik pada infrastruktur antariksa operasional (Kluger, 2022).

Negara	Jumlah Sampah Antariksa
Rusia (termasuk Uni Soviet)	4.521
Amerika Serikat	4.317
Tiongkok	4.137
Prancis	370
India	62
Jepang	48
Tiongkok–Brasil*	25
ESA	22
Kanada	5
Argentina	1
Jerman	1
Lainnya	24

\*Sampah antariksa Tiongkok–Brasil berasal dari berbagai macam program kerjasama antariksa selama beberapa tahun (Shah, 2023).

Beban sampah antariksa saat ini didominasi oleh tiga negara yang sejak era Perang Dingin memimpin perlombaan luar angkasa. Rusia, memegang porsi terbesar dengan total 4.521 potongan puing antariksa yang tercatat di orbit rendah Bumi, AS berada di urutan berikutnya dengan 4.317 potongan, diikuti oleh Tiongkok dengan 4.137 potongan, yang kesemuanya berkontribusi pada lebih dari 90% sampah berukuran lebih dari 10 cm yang rutin dipantau oleh jaringan pelacak ruang angkasa (Shah, 2023). Lonjakan signifikan pada ketiga negara ini disebabkan tidak hanya oleh banyaknya satelit aktif dan tahap roket yang kini tak terpakai, tetapi juga oleh uji coba senjata anti-satelit (ASAT) yang menghasilkan ribuan fragmen puing dalam satu peristiwa, seperti uji ASAT Tiongkok 2007 dan insiden tabrakan Cosmos-2251 dengan Iridium 33 pada 2009.

Kondisi ini memunculkan tantangan serius bagi keselamatan misi antariksa berikutnya. Setiap puing, sekecil apapun, dapat bergerak dengan kecepatan lebih dari 7 km/s, sehingga benturan dengan satelit operasional atau Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) bisa berakibat kerusakan fatal. Tindakan mitigasi kini meliputi pedoman desain satelit agar dapat de-orbit dalam waktu maksimal 25 tahun setelah akhir masa aktif, prosedur “end-of-life” untuk tahap roket, serta teknologi pembersihan seperti ClearSpace-1 yang dijadwalkan ESA pada 2026 untuk menurunkan fragmen besar dari orbit (Werner, 2024).

Peningkatan jumlah peluncuran komersial dan satelit mikro-satelit menambah kerumitan pengelolaan sampah antariksa. Kolaborasi internasional di bawah UNESCO dan UN COPUOS mengusulkan standar “best practices” mitigasi sampah, sementara OECD menyoroti tantangan teknis, politik, dan ekonomi dalam upaya Active Debris Removal (ADR) (Jolly & Undseth, 2024). Insiden satelit Kosmos 954 pada 24 Januari 1978 menjadi preseden penting dalam pengembangan protokol keamanan antariksa internasional. Kosmos 954, satelit pengintai maritim Soviet dari program Radar Ocean Reconnaissance Satellite (RORSAT), dilengkapi dengan reaktor nuklir BES-5 yang menggunakan uranium-235 dengan pengayaan tinggi sebesar 31.1 Kilogram untuk menghasilkan daya listrik bagi sistem radar yang memerlukan konsumsi energi tinggi (Schwartz & Berlin, 1982). Satelit dengan massa total 3.800 Kilogram ini diluncurkan pada 18 September 1977 ke orbit rendah untuk memantau pergerakan armada NATO di Atlantik Utara, namun mengalami kegagalan sistem kendali orbital yang kritis pada bulan Desember 1977 (Bachtar, 2020).

Pada tanggal 24 Januari 1978, satelit memasuki atmosfer di atas Queen Charlotte Islands dan mengalami fragmentasi struktural yang melintasi Northwest Territories Kanada

(Bachtiar, 2020). Analisis yang dilakukan oleh tim gabungan internasional menunjukkan bahwa sekitar 20 persen dari massa total satelit, termasuk komponen reaktor yang mengandung material radioaktif, berhasil mencapai permukaan Bumi. Puing radioaktif tersebar di area yang sangat luas mencakup 124.000 Kilometer persegi, membentang dari Great Slave Lake hingga Baker Lake (Burke, 1984).

Operasi pembersihan darurat "Operation Morning Light" diluncurkan sebagai upaya kolaborasi antara Kanada dan Amerika Serikat, menjadi respons darurat nuklir terbesar dalam sejarah Amerika Utara (Dart, 2022). Tim gabungan menggunakan detektor radiasi canggih untuk melakukan pemetaan kontaminasi secara sistematis (Power & Keeling, 2018). Pencarian intensif yang berlangsung selama 10 bulan berhasil mengidentifikasi dan mengumpulkan 65 Kilogram puing radioaktif, yang dapat menyebabkan kematian dalam waktu dua jam paparan langsung (Deffree, 2019).

Implikasi kesehatan masyarakat dan lingkungan dari insiden Kosmos 954 tetap menjadi subjek penelitian epidemiologi dan monitoring lingkungan jangka panjang yang berkelanjutan. Meskipun tidak ada korban langsung yang dilaporkan dari paparan radiasi akut, studi epidemiologi jangka panjang yang dilakukan di komunitas indigenous Dene dan Inuit yang berpotensi terpapar tidak menunjukkan peningkatan signifikan dalam insiden kanker atau kelainan genetik, namun dampak psikososial dari persepsi kontaminasi dan gangguan terhadap aktivitas tradisional seperti berburu dan memancing tetap bertahan hingga dekade berikutnya (Dart, 2022).

Biaya finansial dari operasi pembersihan mencapai 14 juta dolar Kanada mencakup operasi pencarian, dekontaminasi, monitoring jangka panjang, dan kompensasi untuk gangguan ekonomi lokal (Power & Keeling, 2018). Setelah negosiasi diplomatik yang panjang dan kompleks berdasarkan Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects (Space Liability Convention) 1972, Uni Soviet akhirnya menyetujui pembayaran kompensasi sebesar 3 juta dolar, meskipun jumlah ini jauh di bawah total biaya yang dikeluarkan dan menjadi precedent penting untuk klaim kompensasi internasional terkait kerusakan akibat objek antariksa (Cohent, 1984).

Kasus Kosmos 954 memunculkan perdebatan internasional mengenai penggunaan tenaga nuklir di luar angkasa. Insiden ini juga mendorong PBB untuk membentuk Working Group pada UN COPUOS guna meninjau keamanan satelit nuklir dan memperkuat regulasi agar negara peluncur bertanggung jawab atas potensi bahaya saat satelit kembali ke Bumi. Tanpa langkah mitigasi yang efektif, janji "akses luar angkasa yang aman dan berkelanjutan" akan sulit terpenuhi, mengingat risiko kerusakan satelit operasional, gangguan layanan kritis seperti GPS dan telekomunikasi, serta kemungkinan bahaya bagi kehidupan manusia akibat puing berkecepatan tinggi atau kontaminasi radioaktif.

### **Kerangka Hukum Internasional Sampah Antariksa: Tanggung Jawab, Remediasi, dan Perjanjian Internasional**

Permasalahan sampah antariksa, yang baru mulai disadari setelah peluncuran Sputnik pada 1957, kini telah berkembang menjadi isu hukum internasional yang membutuhkan respons koordinatif dari berbagai negara dan organisasi internasional, meskipun kerangka hukumnya masih memiliki keterbatasan dalam menangani aspek pembersihan aktif dan distribusi tanggung jawab (Pramana & Yasa, 2022).

Landasan utama hukum internasional sampah antariksa terletak pada lima perjanjian ruang angkasa PBB yang diawasi oleh Komite Penggunaan Damai Luar Angkasa (UN

COPUOS), dengan Outer Space Treaty 1967 sebagai dokumen fundamental (Adhazar, Suhaidi, Sutiarnoto, & Leviza, 2022). Perjanjian ini menetapkan prinsip-prinsip dasar bahwa negara peluncur bertanggung jawab penuh atas aktivitas antariksa mereka, termasuk entitas non-pemerintah di bawah yurisdiksi mereka, sebagaimana diatur dalam Pasal VI yang menyatakan bahwa negara harus melakukan otorisasi dan pengawasan berkelanjutan terhadap aktivitas nasional di ruang angkasa (Adhazar, Suhaidi, Sutiarnoto, & Leviza, 2022). Pasal IX treaty ini juga mengharuskan negara melakukan aktivitas antariksa dengan "due regard" terhadap kepentingan negara lain dan menghindari kontaminasi berbahaya ruang angkasa, yang dapat diinterpretasikan mencakup kewajiban mitigasi sampah antariksa (Lively, 2025).

Instrumen hukum yang lebih spesifik mengatur tanggung jawab kerusakan akibat objek antariksa adalah Space Liability Convention 1972, yang telah diratifikasi oleh 98 negara per 2021 (Abdelhamid & Wang, 2024). Konvensi ini menetapkan bahwa negara peluncur memiliki tanggung jawab mutlak (absolute liability) untuk kerusakan yang disebabkan objek antariksa mereka di permukaan Bumi atau pesawat terbang, dan tanggung jawab berbasis kesalahan (fault liability) untuk kerusakan di ruang angkasa (Schwartz & Berlin, 1982). Namun, konvensi ini memiliki keterbatasan karena hanya mengatur klaim ganti rugi antar negara dan tidak secara eksplisit membahas kewajiban pembersihan sampah antariksa (Iqbal & Oktaviani, 2024). Registration Convention 1974 melengkapi kerangka ini dengan wajibkan negara mendaftarkan objek antariksa mereka kepada PBB, memfasilitasi identifikasi kepemilikan sampah antariksa, meskipun hanya 72 negara yang telah meratifikasinya per 2022 (Sarro, 2023).

Moon Agreement 1979 merupakan instrumen yang paling progresif dalam mengatur sumber daya ruang angkasa, menyatakan bahwa bulan dan benda langit lainnya adalah "warisan bersama umat manusia" dan mengharuskan pembentukan rezim internasional untuk mengatur eksploitasi sumber daya. Namun, perjanjian ini mengalami kegagalan implementasi karena hanya diratifikasi oleh 15 negara dan tidak ditandatangani oleh negara-negara besar seperti Amerika Serikat, Rusia, Tiongkok, atau negara anggota European Space Agency (Hidayat, Lestari, & Diana, 2023). Keterbatasan ini menunjukkan kesenjangan antara aspirasi hukum internasional dan realitas politik dalam tata kelola ruang angkasa.

Dalam konteks tanggung jawab pembersihan sampah antariksa, hukum internasional saat ini tidak secara eksplisit wajibkan negara untuk melakukan Active Debris Removal (ADR). Meskipun Pasal VII Outer Space Treaty dan Liability Convention menetapkan tanggung jawab negara peluncur atas kerusakan, tidak ada kewajiban hukum mengikat untuk membersihkan sampah yang sudah ada di orbit (Lively, 2025). Konsep *Common but Differentiated Responsibility and Respective Capabilities (CBDR-RC)* mulai dipertimbangkan sebagai kerangka alternatif, dimana negara-negara maju yang lebih berkontribusi terhadap sampah antariksa dan memiliki kapabilitas teknologi superior akan memikul tanggung jawab lebih besar dalam upaya mitigasi dan remediasi (Widodo & Miano, 2024).

Pengembangan hukum sampah antariksa saat ini sangat bergantung pada instrumen soft law yang tidak mengikat secara hukum namun memberikan pedoman praktis (Soucek & Tapiro, 2019). Space Debris Mitigation Guidelines UN COPUOS yang diadopsi melalui Resolusi Majelis Umum PBB 62/217 tahun 2007 menetapkan tujuh pedoman utama, termasuk aturan 25 tahun untuk penghapusan satelit dari orbit setelah akhir misi (Larsen, 2018). Pedoman ini didasarkan pada IADC Space Debris Mitigation Guidelines yang dikembangkan oleh Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, forum koordinasi antar badan antariksa internasional (Letizia, Virgili, & Lemmens, 2023).

European Space Agency juga telah memperkenalkan Zero Debris Charter yang ditandatangani 17 negara Eropa plus Meksiko dan Selandia Baru, menetapkan target pencegahan produksi sampah antariksa baru pada 2030 (Agius, 2025).

Tantangan utama dalam penerapan hukum sampah antariksa terletak pada prinsip yurisdiksi dan kontrol berkelanjutan yang ditetapkan Pasal VIII Outer Space Treaty, dimana negara peluncur mempertahankan kontrol atas objek antariksa mereka tanpa batas waktu (Cepelka & Gilmour, 1970). Hal ini menciptakan dilema hukum dimana pembersihan sampah antariksa negara lain tanpa persetujuan dapat dianggap sebagai tindakan permusuhan atau bahkan pembajakan (Long & Huang, 2024). Oleh karena itu, mekanisme ADR memerlukan persetujuan eksplisit dari negara pemilik sampah atau kerangka hukum internasional baru yang mengatur pengabaian (abandonment) objek antariksa (Muñoz-Patchen, 2018).

### **Pemerintah Jepang dalam Peluncuran Teknologi Antariksa**

Posisi Jepang dalam lanskap peluncuran dan pengembangan teknologi antariksa menempati peringkat elite dunia, berdampingan dengan negara-negara yang dikenal sebagai kekuatan ruang angkasa utama: Amerika Serikat, Rusia, Tiongkok, dan negara-negara anggota Eropa. Keunggulan Jepang dalam peluncuran teknologi antariksa dapat ditinjau dari beberapa aspek utama, meliputi kapasitas peluncuran roket, inovasi teknologi, kontribusi pada stasiun luar angkasa internasional, portofolio misi eksplorasi, hingga kemajuan sektor swasta dan start-up. Dari segi peluncuran tahunan, sejak dua dekade terakhir frekuensi peluncuran roket Jepang cenderung stabil, meskipun jauh di bawah Amerika Serikat, Tiongkok, dan Rusia yang mendominasi aktivitas orbit rendah Bumi. Pada 2024, Badan Antariksa Jepang (JAXA) mencatat lima peluncuran wahana antariksa, mayoritas dilakukan dari fasilitas utama Tanegashima Space Center, dengan tambahan peluncuran dari Uchinoura Space Center (Arba, 2025), (Dey & Jambhale, 2025).

Diversifikasi misi peluncuran Jepang terbukti dari pengembangan roket H-IIA dan H-IIB yang diakui global atas ketepatan dan reliabilitasnya, serta inisiatif roket generasi terbaru, H3, yang mulai beroperasi sejak 2023 dan dirancang untuk menekan biaya sekaligus meningkatkan kapasitas angkut satelit ke orbit (Benoza, 2024). Penggantian bertahap H-IIA—yang telah digunakan sejak awal 2000-an—mengukuhkan komitmen Jepang pada efisiensi dan keberlanjutan teknologi peluncuran. Selain itu, Jepang juga mengembangkan fasilitas peluncuran privat seperti Hokkaido Spaceport yang diproyeksikan menggairahkan segmen peluncuran komersial di kawasan Asia Timur (Jones, 2023).

Amerika Serikat dan Tiongkok tercatat menempati posisi teratas dari segi jumlah peluncuran tahunan, diikuti Rusia. Namun, keunggulan Jepang justru tercermin pada fokus inovasi teknologi, misi sains, dan rekam jejak *zero-failure* yang tinggi. Pencapaian monumental Jepang antara lain ialah keberhasilan membawa pulang sampel asteroid melalui misi Hayabusa dan Hayabusa2—sebuah capaian yang bahkan melampaui kemampuan banyak negara maju lainnya dalam eksplorasi benda langit (Spherical Insights, 2023). Selain itu, Jepang merupakan satu-satunya negara Asia yang berkontribusi langsung pada pembangunan dan pengoperasian Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) melalui modul Kibo—modul penelitian terbesar di ISS dan teknologi robotika canggih seperti Kirobo (Vijayakumar, 2020).

Keunggulan lain Jepang terletak pada aplikasi teknologi antariksa untuk kebutuhan sipil dan mitigasi sampah antariksa. Jepang menjadi pionir dalam pemanfaatan mikrosatelit

untuk observasi Bumi, monitoring iklim, serta pengembangan sistem navigasi berbasis satelit Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) yang meningkatkan akurasi penentuan posisi di kawasan Asia-Oseania hingga mencapai 10 sentimeter—mengungguli sistem GPS konvensional (Gadgets 360, 2025). Dalam bidang mitigasi sampah antariksa, perusahaan Jepang seperti Astroscale memimpin pasar global dalam pengembangan teknologi penangkapan dan pembersihan sampah orbit yang mendapat dukungan finansial serta pengakuan berbagai lembaga internasional (Jewett, 2020).

Dukungan pemerintah yang mengutamakan pendekatan damai sesuai regulasi Outer Space Treaty 1967, pengembangan hukum nasional, dan kerangka kerjasama intensif dengan NASA dan ESA menjadikan Jepang sebagai mitra utama dalam program eksplorasi Bulan Artemis serta berbagai proyek kolaborasi teknologi strategis. Investasi pemerintah di bidang antariksa Jepang termasuk tertinggi di Asia, dibarengi oleh pertumbuhan ekosistem startup dan sektor swasta yang mengakselerasi pertumbuhan sektor ini sebesar 24,78% per tahun antara 2022–2032, sesuai proyeksi beberapa studi pasar terbaru (Spherical Insights, 2023), (Jiji, 2025).

Pengelolaan sampah antariksa di Jepang melibatkan lembaga-lembaga utama negara yang memiliki mandat ilmiah, teknis, dan kebijakan tinggi, dengan integrasi antara sektor publik, swasta, serta kolaborasi internasional sebagai karakteristik khasnya. Peran utama dipegang oleh JAXA, yang sejak awal berdiri pada tahun 2003 hasil penggabungan beberapa lembaga penelitian antariksa terdahulu, konsisten memimpin upaya nasional dalam mitigasi, pemantauan, dan remediasi sampah antariksa. Tanggung jawab ini berakar pada sejarah panjang keterlibatan Jepang—bahkan sejak permulaan peringatan global terhadap potensi bahaya debris pada 1970-an—hingga pengembangan standar mitigasi internal JAXA pada 1996, salah satu yang pertama di dunia (The Planetary Society, 2025).

JAXA mengelola sampah antariksa melalui sejumlah unit strategis. Space Tracking and Communications Center (STCC) berperan sebagai pengamat utama dengan memanfaatkan radar dan teleskop optik untuk memantau, mendekripsi, dan menghitung lintasan debris yang mengorbit Bumi. Data yang dihasilkan digunakan tidak hanya untuk prediksi risiko satelit aktif milik Jepang, namun juga sebagai kontribusi pada jaringan pemantauan global (The Planetary Society, 2025). Selain itu, Safety and Mission Assurance Department berperan dalam pembuatan standar internasional mitigasi, bersama-sama dengan organisasi seperti Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) dan International Organization for Standardization (ISO), serta pengembangan perangkat pengkajian risiko terkait debris, termasuk dampak fragmentasi di atmosfer dan risiko jatuh ke permukaan Bumi (The Planetary Society, 2025).

Langkah paling progresif dari pengelolaan aktif debris di Jepang diwujudkan melalui pengembangan teknologi penghilangan sampah antariksa secara langsung, atau active debris removal (ADR). Pada dekade terakhir, Direktur Penelitian dan Pengembangan JAXA memimpin program demonstrasi penghilangan puing, yakni Commercial Removal of Debris Demonstration (CRD2). Fase pertama CRD2, yang dimulai pada 2021 dan mencapai milestone bersejarah pada 2024 dengan satelit ADRAS-J berhasil mendekati puing besar di orbit, dijalankan melalui kemitraan publik-swasta dengan Astroscale, perusahaan rintisan Jepang yang sejak 2015 berkembang menjadi pelopor global di bidang pelayanan on-orbit servicing dan ADR (Astroscale, 2024).

Astroscale tidak hanya memperoleh dukungan teknis dari JAXA, namun juga bermitra dengan lembaga luar negeri. Astroscale sendiri mengantongi kontrak dan pengakuan

dari badan antariksa Amerika Serikat, Inggris, Prancis, serta European Space Agency, menandakan kematangan teknologi sekaligus kepercayaan internasional. Kolaborasi dengan perusahaan India (Digantara dan Bellatrix Aerospace), menegaskan regionalisasi solusi ADR dan perluasan pasar di Asia Pasifik, termasuk rencana jangka panjang untuk ekspansi di Korea Selatan, Taiwan, Indonesia, dan Australia (Komiya & Bhattacharjee, 2025). Dalam lanskap global, Astroscale menjadi operator utama beberapa misi eksperimen pembersihan puing bersama JAXA serta lembaga antariksa dan militer negara-negara Barat (Astroscale, 2024).

Pada dimensi kebijakan, Pemerintah Jepang telah menyesuaikan landasan legal dan administratif agar mampu menjawab eskalasi masalah debris. Penerapan Space Activities Act sejak 2018 memberikan kerangka hukum yang mengikat untuk pemberian lisensi peluncuran serta pengelolaan operasionalisasi proyek oleh entitas swasta. Semua aktivitas wajib memenuhi kriteria pencegahan pecah di orbit dan pembuangan pasca-misi, serta menyerahkan rencana mitigasi risikonya kepada pemerintah untuk disetujui sejak awal (Komiya & Bhattacharjee, 2025). Pemerintah juga mengembangkan regulasi lebih spesifik melalui penetapan pedoman on-orbit servicing tahun 2021, yang mengatur detail teknis, transparansi, dan prosedur izin dalam menjalankan misi ADR maupun "end-of-life" servicing satelit. Pengawasan pelaksanaan melekat pada National Space Policy Secretariat, bagian dari Cabinet Office, yang mengoordinasikan lintas kementerian dan menyusun kebijakan jangka menengah-panjang mitigasi lalu lintas orbital lewat Inter-Agency Task Force sejak 2019, dengan pembaruan kebijakan besar terakhir diumumkan pada Maret 2024 (Lively, 2025).

Pemerintah menandatangi pernyataan bersama dengan United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) pada 2020 untuk mempererat kolaborasi dalam upaya mitigasi debris, alih pengetahuan, serta pengembangan standar global, termasuk pelaksanaan Seminar dan Side Event pada COPUOS (Space News, 2020). Jepang berpartisipasi aktif dalam penyusunan panduan mitigasi debris PBB (UN COPUOS) dan IADC, serta menjadi penyokong utama pengadopsian Kebijakan Keberlanjutan Aktivitas Luar Angkasa (Long-Term Sustainability Guidelines). Pada tingkat regional dan ekonomi, Jepang memimpin diskusi rating mitigasi debris di World Economic Forum, serta mendukung pengembangan skema pasar layanan ADR global (Mori & Noguchi, 2024).

Komitmen Jepang dalam mengelola sampah antariksa ditekankan lewat peranannya sebagai pemrakarsa pembentukan kelompok negara dengan visi serupa demi menghadirkan aturan internasional yang mengikat seputar penghilangan debris, memperluas partisipasi negara berkembang, dan mencegah penyalahgunaan teknologi ADR sebagai instrumen strategis (Funakoshi, 2025). Integrasi antara tata kelola lembaga publik (JAXA, Cabinet Office, Kementerian Sains dan Teknologi), sektor industri (Astroscale), dan jejaring kolaborasi multilateral, dilandasi budaya inovasi, menjadikan Jepang pemimpin regional di Asia dan salah satu pionir global pengelolaan debris antariksa yang bertanggung jawab, progresif, dan berbasis riset mutakhir sejak dekade 1990-an hingga dewasa ini.

### **Teknologi Pengelolaan Sampah Antariksa Oleh Jepang**

Jepang telah mengembangkan rangkaian teknologi komprehensif untuk mengelola sampah antariksa, mulai dari pemantauan dan mitigasi hingga penghilangan aktif (Active Debris Removal). Pada tingkatan pemantauan, JAXA menjalankan Space Tracking and Communications Center (STCC) yang mengoperasikan radar phased-array dan teleskop optik di Prefektur Okayama untuk mengamati fragmen debris berekoran

orbit rendah hingga geostasioner. Data ini dianalisis dalam sistem komando terintegrasi bernama SAKURA, yang secara otomatis memproses informasi untuk prediksi tabrakan, manuver penghindaran, dan perkiraan jatuh kembali debris (The Planetary Society, 2025). Selain itu, sejak April 2023, JAXA memasang stasiun Satellite Laser Ranging (SLR) di Tsukuba untuk meningkatkan ketepatan penentuan orbit fragmen besar dan kecil (Howell, 2020).

Beriringan dengan pemantauan, mitigasi debris tercakup dalam standar teknis JAXA (JMR-003E) yang wajibkan perancangan sistem guna meminimalkan produksi sampah pada semua fase misi: perancangan, peluncuran, operasi, hingga akhir masa pakai. Proyek ini menetapkan prinsip “due regard” sesuai Outer Space Treaty 1967, termasuk desain untuk demisabilitas (kemampuan terurai saat re-entry) dan kepatuhan terhadap aturan de-orbit dalam 25 tahun setelah akhir misi (Abdelhamid & Wang, 2024). Pada ranah Active Debris Removal (ADR), Jepang meluncurkan program Commercial Removal of Debris Demonstration (CRD2) pada 2020 untuk membuktikan kelayakan teknis dan membuka pasar layanan pembersihan orbit. CRD2 terbagi dua fase: Fase I menitikberatkan pada operasi rendezvous dan proximity dengan debris, sedangkan Fase II akan mencakup penangkapan dan de-orbit objek besar. Untuk Fase I, JAXA menunjuk Astroscale Japan Inc. mengembangkan satelit demonstrator ADRAS-J, yang berhasil mendekati tahap atas roket H-2A dengan jarak terdekat 15 meter untuk mengambil citra dan data kondisi struktur (Astroscale, 2024).

Teknologi kunci pada ADRAS-J meliputi sistem Angles-Only Navigation—algoritma navigasi relatif menggunakan kamera tunggal—serta perpaduan sensor optik dan LIDAR untuk memantau jarak, orientasi, dan laju putar debris. Pengoperasian ini disokong oleh pengembangan deep learning-based pose estimation untuk estimasi posisi relatif secara real time serta strategi manuver rendezvous fault-tolerant yang mengutamakan keamanan dan keandalan (Massimi, Ferrara, Petrucci, & Benedetto, 2024). Astroscale, sebagai pelopor komersial ADR global, sebelumnya menguji coba demonstrasi orbital ELSA-D sejak 2021, di mana servicer dan client satellite berhasil melakukan rendezvous dan docking terbatas, membuktikan mekanisme capture dan sistem kontrol thruster yang presisi. Meski re-docking mengalami kendala mesin, eksperimen ini memberi landasan bagi CRD2 Phase II yang direncanakan melakukan penangkapan dan pelepasan debris (Lytvynov, 2024).

Untuk tahap penanganan pasca-misi, Jepang menerbitkan “Guidelines on a License to Operate a Spacecraft Performing On-Orbit Servicing” pada 2021, dokumen regulasi pertama di dunia yang mengatur izin on-orbit servicing, termasuk ADR. Pedoman ini mensyaratkan transparansi operasional, pelaporan kinerja, dan protokol end-of-life yang terinci untuk setiap misi ADR (Astroscale, 2024). Melalui integrasi antara sistem pemantauan mutakhir, standar mitigasi ketat, inovasi teknologi ADR, dan kerangka regulasi progresif, Jepang memposisikan diri sebagai pemimpin global dalam pengelolaan sampah antariksa yang bertanggung jawab dan berkelanjutan. Keberhasilan demonstrasi ADRAS-J dan kolaborasi JAXA–Astroscale menandai tonggak penting menuju realisasi layanan pembersihan orbit komersial, sekaligus memperkuat pondasi teknis dan kebijakan untuk menghadapi tantangan Kessler Syndrome di masa depan.

### **Kebijakan Jepang untuk Pembersihan Sampah Antariksa**

Keberlanjutan eksplorasi antariksa memerlukan strategi jangka panjang yang terintegrasi, memadukan pengembangan teknologi, kerangka kebijakan, dan diplomasi internasional. Jepang memposisikan diri sebagai pelopor dalam mitigasi dan remediasi sampah antariksa melalui inisiatif nasional yang dipimpin JAXA, kolaborasi dengan

sektor swasta seperti Astroscale, serta peran aktif dalam pembentukan norma internasional. Pada periode 2025–2040, rencana Jepang mencakup demonstrasi dan komersialisasi teknologi Active Debris Removal (ADR), penguatan kebijakan nasional, serta kepemimpinan dalam aturan global.

Strategi teknologi dimulai dengan kelanjutan program Commercial Removal of Debris Demonstration (CRD2) milik JAXA. Fase I yang berhasil melibatkan satelit demonstrator ADRAS-J mencapai pendekatan hingga 15 meter pada debris tahap roket H-IIA pada 2024. Fase II diperkirakan berlangsung setelah tahun fiskal 2025, dengan kontrak kemitraan tipe baru yang memungkinkan sektor swasta mengoperasikan dan memonetisasi layanan pembersihan lintasan rendah Bumi, memfokuskan pada deorbitasi puing besar melalui mekanisme penangkapan dan dorongan kembali ke atmosfer. Keberhasilan Fase II akan menyiapkan landasan komersial ADR berskala global, sekaligus menarik investasi korporasi antariksa Jepang hingga internasional.

Selain CRD2, JAXA dan Astroscale merancang misi lanjutan In-situ Space Situational Awareness-Japan 1 (ISSA-J1) di bawah program Small Business Innovation Research Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Olahraga, Ilmu Pengetahuan, dan Teknologi Jepang. ISSA-J1 akan mempelopori teknologi rendezvous dan inspeksi non-kooperatif terhadap debris besar, dengan target penyelesaian tahap desain dan pengujian hingga Maret 2028, lalu demonstrasi deorbitasi awal di orbit rendah (Howell, Astroscale to launch space-junk-removing test mission in 2024, 2022). Misi ini akan menguji sistem pemandu presisi, manipulasi *robotic arm*, dan propulsi *end-of-life* untuk memastikan residual debris dapat dikendalikan kembali ke atmosfer dengan aman.

Pada ranah kebijakan, Pemerintah Jepang memperbarui “Mid - to Long-Term Policy for Rule-Making on the Use of Earth Orbit” melalui Inter-Agency Task Force sejak Maret 2024, menetapkan pedoman regulasi lisensi peluncuran dan operasi satelit yang mencakup kriteria pencegahan pecah di orbit, pelaporan risiko tumbukan, serta rencana pembuangan pasca-misi. Pedoman ini akan direvisi berkala hingga 2030, selaras dengan perkembangan teknologi ADR, untuk memasukkan ketentuan persetujuan on-orbit servicing dan liability share bagi debris removal (Funakoshi, 2025).

Diplomasi internasional menjadi pilar kritik rencana jangka panjang. Pada Juni 2025, Jepang menginisiasi pembentukan “like-minded countries group” di Vienna COPUOS untuk merancang aturan mengikat penghilangan sampah antariksa, termasuk prosedur pengajuan izin pembersihan, proteksi hak milik objek antariksa, dan skema pertanggungjawaban biaya. Jepang berkomitmen mengharmonisasikan hasil diskusi ini dengan pedoman UN COPUOS 2007 dan IADC, serta mendorong adopsi “common but differentiated responsibilities” di antara negara maju dan berkembang dalam mitigasi debris (Muñoz-Patchen, 2018).

Selaras dengan target 2030–2040, Jepang juga memperluas kolaborasi multilateral dan komersial. Astroscale UK diproyeksikan meluncurkan misi ELSA-M pada 2026 untuk deorbitasi beberapa satelit OneWeb, menawarkan model layanan berbayar bagi operator konstelasi besar (Pultarova, 2023). Pada dekade berikutnya, Jepang akan mengintegrasikan hasil demonstrasi ADR dengan program eksplorasi luar angkasa lebih luas, seperti modul sampah pada stasiun bulan internasional dan kunjungan manusia ke orbit rendah. Perspektif 2040 menargetkan sistem ADR berbasis jaringan satelit miniatur otomatis, menggunakan electrodynamic tether (EDT) untuk deorbitasi pasif skala besar, serta standar interoperabilitas debris capture yang diadopsi di lisensi peluncuran global. Jepang bermaksud menempatkan ADR sebagai layanan rutin dalam operasi satelit, serupa dengan jasa life-extension dan refueling di orbit (Funakoshi,

Japan to Lead Charge on International Rules for Space Debris Removal; U.K., N.Z., Developing Countries Eyed as Partners, 2025).

### **Kepentingan Nasional Jepang dalam Pembersihan Space Waste Melalui Perspektif Neorealisme dan Kepentingan Nasional**

Dalam lanskap hubungan internasional yang kompleks dan dinamis, pemahaman terhadap motivasi dan perilaku negara-negara dalam sistem internasional menjadi fundamental bagi analisis politik global. Dua konsep teoretis yang memiliki pengaruh signifikan dalam memahami dinamika tersebut adalah teori kepentingan nasional dan teori neorealisme. Konsep kepentingan nasional telah menjadi salah satu pilar utama dalam studi hubungan internasional sejak kemunculannya dalam pemikiran politik klasik. Hans Morgenthau mendefinisikan kepentingan nasional sebagai tujuan fundamental yang harus dicapai oleh suatu negara untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan mencapai kesejahteraan dalam sistem internasional (Pham, 2015). Pemahaman tradisional tentang kepentingan nasional menekankan bahwa negara, sebagai aktor rasional, akan selalu berupaya memaksimalkan kekuatan dan meminimalkan ancaman terhadap kedaulatan dan integritasnya.

Evolusi konsep kepentingan nasional dalam konteks modern telah mengalami perluasan makna yang signifikan seiring dengan kompleksitas tantangan global kontemporer. Kepentingan nasional tidak lagi terbatas pada aspek keamanan militer dan teritorial, tetapi juga mencakup dimensi ekonomi, teknologi, lingkungan, dan bahkan kekuatan lunak yang mencerminkan pengaruh budaya dan diplomatik suatu negara. Joseph Nye dalam karyanya tentang kekuatan lunak menekankan bahwa kepentingan nasional modern harus mempertimbangkan kemampuan negara untuk mempengaruhi preferensi negara lain melalui daya tarik budaya, nilai-nilai politik, dan kebijakan luar negeri yang legitimat (Davetak & True, 2022). Transformasi ini mencerminkan realitas bahwa dalam era globalisasi, keamanan nasional tidak dapat dicapai semata-mata melalui kekuatan militer, tetapi memerlukan pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan berbagai instrumen kekuatan nasional.

Implementasi kepentingan nasional dalam praktik kebijakan luar negeri melibatkan proses yang kompleks dalam mengidentifikasi, memprioritaskan, dan menerjemahkan kepentingan abstrak menjadi kebijakan konkret. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor domestik termasuk struktur politik, proses pengambilan keputusan, kelompok kepentingan, dan opini publik yang dapat membentuk persepsi elit politik tentang apa yang merupakan kepentingan vital bagi negara. Graham Allison dalam model pengambilan keputusan organisasionalnya menunjukkan bahwa kepentingan nasional sering kali merupakan hasil dari tawar-menawar dan kompromi antara berbagai aktor dan institusi dalam pemerintahan yang memiliki perspektif dan prioritas yang berbeda (Kellerman, 2020).

Kritikus konstruktivis seperti Alexander Wendt berargumen bahwa kepentingan nasional bukanlah sesuatu yang objektif dan dapat ditemukan secara empiris, tetapi merupakan konstruksi sosial yang dibentuk melalui interaksi, norma, dan identitas yang berkembang dalam masyarakat internasional (Guzzini & Leander, 2006). Perspektif ini menekankan bahwa kepentingan nasional tidak dapat dipahami terpisah dari konteks gagasan dan normatif yang membentuk persepsi elit politik tentang ancaman, peluang, dan prioritas nasional. Sementara itu, kritikus dari perspektif ekonomi politik internasional menunjukkan bahwa konsep kepentingan nasional sering kali menyamarkan kepentingan kelas atau kelompok ekonomi tertentu yang memiliki akses istimewa terhadap proses pengambilan keputusan politik (Guzzini & Leander, 2006).

Dalam konteks yang saling terkait dengan kepentingan nasional, teori neorealisme muncul sebagai penyempurnaan dan perluasan sistematis dari realisme klasik yang berupaya memberikan penjelasan yang lebih ketat dan ilmiah tentang perilaku negara dalam sistem internasional. Kenneth Waltz, sebagai arsitek utama teori neorealisme dalam karyanya "Theory of International Politics," mengembangkan pendekatan struktural yang menekankan bahwa perilaku negara dalam sistem internasional ditentukan oleh struktur sistem itu sendiri daripada oleh karakteristik internal negara atau preferensi pemimpin individual (Waltz, 1979). Waltz berargumen bahwa sistem internasional yang anarkis, di mana tidak ada otoritas supranasional yang dapat menegakkan aturan dan menjamin keamanan, menciptakan imperatif struktural yang memaksa negara untuk mengadopsi strategi pertolongan diri dan penyeimbangan kekuatan untuk memastikan kelangsungan hidup mereka (Waltz, 1979).

Struktur sistem internasional dalam teori neorealisme ditentukan oleh tiga elemen fundamental yang saling berinteraksi untuk membentuk perilaku negara. Elemen pertama adalah prinsip pengaturan, yaitu prinsip anarki yang membedakan sistem internasional dari sistem politik domestik yang hierarkis. Elemen kedua adalah diferensiasi fungsional, di mana Waltz berargumen bahwa dalam sistem internasional, negara-negara pada dasarnya memiliki fungsi yang sama sebagai unit berdaulat yang bertanggung jawab untuk keamanan dan kesejahteraan mereka sendiri, berbeda dengan sistem domestik di mana terdapat spesialisasi fungsi yang jelas (Waltz, 1979). Elemen ketiga adalah distribusi kemampuan, yang merujuk pada bagaimana kekuatan material didistribusikan di antara negara-negara dalam sistem, yang menentukan polaritas sistem dan mempengaruhi pola interaksi dan konflik yang mungkin terjadi.

Neorealisme memprediksi bahwa negara-negara akan cenderung melakukan keseimbangan kekuatan terhadap ancaman hegemonik, membentuk aliansi berdasarkan perhitungan kepentingan strategis daripada kedekatan ideologis, dan mengutamakan keuntungan relatif daripada keuntungan absolut dalam interaksi ekonomi internasional. John Mearsheimer, dalam pengembangan realisme ofensif berargumen bahwa kekuatan besar akan secara inheren berupaya memaksimalkan kekuatan mereka dan mencapai hegemoni regional karena ketidakpastian tentang niat negara lain dalam sistem yang anarkis (Mearsheimer, 2001). Prediksi-prediksi ini telah menjadi subjek pengujian empiris yang ekstensif dan perdebatan dalam literatur hubungan internasional kontemporer.

Kritik terhadap sintesis neorealisme dan kepentingan nasional datang dari berbagai perspektif teoretis yang menekankan keterbatasan pendekatan yang berpusat pada negara dalam era globalisasi. Robert Keohane dan Joseph Nye dalam konsep saling ketergantungan kompleks berargumen bahwa peningkatan keterkaitan ekonomi dan teknologi telah mengubah sifat politik internasional, di mana kekuatan militer menjadi kurang relevan dan institusi internasional memainkan peran yang lebih signifikan dalam membentuk perilaku negara (Davetak & True, 2022). Peter Gourevitch menunjukkan bahwa faktor internasional dapat secara signifikan mempengaruhi perkembangan politik domestik, sementara liberalisme dan konstruktivisme menekankan bahwa preferensi dan identitas negara dapat berubah melalui interaksi internasional dan proses sosialisasi (Gourevitch, 1978). Dinamika ini menunjukkan bahwa kepentingan nasional tidak dapat dipahami sebagai tetap dan sudah ditentukan sebelumnya, tetapi muncul dari interaksi kompleks antara proses politik domestik dan kendala struktural internasional.

Dalam konteks pembuatan kebijakan, pemahaman terhadap kedua teori ini memberikan wawasan penting bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan respons strategis terhadap tantangan internasional. Pengakuan terhadap kendala struktural yang diidentifikasi neorealisme dapat membantu pembuat kebijakan dalam menetapkan ekspektasi yang realistik dan menghindari perluasan strategis yang berlebihan, sementara analisis yang cermat terhadap kepentingan nasional dapat memastikan bahwa pilihan kebijakan tetap konsisten dengan tujuan dan nilai fundamental nasional. Sintesis dari kedua pendekatan ini juga dapat membantu dalam mengantisipasi perilaku aktor lain dalam sistem internasional dan mengembangkan strategi tandingan atau kerjasama yang tepat.

Kepentingan nasional memberikan kerangka untuk memahami motivasi dan tujuan yang mendorong perilaku negara, sementara neorealisme menyediakan konteks struktural yang menjelaskan kendala dan peluang yang membentuk pengejaran kepentingan tersebut. Bersama-sama, kedua teori ini menawarkan pendekatan komprehensif untuk menganalisis politik internasional yang tetap relevan untuk memahami tren dan tantangan utama dalam urusan global kontemporer, meskipun aplikasi mereka harus sensitif terhadap sifat sistem internasional yang berubah dan kemunculan bentuk-bentuk baru kekuatan dan tata kelola yang melampaui batas-batas negara tradisional.

Ketiadaan kewajiban hukum internasional yang mengikat bagi Jepang untuk membersihkan sampah antariksa menimbulkan pertanyaan fundamental mengenai motivasi strategis yang mendorong negara tersebut mengalokasikan sumber daya signifikan untuk mengembangkan teknologi pembersihan sampah orbital. Fenomena ini memerlukan analisis mendalam melalui lensa teori hubungan internasional, khususnya teori kepentingan nasional dan neorealisme, untuk memahami bagaimana Jepang merumuskan strategi antariksa yang proaktif dalam konteks struktur sistem internasional yang anarkis. Meskipun tidak terikat oleh instrumen hukum internasional yang eksplisit, Jepang telah mengembangkan program Demonstrasi Penghilangan Sampah Komersial dan berinvestasi miliaran yen dalam teknologi pembersihan orbital, mencerminkan kalkulasi kepentingan nasional yang kompleks dan responsif terhadap tekanan struktural dalam sistem internasional.

Dalam konteks teori kepentingan nasional, pengembangan teknologi pembersih sampah antariksa oleh Jepang dapat dipahami sebagai manifestasi dari evolusi konsepsi kepentingan nasional yang melampaui dimensi keamanan tradisional. Hans Morgenthau dalam formulasi klasiknya tentang kepentingan nasional menekankan bahwa negara akan mengejar tujuan yang memaksimalkan kekuatan dan meminimalkan ancaman terhadap kelangsungan hidup nasional (Pham, 2015). Dalam era kontemporer, kepentingan keamanan nasional telah meluas mencakup keamanan teknologi, akses berkelanjutan terhadap infrastruktur antariksa, dan kemampuan untuk memproyeksikan pengaruh dalam domain strategis baru. Jepang mengidentifikasi bahwa ketergantungan ekonomi dan keamanan nasional terhadap teknologi satelit untuk navigasi, komunikasi, observasi Bumi, dan intelijen menciptakan kerentanan strategis yang signifikan terhadap ancaman sampah antariksa yang dapat mengganggu atau menghancurkan aset orbital vital (Sullivan & Ben-Itzhak, 2023).

Sampah antariksa yang mengorbit Bumi tidak mengenal batas kedaulatan nasional dan dapat mengancam aset satelit milik negara manapun, menciptakan situasi di mana keamanan individual negara terkait erat dengan keamanan kolektif sistem antariksa global. Joseph Nye dalam konseptualisasinya tentang saling ketergantungan kompleks menunjukkan bahwa dalam isu-isu yang bersifat transnasional, kepentingan nasional

tidak dapat dipahami terpisah dari kepentingan sistem yang lebih luas. (Davetak & True, 2022) Jepang mengkalkulasi bahwa investasi dalam teknologi pembersihan sampah antariksa akan memberikan manfaat jangka panjang berupa perlindungan terhadap aset nasional sambil menciptakan posisi kepemimpinan dalam isu global yang semakin kritis (Davetak & True, 2022).

Dimensi ekonomi dari kepentingan nasional Jepang dalam pengembangan teknologi pembersih sampah antariksa mencerminkan strategi untuk menciptakan keunggulan kompetitif dalam industri antariksa masa depan. Jepang mengantisipasi bahwa pembersihan sampah orbital akan menjadi sektor ekonomi yang signifikan seiring dengan peningkatan aktivitas antariksa global dan meningkatnya kesadaran terhadap keberlanjutan lingkungan orbital. Dengan mengembangkan kemampuan teknologi yang canggih dalam penghilangan sampah antariksa, Jepang memposisikan diri untuk menjadi penyedia layanan global dalam sektor yang dapat menghasilkan aliran pendapatan substansial. Program Astroscale yang didukung pemerintah Jepang telah menarik investasi internasional dan menciptakan kemitraan dengan berbagai negara, menunjukkan potensi ekonomi dari kepemimpinan teknologi dalam domain ini (Astroscale, 2024).

Aplikasi teori neorealisme dalam memahami motivasi Jepang mengungkapkan bahwa pengembangan teknologi pembersihan sampah antariksa merupakan respons strategis terhadap struktur sistem internasional yang anarkis dan kompetitif. Kenneth Waltz dalam teori neorealisme struktural menekankan bahwa perilaku negara ditentukan oleh posisi mereka dalam distribusi kekuatan global dan imperatif untuk bertahan hidup dalam sistem yang tidak memiliki otoritas supranasional (Waltz, 1979). Dalam konteks antariksa, Jepang menghadapi tekanan struktural dari dominasi Amerika Serikat dan kebangkitan Tiongkok sebagai kekuatan antariksa besar, menciptakan kebutuhan untuk mengidentifikasi ceruk strategis di mana Jepang dapat mempertahankan relevansi dan pengaruh. Teknologi pembersihan sampah antariksa menawarkan domain di mana Jepang dapat mengembangkan kemampuan yang khas dan berharga bagi komunitas internasional (Dupas, 1988). Amerika Serikat mendominasi kemampuan militer dan eksplorasi antariksa, sementara Tiongkok berkembang pesat dalam kemampuan peluncuran dan stasiun antariksa. Rusia mempertahankan keahlian dalam penerbangan antariksa berawak dan layanan peluncuran. Dalam konteks ini, Jepang mengidentifikasi bahwa kepemimpinan dalam keberlanjutan dan pembersihan orbital dapat menjadi sumber kekuatan lunak dan pengaruh yang signifikan. John Mearsheimer dalam realisme ofensif berargumen bahwa kekuatan besar akan berupaya memaksimalkan kekuatan relatif mereka, dan bagi Jepang, pengembangan teknologi pembersihan sampah antariksa merupakan strategi untuk meningkatkan posisi relatif dalam hierarki kekuatan antariksa global (Mearsheimer, 2001).

Peningkatan kemampuan antariksa oleh kekuatan besar dapat diinterpretasikan sebagai ancaman potensial, menciptakan tekanan untuk mengembangkan tindakan balasan atau kemampuan alternatif. Sampah antariksa dapat digunakan sebagai senjata melalui rangkaian tabrakan yang disengaja, dan proliferasi senjata anti-satelit oleh berbagai aktor menciptakan lingkungan yang semakin mengancam bagi aset antariksa (Benoza, 2024). Dalam konteks ini, kemampuan untuk membersihkan sampah antariksa tidak hanya memberikan manfaat protektif tetapi juga dapat berfungsi sebagai teknologi dwiguna yang dapat digunakan untuk menetralkan ancaman atau melindungi aset kritis. Jepang mengembangkan kemampuan ini sebagai perlindungan terhadap ancaman potensial dalam domain yang semakin diperlukan.

Sebagai sekutu utama Amerika Serikat di kawasan Asia-Pasifik, Jepang menghadapi harapan untuk berkontribusi terhadap keamanan kolektif dan tanggung jawab bersama dalam menghadapi tantangan transnasional. Program kemitraan antariksa Amerika Serikat-Jepang mencakup kolaborasi dalam kesadaran situasional antariksa dan pelacakan sampah antariksa, menciptakan kerangka kerja di mana kontribusi Jepang dalam penghilangan sampah antariksa dapat memperkuat nilai aliansi dan menunjukkan beban bersama dalam mempertahankan keamanan antariksa (Koga, 2023). Kontribusi ini memberikan Jepang modal politik dan pengaruh dalam proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan kebijakan antariksa di tingkat aliansi maupun multilateral.

Kompetisi geopolitik di kawasan Asia-Pasifik juga menciptakan imperatif bagi Jepang untuk mengembangkan kemampuan khas yang dapat memperkuat posisi strategis terhadap pesaing regional. Kebangkitan Tiongkok sebagai kekuatan antariksa yang asertif menciptakan kekhawatiran bagi Jepang tentang potensi dominasi Tiongkok dalam domain antariksa yang dapat mempengaruhi keseimbangan kekuatan regional (Kucukdegirmenci, 2024). Dengan mengembangkan kepemimpinan dalam keberlanjutan antariksa dan penghilangan sampah antariksa, Jepang menawarkan model alternatif untuk pengembangan antariksa yang menekankan kerjasama internasional dan perilaku bertanggung jawab, berbeda dengan pendekatan yang dipersepsikan sebagai sepahak dan berpotensi mengancam dari Tiongkok. Strategi ini memungkinkan Jepang untuk membangun koalisi dan kemitraan dengan negara-negara yang memiliki kekhawatiran serupa tentang keberlanjutan antariksa.

Dimensi institusional dan normatif dari neorealisme kontemporer juga mempengaruhi kalkulasi strategis Jepang dalam penghilangan sampah antariksa. Meskipun sistem internasional bersifat anarkis, institusi dan norma dapat mempengaruhi perilaku negara dengan menciptakan incentif reputasi dan memfasilitasi kerjasama. Jepang mengantisipasi bahwa rezim internasional untuk keberlanjutan antariksa akan berkembang di masa depan, dan kepemimpinan awal dalam teknologi penghilangan sampah antariksa akan memberikan keuntungan dalam membentuk aturan dan standar yang menguntungkan kepentingan Jepang. Partisipasi aktif dalam Komite Koordinasi Sampah Antariksa Antar-Agenzi dan proposal untuk standar internasional dalam mitigasi sampah antariksa mencerminkan strategi untuk menjadi pengusaha norma yang dapat mempengaruhi pengembangan kerangka kerja tata kelola internasional (Kallender-Umezu, 2013).

Saling ketergantungan ekonomi dalam ekonomi antariksa global juga menciptakan peluang strategis yang dapat dieksplorasi melalui kepemimpinan dalam teknologi penghilangan sampah antariksa. Proliferasi aktivitas antariksa komersial dan munculnya ekonomi antariksa baru menciptakan permintaan untuk layanan yang dapat memastikan keberlanjutan jangka panjang operasi antariksa (Adhazar, Suhaidi, Sutiarnoto, & Leviza, 2022). Jepang mengkalkulasi bahwa investasi awal dalam kemampuan penghilangan sampah antariksa akan menciptakan keuntungan sebagai pelopor dalam pasar yang diproyeksikan tumbuh signifikan dalam dekade mendatang. Aliran pendapatan dari layanan penghilangan sampah antariksa komersial dapat mengimbangi biaya pengembangan sambil menciptakan ketergantungan yang memberikan Jepang pengaruh dalam diskusi tata kelola antariksa internasional.

Jepang mengidentifikasi bahwa investasi dalam teknologi antariksa terdepan dapat mempercepat inovasi dalam industri domestik dan mempertahankan daya saing teknologi terhadap ekonomi maju lainnya (Muñoz-Patchen, 2018). Pendekatan ini

konsisten dengan kebijakan industri Jepang yang secara historis menekankan pengembangan teknologi sebagai sumber keunggulan kompetitif.

Pertimbangan waktu strategis juga mempengaruhi keputusan Jepang untuk secara proaktif mengembangkan kemampuan penghilangan sampah antariksa sebelum adanya kewajiban hukum internasional. Kesabaran strategis dan perencanaan jangka panjang yang merupakan karakteristik pembuatan kebijakan Jepang memungkinkan investasi dalam teknologi yang mungkin tidak langsung menguntungkan tetapi strategis berharga dalam jangka panjang (Abdelhamid & Wang, 2024). Pengembangan teknologi pembersih sampah antariksa oleh Jepang meskipun tanpa kewajiban hukum internasional yang eksplisit merupakan manifestasi dari kalkulasi strategis yang canggih yang menggabungkan pertimbangan kepentingan nasional tradisional dengan adaptasi terhadap tekanan struktural dalam sistem internasional kontemporer. Melalui lensa teori kepentingan nasional, inisiatif ini mencerminkan evolusi konsep keamanan nasional untuk mencakup kedaulatan teknologi, daya saing ekonomi, dan proyeksi kekuatan lunak dalam domain strategis yang muncul. Perspektif neorealisme mengungkapkan bahwa strategi Jepang merupakan respons rasional terhadap distribusi kekuatan dalam domain antariksa, dilema keamanan yang muncul, dan peluang untuk memperoleh keunggulan komparatif dalam sistem internasional yang anarkis. Sintesis dari kedua kerangka teoretis ini mendemonstrasikan bahwa perilaku negara dalam hubungan internasional kontemporer tidak dapat dipahami semata-mata melalui kewajiban hukum formal, tetapi memerlukan apresiasi terhadap interaksi kompleks antara kepentingan nasional, kendala struktural, dan peluang strategis yang membentuk pengambilan keputusan dalam isu tata kelola global yang baru dan berkembang.

## **Kesimpulan dan Saran**

### **Kesimpulan**

Sampah antariksa telah berkembang menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan operasi satelit dan misi luar angkasa di orbit rendah Bumi, dengan lebih dari 14.000 potongan puing berukuran mulai dari mikrometer hingga beberapa meter, menciptakan risiko tabrakan yang dapat menimbulkan kerugian finansial hingga miliaran dolar serta gangguan layanan penting seperti komunikasi, navigasi, dan pemantauan cuaca; dominasi puing besar di tangan tiga kekuatan utama—Rusia (termasuk warisan Uni Soviet), Amerika Serikat dan Tiongkok — sementara negara-negara lain seperti Prancis, India, dan Jepang menempati posisi jauh di belakang, menunjukkan disparitas kontribusi dan kapasitas mitigasi; Jepang memanfaatkan peluang strategis melalui pendirian Space Strategic Fund dan kemitraan dengan sektor swasta (misalnya Astroscale) untuk mengembangkan teknologi pembersihan sampah antariksa *dual-use*, yang tidak hanya berfungsi untuk menghilangkan puing mengapung tetapi juga berpotensi dialihfungsikan untuk tujuan keamanan antariksa, sejalan dengan redefinisi konstitusional tentang “tujuan damai” menjadi “non-agresif” dan peningkatan peran domain antariksa dalam pertahanan nasional; transformasi kebijakan ini mencerminkan kesadaran Jepang akan kerentanan strategis nasional akibat ketergantungan pada infrastruktur satelit dan keinginan untuk memposisikan diri sebagai pemimpin tata kelola antariksa berbasis soft power teknologi, yang sekaligus meningkatkan reputasi dan daya tawar diplomatiknya; pendekatan multilapis, mencakup investasi, kerangka hukum, dan kolaborasi internasional, menandai model bagi negara-negara kekuatan menengah dalam memanfaatkan inovasi antariksa untuk mencapai pengaruh global, dengan implikasi penting bagi literatur diplomasi antariksa dan keamanan teknologi *dual-use* di masa mendatang.

## **Saran**

Pertama, Jepang perlu memperluas cakupan Space Strategic Fund dengan meningkatkan alokasi anggaran untuk penelitian dan pengembangan metode pembersihan sampah antariksa non-kontak seperti *laser debris removal*; kedua, pemerintah harus memperkuat kerangka regulasi domestik dengan menetapkan persyaratan desain satelit ramah lingkungan sebagai syarat perizinan peluncuran, sambil mendorong standar internasional melalui kerjasama di Perserikatan Bangsa-Bangsa dan kelompok antar-pemerintah seperti IADC untuk mencegah eskalasi kompetisi ASAT yang memicu lonjakan sampah; ketiga, Jepang sebaiknya memperdalam kemitraan riset publik-swasta dengan memberikan insentif pajak dan dana ventura bagi startup antariksa yang berfokus pada teknologi pembersihan puing, sekaligus mendirikan konsorsium riset multinasional yang memfasilitasi pertukaran data pelacakan orbit real-time dan simulasi dinamika tabrakan; keempat, diperlukan pengembangan program pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia khusus dalam keamanan antariksa yang memadukan aspek teknis, kebijakan, dan hukum internasional, guna membangun ekosistem profesional yang mampu merancang solusi inovatif dan respons cepat terhadap insiden tabrakan; kelima, komitmen diplomatik Jepang harus diperkuat melalui inisiatif *soft power* seperti penyediaan mission-sharing platform bagi negara berkembang, program bantuan teknis, dan penyelenggaraan forum pengelolaan sampah antariksa tahunan di Tokyo, yang akan memperkuat posisi Jepang sebagai pemimpin tata kelola antariksa yang bertanggung jawab sekaligus membuka pasar ekspor teknologi *dual-use*.

## **Daftar Pustaka**

- Abdelhamid, M., & Wang, G. (2024). Addressing the Liability Regime in the Space Convention: A Legal Reformation of the Concept of Damage and Its Application to Private Entities. *US-China Law Review*, Vol. 21 (2), 41-54.
- Adhazar, V., Suhaidi, Sutiarnoto, & Leviza, J. (2022). Tanggung Jawab Negara Atas Digunakannya Senjata Space-Based Missile Interceptor Sebagai Bentuk Upaya Self-Defense dari Negara Penyerang Terhadap Negara Pihak Ketiga Ditinjau dari Hukum Internasional. *Res Nullius*, Vol. 4 (1), 100-126.
- Afrizal. (2019). *Metode Penelitian Kualitatif: Sebuah Upaya Mendukung Penggunaan Penelitian Kualitatif dalam Berbagai Disiplin Ilmu* (4th ed.). Rajawali.
- Agius, M. W. (2025, April 4). Bagaimana Membersihkan Jutaan Keping Sampah Antariksa? Retrieved from dw.com: <https://www.dw.com/id/bagaimana-membersihkan-sampah-antariksa/a-72129475>
- Arba, A. (2025, Januari 30). Number of spacecraft launches executed by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) from 2005 to 2024. Retrieved from statista.com: <https://www.statista.com/statistics/1293163/japan-number-spacecraft-launches-jaxa/>
- Astroscale. (2024, Desember 11). Astroscale's ADRAS-J Achieves Historic 15-Meter Approach to Space Debris. Retrieved from astroscale.com: <https://astroscale.com/astroscales-adras-j-achieves-historic-15-meter-approach-to-space-debris/>

- Astroscale. (2024, Juni 14). Historic Approach to Space Debris: Astroscale's ADRAS-J Closes in by 50 Meters. Retrieved from astroscale.com: <https://astroscale.com/historic-approach-to-space-debris-astroscales-adras-j-closes-in-by-50-meters/>
- Bachtiar, A. (2020, Mei 13). Kosmos 954, Satelit Nuklir yang Jatuh dari Luar Angkasa. Retrieved from kumparan.com: <https://kumparan.com/absal-bachtiar/kosmos-954-satelit-nuklir-yang-jatuh-dari-luar-angkasa-1tPBQ8zLeP1>
- Benoza, K. (2024, Juli 1). Japan successfully puts advanced satellite into orbit using H3 rocket. Retrieved from japantimes.co.jp: <https://www.japantimes.co.jp/news/2024/07/01/japan/science-health/jaxa-h3-rocket-alos4/>
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Burke, J. A. (1984). Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects: Definition and Determination of Damages After the Cosmos 954 Incident. *Fordham International Law Journal*, Vol. 8 (2), 255-285.
- Carlo, A., & Breda, P. (2024). Impact of space systems capabilities and their role as critical infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*.
- Cepelka, C., & Gilmour, J. H. (1970). The Application of General International Law in Outer Space. *Journal of Air Law and Commerce*, Vol. 36 (1), 30-49.
- CNN Indonesia. (2021, November 20). Mengenal Kessler Syndrome, Tabrakan Antar Objek di Orbit Bumi. Retrieved from cnnindonesia.com: <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20211119152513-199-723525/mengenal-kessler-syndrome-tabrakan-antar-objek-di-orbit-bumi>
- Cohent, A. F. (1984). Cosmos 954 and the International Law of Satellite Accidents. *Yale Journal of International Law*, Vol. 10 (78), 78-91.
- Dart, C. (2022, November 14). In 1978, a Soviet satellite exploded over traditional Dené land. Its effects are still felt today. Retrieved from cbc.ca: <https://www.cbc.ca/arts/operation-morning-light-podcast-soviet-satellite-exploded-traditional-dene-land-1.6650994>
- Davetak, R., & True, J. (2022). *Theories of International Relations* 6th Edition. London: Bloomsbury Publishing.
- Deffree, S. (2019, Januari 24). Satellite scatters radioactive debris over Canada, January 24, 1978. Retrieved from edn.com: <https://www.edn.com/satellite-scatters-radioactive-debris-over-canada-january-24-1978/>
- Dey, M., & Jambhale, R. (2025, Maret 28). (Japan Aerospace Exploration Agency) JAXA Statistics and Facts (2025). Retrieved from sci-tech-today.com: <https://www.sci-tech-today.com/stats/jaxa-statistics/>
- Dupas, A. (1988). Asia in space: The awakening of China and Japan. *Space Policy*, Vol. 4(1), 31-40.
- Elvera, & Astarina, Y. (2021). *Metode Penelitian* (1st ed.). Penerbit Andi.

- ESPI. (2023). On-orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing. Vienna: European Space Policy Institute (ESPI).
- Funakoshi, S. (2025, Juni 25). Japan to lead charge on international rules for space debris removal. Retrieved from asianews.network: <https://asianews.network/japan-to-lead-charge-on-international-rules-for-space-debris-removal/>
- Funakoshi, S. (2025, Juni 20). Japan to Lead Charge on International Rules for Space Debris Removal; U.K., N.Z., Developing Countries Eyed as Partners. Retrieved from yomiuri.co.jp: <https://japannews.yomiuri.co.jp/science-nature/science/20250620-265126/>
- Gadgets 360. (2025, Februari 5). Japan's First Space Launch of 2025 Sends Michibiki 6 Navigation Satellite into Orbit. Retrieved from gadgets360.com: <https://www.gadgets360.com/science/news/japan-s-first-space-launch-of-2025-sends-michibiki-6-navigation-satellite-into-orbit-7622239>
- Gourevitch, P. (1978). The Second Image Reversed: The International Sources of Domestic Politics. *International Organization*, Vol. 32(4), 881-912.
- Grand View Research. (2024). Space Debris Monitoring And Removal Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Space Debris Removal, Space Debris Monitoring), By Debris Size, By End Use, By Orbit Type (LEO, GEO), By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2033. Retrieved from grandviewresearch.com: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/space-debris-monitoring-removal-market-report>
- Guzzini, S., & Leander, A. (2006). Constructivism and International Relations. London: Routledge.
- Hidayat, A., Lestari, M. M., & Diana, L. (2023). Urgensi Modernisasi Hukum Ruang Angkasa Tentang Aktivitas Eksplorasi dan Eksploitasi Sumber Daya di Bulan Sebagai Pengembangan dari The Moon Agreement 1979. *Jurnal Cahaya Mandalika*, Vol. 4(3), 1576-1587.
- Howell, E. (2020, November 30). Japan launches advanced relay satellite with laser communications tech into orbit. Retrieved from space.com: <https://www.space.com/jaxa-launches-laser-communications-satellite>
- Howell, E. (2022, Juni 20). Astroscale to launch space-junk-removing test mission in 2024. Retrieved from space.com: <https://www.space.com/astroscale-test-mission-satellite-2024>
- Iqbal, F. M., & Oktaviani, J. (2024). Liabilitas Negara Atas Sampah Antariksa oleh Negara Peluncur dalam Kegiatan Keruangan Angkasa Berdasarkan Hukum Internasional. *Jurnal Yustitia*, Vol. 10 (2), 201-221.
- Jewett, R. (2020, Oktober 16). 5 Japanese Space Startups to Watch. Retrieved from satellitetoday.com: <https://interactive.satellitetoday.com/5-japanese-space-startups-to-watch/>
- Jiji. (2025, Maret 26). Japanese startups driving space development. Retrieved from japantimes.co.jp: <https://www.japantimes.co.jp/news/2025/03/26/japan/japan-startups-space-development/>

- Jolly, C., & Undseth, M. (2024, Juli 5). Managing space debris to protect our access to the stars. Retrieved from oecd.org: <https://www.oecd.org/en/blogs/2024/07/managing-space-debris-to-protect-our-access-to-the-stars.html>
- Jones, A. (2023, Agustus 16). Japan's Interstellar Technologies aims to launch 1st orbital rocket in 2025. Retrieved from space.com: <https://www.space.com/japan-interstellar-technologies-debut-orbital-launch-2025>
- Kallender-Umezu, P. (2013). Enacting Japan's Basic Law for space activities: Revolution or evolution? *Space Policy*, Vol. 29 (1), 28-34.
- Kawasaki. (2019, Oktober 4). Kawasaki Establishes Satellite Ground Station to Pursue Space Debris Removal Operations. Retrieved from kawasaki.com: [https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail/?f=20191004\\_8919](https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail/?f=20191004_8919)
- Kellerman, B. (2020). *Allison Redux: Three More Decision-Making Models*. The University of Chicago Press Journals, Vol. 15(3).
- Kluger, J. (2022, Agustus 5). Falling Space Debris Is a Bigger Menace Than Ever. Retrieved from time.com: <https://time.com/6203176/space-debris-chinese-rocket-spacex/>
- Koga, K. (2023, Oktober 30). Japan's Role in the Quad: Clarifying the Institutional Division of Labor in a Free and Open Indo-Pacific. Retrieved from nbr.org: <https://www.nbr.org/publication/japans-role-in-the-quad-clarifying-the-institutional-division-of-labor-in-a-free-and-open-indo-pacific/>
- Komiya, K., & Bhattacharjee, N. (2025, Maret 21). Japan's space debris firm Astroscale to tie up with India's Digantara, Bellatrix Aerospace. Retrieved from reuters.com: <https://www.reuters.com/technology/space/japans-space-debris-firm-astroscale-tie-up-with-indias-digantara-bellatrix-2025-03-21/>
- Kucukdegirmenci, O. (2024). China's Rise, China's Regional Initiatives, and Japan's Perception of China. In O. Kucukdegirmenci, In: *The Shifting Sands of Japan's Security Landscape* (pp. 169-202). Singapore: Palgrave Macmillan.
- Larsen, P. B. (2018). Solving the Space Debris Crisis. *Journal of Air Law and Commerce*, Vol. 90 (2), 475-502.
- Letizia, F., Virgili, B. B., & Lemmens, S. (2023). Assessment of orbital capacity thresholds through long-term simulations of the debris environment. *Advances in Space Research*, Vol. 72 (7), 2552-2569.
- Lively, M. (2025). It's Time to Take Out the Trash: Does Article IX of the Outer Space Treaty Require the Development of Active Debris Removal Technologies? *Arizona Journal of Environmental Law and Policy*, Vol. 15 (2), 148-166.
- Long, J., & Huang, C. (2024). Obligations and liabilities concerning the active removal of foreign space debris: A global governance perspective. *Acta Astronautica*, Vol. 222, 422-435.
- Luke, C. (2021, September 6). Explainer: What Is Space Junk and How Does It Affect the Environment? Retrieved from earth.org: <https://earth.org/space-junk-what-is-it-what-can-we-do-about-it/>

- Lytvynov, M. (2024, Februari 19). Rocket Lab launches an inspection satellite to examine space debris. Retrieved from [universemagazine.com: https://universemagazine.com/en/rocket-lab-launches-an-inspection-satellite-to-examine-space-debris/](https://universemagazine.com/en/rocket-lab-launches-an-inspection-satellite-to-examine-space-debris/)
- Massimi, F., Ferrara, P., Petrucci, R., & Benedetto, F. (2024). Deep learning-based space debris detection for space situational awareness: A feasibility study applied to the radar processing. *IET Radar Sonar Navig*, Vol. 18(4), 635-648.
- Mearsheimer, J. J. (2001). *The Tragedy of Great Power Politics*. London: W. W. Norton & Company.
- Mori, H., & Noguchi, S. (2024, Desember 20). How Japan can remain a star player in the space sector. Retrieved from [weforum.org: https://www.weforum.org/stories/2024/12/space-industry-japan-growth/#:~:text=Currently%20Japan's%20space%20industry%20is,in%20the%20next%2010%20years.](https://www.weforum.org/stories/2024/12/space-industry-japan-growth/#:~:text=Currently%20Japan's%20space%20industry%20is,in%20the%20next%2010%20years.)
- Muñoz-Patchen, C. (2018). Regulating the Space Commons: Treating Space Debris as Abandoned Property in Violation of the Outer Space Treaty. *Chicago Journal of International Law*, Vol. 19 (1), 233-259.
- Pham, J. P. (2015). What Is in the National Interest? Hans Morgenthau's Realist Vision and American Foreign Policy. *American Foreign Policy Interests*, Vol. 37(4), 187-193.
- Power, E., & Keeling, A. (2018). Cleaning up Cosmos: Satellite Debris, Radioactive Risk, and the Politics of Knowledge in Operation Morning Light. *The Northern Review*, 48, 81-109.
- Pramana, I. B., & Yasa, M. M. (2022). Pertanggungjawaban Negara dan Penanganan Sampah Ruang Angkasa (Space Debris) Menurut Hukum Internasional. *Jurnal Kertha Desa*, Vol.10 (6), 403-414.
- Pultarova, T. (2023, Agustus 8). Astroscale aims to capture old space junk with robotic arm in 2026 (exclusive video). Retrieved from [space.com: https://www.space.com/astroscale-space-junk-removal-2026-plan-exclusive-video](https://www.space.com/astroscale-space-junk-removal-2026-plan-exclusive-video)
- Rainbow, J. (2023, Februari 27). [spacenews.com](https://spacenews.com/mitsubishi-makes-strategic-investment-in-astroscales-76-million-funding-round/). Retrieved from Mitsubishi makes strategic investment in Astroscale's \$76 million funding round: <https://spacenews.com/mitsubishi-makes-strategic-investment-in-astroscales-76-million-funding-round/>
- Reesman, R., & Rogers, A. (2018). *In Your Space: Rendezvous and Proximity Operations Lessons*. The Aerospace Corporation.
- Sarro, F. (2023, September 22). Anarchy: What's Behind the Key Driver of Political Risk in Outer Space? Retrieved from [global-strategy.org: https://global-strategy.org/anarchy-whats-behind-the-key-driver-of-political-risk-in-outer-space/](https://global-strategy.org/anarchy-whats-behind-the-key-driver-of-political-risk-in-outer-space/)
- Schwartz, B., & Berlin, M. L. (1982). After the Fall: An Analysis of Canadian Legal Claims for Damage Caused by Cosmos 954. *McGill Law Journal*, Vol.27 (4).

- Shah, P. (2023, Agustus 4). Visualizing the World's Space Debris by Country Responsible. Retrieved from visualcapitalist.com: <https://www.visualcapitalist.com/cp/space-debris-by-country/>
- Sipiera, P. P., & Kähler, K. N. (2024). Space debris. Retrieved from ebsco.com: <https://www.ebsco.com/research-starters/astronomy-and-astrophysics/space-debris>
- Soucek, A., & Tapió, J. (2019). National Implementation of Non-Legally Binding Instruments: Managing Uncertainty in Space Law? *Air and Space Law*, Vol. 44 (6), 565-582.
- Space News. (2020, Februari 6). UNOOSA and Japan join forces to address space debris challenge. Retrieved from spacenews.com: <https://spacenews.com/unoosa-and-japan-join-forces-to-address-space-debris-challenge/>
- Spherical Insights. (2023, Mei). Japan Space Exploration Market Insights Forecasts to 2032. Retrieved from sphericalinsights.com: <https://www.sphericalinsights.com/reports/japan-space-exploration-market>
- Stansbery, G., & Johnson, N. L. (2013). Orbital Debris: Past, Present, and Future. Retrieved from nasa.gov: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130000305>
- Sullivan, K., & Ben-Itzhak, S. (2023). Securing the Space Domain with Active Orbital Debris Removal: Lessons from Europe and Japan Towards a U.S. Strategy. *Astropolitics*, Vol. 21(2-3), 127-149.
- The European Space Agency. (2025, Juni 26). Space debris by the numbers. Retrieved from esa.int: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/Space\\_debris\\_by\\_the\\_numbers](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers)
- The Planetary Society. (2025, Januari 13). The Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Retrieved from planetary.org: <https://www.planetary.org/the-japan-aerospace-exploration-agency-jaxa>
- Vijayakumar, A. (2020, Januari 25). To Infinity and Beyond: Japan's Rise as a Space Power. Retrieved from thediplomat.com: <https://thediplomat.com/2020/01/to-infinity-and-beyond-japans-rise-as-a-space-power/>
- Waltz, K. N. (1979). *Theory of International Politics*. London: Addison-Wesley Publishing Company.
- Werner, D. (2024, April 24). Major changes approved for ClearSpace-1 mission. Retrieved from spacenews.com: <https://spacenews.com/major-changes-approved-for-clearspace-1-mission/>
- Widodo, M., & Miano, M. R. (2024). Konsep Common but Differentiated Responsibility and Respective Capabilities (CBDR-RC): Upaya Mitigasi Pasif Terhadap Sampah Antariksa. *Binamulia Hukum*, Vol. 13 (1), 11-24.