

BAB 2

GAMBARAN UMUM KEBIJAKAN MITIGASI SAMPAH ANTARIKSA TIONGKOK

2.1 Konsep Sampah Antariksa dan Tanggung Jawab Negara

2.1.1 Konsep Sampah Antariksa

Perkembangan aktivitas antariksa telah mengalami signifikansi dalam beberapa dekade terakhir mulai dari Amerika Serikat dan Rusia sebagai negara yang sudah mapan dalam meluncurkan agenda antariksa kemudian diikuti juga oleh negara-negara lainnya seperti halnya Tiongkok, India, dan Arab Saudi. Aktivitas ini menimbulkan berbagai masalah sebagai dampak dari kegiatan eksplorasi negara-negara terkait yang di mana hal ini salah satunya memunculkan masalah lingkungan, yaitu khususnya mengenai sampah antariksa. Sampah antariksa diterjemahkan dari dalam bahasa Inggris dengan berbagai istilah seperti halnya *space debris* dan *orbital debris*. Dalam tulisan ini, penulis menggunakan istilah sampah antariksa dengan tujuan mensimplifikasi dan menggeneralisasi kedua istilah padanan bahasa Inggris tersebut. Istilah “sampah antariksa” lahir sejak peristiwa peluncuran satelit pertama yaitu sputnik 1 pada tahun 1957 milik Uni Soviet dengan misi yang bertujuan untuk menempatkan satelit buatan manusia pertama di orbit bumi. Pada tahun 1961, angkatan udara Amerika menemukan setidaknya terdapat 60 entitas sampah antariksa hasil dari aktivitas peluncuran satelit sputnik.

Pada tahun yang sama, Amerika Serikat meluncurkan Proyek West Ford yaitu proyek peluncuran infrastruktur komunikasi militer di ruang angkasa yang dimana berdampak terhadap munculnya sampah antariksa baru secara signifikan

menjadi 300 entitas hingga. Sampah antariksa akhirnya mengalami peningkatan dari segi kuantitas seiring dengan berjalannya waktu. Pasca Proyek tersebut selesai, jumlah kuantitas sampah antariksa mencapai 1300 entitas. Era perang dingin pada tahun 1970-1980an yang melahirkan perlombaan teknologi antariksa mendorong berbagai eksperimen serta aktivitas antariksa yang bertambah. Tidak hanya terbatas pada teknologi militer melainkan juga terdapat perkembangan seperti halnya di sektor komersial yang meliputi peluncuran satelit komunikasi, pengamatan bumi, serta navigasi. Banyaknya satelit atau muatan yang diluncurkan ke antariksa berdampak terhadap meningkatnya juga potensi akan adanya tabrakan antar entitas. Kekhawatiran akan tumbukan antar entitas di ruang angkasa terjadi pada tahun 1978 yang ditandai dengan insiden meledaknya satelit Soviet Cosmos 954. Insiden yang terjadi akibat sampah antariksa mulai bermunculan pasca tahun 1978. Kondisi tersebut menyadarkan Tiongkok, sebagai salah satu aktor diplomasi antariksa, untuk turut berkontribusi terhadap “kesadaran lingkungan” di ruang antariksa. Pada tahun 2007, Tiongkok melakukan uji senjata anti satelit dengan cara menghancurkan satelit cuaca Fengyun 1C dengan harapan merubah ukuran sampah satelit tersebut menjadi debu mikroskopis yang tidak membahayakan antariksa. Namun, fakta dilapangan justru berbeda dengan harapan. Didapati bahwa uji coba tersebut menghasilkan lebih dari 3000 fragmen. Selang 2 tahun pasca uji coba, terjadi lagi tabrakan antara satelit Iridium 33 milik Amerika Serikat dan satelit Cosmos 2251 milik Rusia yang di mana menghasilkan sekitar 2000 fragmen. Insiden iridium 33 merupakan insiden pertama yang tidak terjadi secara sengaja oleh manusia

merupakan tanda awal lahirnya kesadaran masyarakat global terhadap isu sampah antariksa (Finkleman, 2013).

Dari berbagai insiden yang terjadi, para sarjana mencoba mendefinisikan konsep *sampah antariksa* dan juga mengklasifikasikan sampah antariksa dalam beberapa kategori. Pada umumnya sampah antariksa merujuk kepada objek-objek buatan manusia yang berada di orbit bumi namun sudah tidak berfungsi lagi, seperti halnya satelit atau muatan lain yang sudah tidak berfungsi (*inactive payloads*). Di antariksa, ditemukan terdapat 20% populasi *inactive payloads* dari total debris yang terdeteksi. Disamping itu, adapun objek yang terkait dengan aktivitas antariksa seperti halnya badan roket motor apogee perangkat operasional tangki bahan bakar dan limbah beku yang mencakup sekitar 26% dari populasi sampah antariksa (*operational debris*), puing-puing fragmentasi yang dihasilkan dari tabrakan atau ledakan yang disengaja maupun tidak disengaja di sekitar orbit yang mencakup populasi sekitar 49% dari total populasi sampah antariksa (*fragmentation debris*), serta partikel-partikel kecil yang berasal dari lapisan perangkat antariksa yang terkelupas bahan bakar padat yang ditinggalkan dengan ukuran 1 hingga 100 mikron yang sangat sulit untuk dilacak (*micro particulate debris*) (Diaz, 1993).

Sampah antariksa yang berasal dari berbagai entitas tersebut dapat dikategorisasikan berdasarkan posisi rotasinya yang berada di lingkaran orbit rendah bumi atau LEO (Low Earth Orbit) maupun lingkaran orbit geostasioner GEO. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa sampah antariksa yang berasal dari pada suatu entitas, misalnya ledakan dari roket yang sudah tidak berfungsi, tidak

serta merta hanya berada di wilayah LEO, namun dapat ditemukan juga beberapa partikelnya di wilayah GEO. Hal ini menandakan bahwa sampah antariksa memiliki karakteristik distribusi yang tidak merata dikarenakan posisi di mana wilayah mereka berada. Di wilayah LEO sampah antariksa dapat berevolusi mengikuti bumi dengan kecepatan yang sangat tinggi yaitu sekitar 7 km per detik (Chen, 2011). Kondisi tersebut membuat sampah antariksa menjadi objek yang ukuran kecil dengan ukuran 1 mm hingga 1 cm namun dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan apabila bertabrakan dengan entitas lainnya seperti halnya satelit atau pesawat antariksa. Di wilayah GEO dalam beberapa kondisi ditemukan berbagai sampah antariksa dengan ukuran cukup besar yaitu sekitar lebih dari 10 cm. Ancaman terhadap satelit artifisial ditemukan seiring dengan sampah antariksa yang cenderung terkonsentrasi distribusinya di daerah GEO. Hal ini membuat sampah antariksa menjadi perhatian bagi kalangan sarjana.

Di samping kategorisasi sampah antariksa berdasarkan posisi orbitalnya, para sarjana juga mengkategorisasikan sampah antariksa berdasarkan ukurannya diantaranya sebagai berikut :

No.	Ukuran	Contoh
1.	Di atas 1 meter	satelit, komponen roket, komponen Rover, dan modul stasiun luar angkasa.
2.	10 cm – 1 meter	Perangkat komunikasi, tabung oksigen, dll
3.	1-10 cm	Serpihan akibat ledakan atau tumbukan
4.	1 mm - 1 cm	Serpihan dari serpihan akibat ledakan atau tumbukan

2.1.2 Prinsip Tanggung jawab Negara

Dalam dua dekade terakhir, kontestasi politik internasional dengan pengembangan program antariksa gencar dilakukan oleh berbagai negara. Negara-negara kekuatan baru seperti halnya India, Qatar, Arab Saudi, serta Korea Selatan turut meramaikan berbagai program eksplorasi antariksa. Perkembangan ini menunjukkan adanya antusiasme masyarakat internasional terhadap sektor antariksa. Sejumlah agenda peluncuran roket, eksplorasi objek antariksa pun digaungkan dengan Pesawat maupun roket antariksa sebagai akomodasinya. Perangkat pendukung eksplorasi antariksa umumnya digunakan dalam kurun waktu tertentu yang dimana hal ini menyebabkan perangkat yang tidak lagi digunakan menjadi sampah antariksa. Sampah antariksa tersebut berpotensi menimbulkan resiko tabrakan dan dapat menjadi ancaman bagi berbagai program eksplorasi antariksa yang berkelanjutan (Horsford, 1971). Dalam hal ini, hukum internasional menjadi salah satu instrumen penegakan hukum untuk menjaga kondusifitas eksplorasi luar angkasa.

Prinsip tanggung jawab negara yang merupakan salah satu konsep dalam sistem hukum internasional merupakan salah satu prinsip yang menegaskan bahwa setiap negara harus mempertanggungjawabkan setiap tindakan yang dilakukannya di luar batas yurisdiksi wilayahnya tersendiri. Sejumlah pelanggaran internasional didapati telah mengakibatkan berbagai konflik sehingga tanggung jawab negara merupakan salah satu instrumen preventif dan reaktif untuk menyelesaikan sengketa antar negara (Crawford, 2002). Dalam implementasinya, prinsip tersebut terdiri dari tiga unsur yang menjadi dasar

norma nya diantaranya yaitu; 1) Pelanggaran terhadap kewajiban internasional yang meliputi perjanjian internasional, hukum kebiasaan, dan prinsip-prinsip umum hukum. Unsur ini telah dikodifikasi oleh International Law Commission (ILC) (Crawford, 2002), 2) Hubungan Kausal antara Pelanggaran dan Kerugian yang didapati oleh pihak lain seperti halnya peluncuran satelit yang lalai menghasilkan pecahan yang menabrak satelit lain, maka keterkaitan kausal tersebut menjadi dasar pertanggungjawaban negara pengirim satelit (Horsford, 1971), 3) Unsur Kesalahan atau Kelalaian yang menyebabkan kerugian baik yang disebabkan oleh tindakan disengaja atau ataupun disengaja, maka negara tersebut wajib memberikan reparasi sesuai mekanisme hukum yang berlaku (Paraschiv, 2013).

Dari segi sumber hukum, tanggung jawab negara memiliki tiga sumber utama yang terdiri dari 1) Perjanjian Internasional dan Konvensi, banyak perjanjian dan konvensi yang telah disepakati antar negara menetapkan standar perilaku dan kewajiban yang harus dipenuhi. Sebagai contoh, Traktat Luar Angkasa 1967 menyatakan bahwa negara bertanggung jawab atas aktivitas luar angkasanya, termasuk kegiatan yang dilakukan oleh aktor non-negara (Horsford, 1971). 2) Hukum Kebiasaan Internasional, Praktik dan kebiasaan yang telah berlangsung lama antarnegara juga membentuk norma yang bersifat mengikat. Norma kebiasaan ini sering kali dijadikan dasar ketika tidak terdapat perjanjian tertulis yang secara khusus mengatur suatu isu (Crawford, 2002). 3) Prinsip-Prinsip Umum Hukum Internasional, Nilai-nilai seperti itikad baik, keadilan, dan

tanggung jawab kolektif mendasari penerapan prinsip tanggung jawab negara. Prinsip-prinsip ini menjadi pondasi dalam menetapkan bahwa pelanggaran kewajiban internasional harus disertai dengan upaya penyelesaian yang adil, seperti mekanisme reparasi atau *countermeasures* (Rosenstock, 2002).

Para sarjana hukum internasional mengkaji lebih lanjut terkait dengan tanggung jawab negara yang diinterpretasikan dalam dua hal yaitu tanggung jawab negara secara kolektif dan tanggung jawab secara personal. Diskursus mengenai interpretasi kedua konsepsi tanggung jawab ini lahir dari pemahaman bahwa seorang individu berpotensi melakukan tindak kejahatan maupun kelalaian yang dapat merugikan masyarakat internasional. Namun diskursus lain berpendapat bahwa segala tindakan yang dilakukan oleh individu telah tercantum dalam prinsip tanggung jawab negara mengingat segala bentuk tindakan dan juga perangkat program antariksa berada di bawah yurisdiksi masing-masing negara. Sebagai bentuk implementasi yang bersifat preventif, Outer Space Treaty 1967 dalam hal ini mewajibkan setiap negara untuk mengambil langkah-langkah preventif guna mencegah pencemaran dan kerusakan lingkungan ruang angkasa (Horsford, 1971). Di samping itu, penyusunan regulasi nasional yang selaras dengan norma internasional merupakan kunci utama dalam mitigasi sampah antariksa yang di mana regulasi tersebut merujuk pada konsensus yang dibentuk oleh *United Nations Office for Outer Space Affairs* (UNOOSA) dan *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (UNCOPUOS), guna mengimplementasikan standar operasional yang seragam dan saling mengikat (Horsford, 1971).

2.2 Sejarah dan Pencapaian Program Antariksa Tiongkok

2.2.1 Program Pesawat Luar Angkasa Shenzhou

Pada 21 September 1992, Jiang Zemin memimpin rapat Politburo Pusat yang membahas laporan mengenai teknologi yang akan digunakan serta langkah-langkah implementasi proyek. Politburo menyetujui proyek tersebut dan memberinya nama kode 921, yang kemudian dikenal sebagai program *Shenzhou*. Program ini mencakup pengembangan kapsul ruang angkasa berawak, roket peluncur *Changzheng* (Long March), pusat peluncuran satelit Jiuquan, sistem kontrol dan komunikasi pesawat ruang angkasa, astronautika, serta sistem penelitian ilmu pengetahuan dan teknologi. Ini merupakan proyek luar angkasa terbesar dan paling kompleks yang pernah dikerjakan Tiongkok hingga saat itu. Setelah mendapat persetujuan pada tahun 1992, proyek ini mulai berjalan pada tahun 1997. Pada tahun 1999, Perdana Menteri Tiongkok saat itu, Jiang Zemin, secara pribadi menamai pesawat ruang angkasa tak berawak pertama Tiongkok sebagai "Shenzhou" (Tanah Ilahi Kita) dan menulis kaligrafi yang tertera di badan pesawat tersebut. Melalui program luar angkasanya, Tiongkok bercita-cita memanfaatkan teknologi ruang angkasa tidak hanya untuk pembangunan nasional dan penggunaan damai, tetapi juga sebagai sumber keuntungan ekonomi.

Pesawat luar angkasa Shenzhou I berhasil diluncurkan pada 20 November 1999, menandakan bahwa berbagai tantangan dalam pembuatan pesawat, roket peluncur, lokasi peluncuran, serta sistem kontrol dan aplikasi telah berhasil diatasi melalui eksperimen sains kehidupan dan pemantauan lingkungan kabin. Pesawat

ruang angkasa Shenzhou dikembangkan secara independen oleh Tiongkok, dan negara ini memiliki hak kekayaan intelektual penuh atas teknologi tersebut dan telah memenuhi standar internasional yang telah ditetapkan. Sejak peluncuran sukses Shenzhou-1 pada tahun 1999, Tiongkok telah mengirimkan 13 pesawat ruang angkasa Shenzhou dan tiga stasiun luar angkasa Tiangong ke luar angkasa (hingga Januari 2022) (Zhou dan Chen 2020). Shenzhou I menyelesaikan empat belas orbit dan kembali ke Bumi setelah hanya dua puluh satu jam, namun pencapaian ini tetap menjadi langkah besar bagi Tiongkok. Penerbangan kedua terjadi pada 10 Januari 2001, yang menunjukkan kemampuan Tiongkok dalam mengendalikan modul orbital secara independen. Shenzhou II mengejutkan para pengamat Barat dengan uji coba sistem pendukung kehidupan. Shenzhou III diluncurkan pada 24 Maret 2002 dan mendarat di padang rumput terpencil di Mongolia Dalam pada 1 April 2002. Dalam pesawat tersebut, tiga kursi diisi oleh boneka manusia yang dilengkapi monitor medis guna menguji sistem pendukung kehidupan, dengan sebagian besar peralatan diperoleh dari Rusia. Pada Maret 2002, Shenzhou 3 berhasil menyelesaikan lebih dari 100 orbit sebelum kembali ke Bumi dengan selamat. Pada 30 Desember 2002, Shenzhou IV diluncurkan. Meskipun uji coba ini dilakukan tanpa awak, dua misi terakhir telah dilengkapi dengan teknologi untuk membawa manusia ke luar angkasa. Setelah uji coba Shenzhou IV, eksperimen tanpa awak dihentikan. Shenzhou IV diluncurkan pada 30 Desember 2002 dan mendarat lebih dari seminggu kemudian, pada 6 Januari 2003, setelah menyelesaikan 108 orbit. Keberhasilan pendaratan wahana tersebut disambut

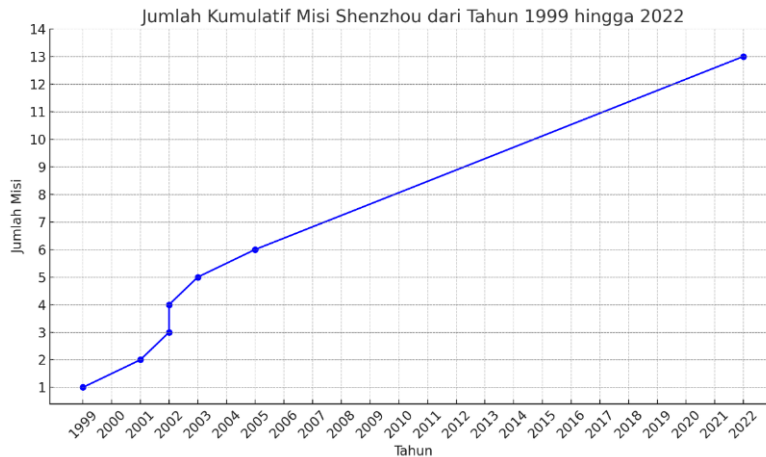
positif oleh surat kabar dan media pemerintah, dengan prioritas pada pengujian manuver dan sistem pendukung kehidupan.

Pada 16 Oktober 2003, Tiongkok mencapai tonggak penting dalam penerbangan luar angkasa berawak ketika Shenzhou V berhasil mengirim seorang taikonaut ke orbit. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa teknologi ruang angkasa dan misil Tiongkok telah melampaui banyak negara lainnya. Meskipun Shenzhou V hanya membawa satu astronaut, pesawat tersebut dirancang dengan kapasitas untuk membawa tiga orang. Pesawat ini terdiri dari modul pendorong, modul re-entry, modul orbit, serta modul tambahan yang memungkinkan transportasi langsung dari darat ke luar angkasa. Shenzhou VI, yang membawa dua taikonaut, berhasil diluncurkan pada 12 Oktober 2005. Meskipun misi ini tidak mencakup modul tambahan untuk pertemuan dan docking—karena manuver tersebut bukan bagian dari tujuan penerbangan—pesawat ini membawa lebih dari 40 perangkat peralatan dan enam jenis perangkat lunak untuk keperluan eksperimen. Keberhasilan Shenzhou VI menandai dimulainya tahap kedua dari program penerbangan luar angkasa berawak Tiongkok, yang melibatkan eksperimen aktivitas luar kendaraan (EVA) serta teknologi pertemuan dan docking, yang kini telah mendekati tahap akhir pengembangannya (Zheng 2019). Pada tahun 2007, Tiongkok melaksanakan uji coba rudal anti-satelit pertamanya (Goswami 2016). Pada tahun 2010, Tiongkok berhasil mengorbitkan pesawat ruang angkasa tak berawak mengelilingi Bulan serta mendaratkan penjelajah di permukaannya.

Saat ini, selusin pilot tempur sedang dilatih untuk misi luar angkasa di masa depan, dengan target utama pendaratan di Bulan. Walaupun pejabat belum

mengonfirmasi kapan misi tersebut akan diluncurkan, pejabat CNSA memperkirakan peluncuran "dalam dua tahun." Namun, beberapa pengamat asing meyakini bahwa pernyataan resmi tersebut sebenarnya menyembunyikan rencana yang lebih ambisius. Phillip Clark, seorang konsultan luar angkasa dari Heston, Inggris, percaya bahwa kelompok pertama bisa saja diterbangkan dalam 12 bulan mendatang dengan Shenzhou 5. Menariknya, modul depan pesawat Shenzhou dapat tetap berada di orbit selama enam bulan atau lebih setelah kapsul awak kembali ke Bumi, sehingga memungkinkan sebagian eksperimen dibawa pulang sementara eksperimen lainnya tetap berlangsung di modul orbit yang ditinggalkan. Selain untuk penerbangan, program Shenzhou juga dimanfaatkan sebagai wahana eksperimen ilmiah. Liu, seorang peneliti pertanian luar angkasa, telah mengirim benih ke luar angkasa dalam misi sebelumnya, dan Shenzhou 3 membawa telur ayam yang menetas secara normal. Eksperimen ini sekaligus menguji efektivitas pelindung radiasi pesawat ruang angkasa, yang dibuktikan dengan tidak adanya mutasi pada benih. Beberapa eksperimen lain juga dilaporkan melibatkan kristalisasi protein dan ilmu material, meskipun detail pelaksanaannya sulit diverifikasi. Pengakuan global terhadap peran luar angkasa yang semakin penting dalam operasi militer dimulai dengan pernyataan tidak resmi bahwa Perang Teluk adalah "perang luar angkasa pertama," dan pandangan ini terus berkembang.

Mengingat penelitian ini fokus terhadap kuantitas aktivitas antariksa Tiongkok, maka penulis mensimplifikasi data-data sebelumnya agar dapat dipahami dengan mudah melalui sajian diagram garis terkait waktu peluncuran Misi Shenzhou sebagai berikut :



2.2.2 Program Stasiun Luar Angkasa Tiangong (Stasiun Antariksa)

Kebijakan antariksa Tiongkok mengalami signifikansi dengan dirumuskannya berbagai agenda misi antariksa dan implementasinya yang konkret sejak beberapa dekade silam. Pasca keberhasilan Tiongkok dalam meluncurkan roket, Tiongkok mulai tertatik untuk mengembangkan stasiun antariksa dengan sebutan Tiangong-1, yang bermakna "Istana Surgawi 1". Diluncurkan pada 29 September 2011 dengan menggunakan roket Long March 2F dari Pusat Peluncuran Satelit Jiuquan di Gurun Gobi. Peluncuran tersebut merupakan puncak dari proses pengembangan jangka panjang yang telah ditempuh sejak dimulainya Program 921 pada tahun 1992, di mana Tiongkok telah berhasil mengoperasikan dua laboratorium luar angkasa di orbit rendah Bumi, yakni Tiangong-1 dan Tiangong-2 (Pardini & Anselmo, 2018; Harrison, Johnson, & Roberts, 2018).

Pada tahun 2010, Tiongkok melaksanakan serangkaian uji coba untuk meningkatkan kemampuan teknologinya sebelum memasuki fase misi yang lebih kompleks. Salah satu uji coba tersebut adalah BX-1, sebuah misi eksperimental

yang dirancang untuk menguji berbagai teknologi dalam lingkungan luar angkasa. Meskipun rincian teknis mengenai BX-1 tidak diungkapkan secara mendalam, uji coba ini memberikan dasar penting bagi pengembangan misi-misi berikutnya. Setelah pelaksanaan BX-1, Tiongkok meluncurkan satelit SJ-12 yang melakukan serangkaian manuver jarak dekat secara remote dengan satelit Tiongkok yang lebih tua. Beberapa analisis mengindikasikan bahwa misi SJ-12 tidak hanya bertujuan untuk pelaksanaan eksperimen teknis, melainkan juga sebagai uji coba terhadap kemampuan jamming atau teknik kontra-ruang angkasa lainnya. Dengan demikian, kedua misi tersebut—BX-1 sebagai uji coba teknologi dan SJ-12 sebagai misi pengujian manuver serta aplikasi strategi ruang angkasa—berperan penting dalam peningkatan kapabilitas Tiongkok di bidang eksplorasi dan pertahanan luar angkasa (Harrison et al., 2019).

Pada awalnya, Tiangong-1 direncanakan untuk dinonaktifkan pada tahun 2013 setelah menyelesaikan rangkaian uji teknologi, untuk kemudian digantikan oleh Tiangong-2 yang memiliki kecanggihan lebih tinggi. Rencana re-entry terkontrol ke South Pacific Ocean Uninhabited Area (SPOUA) pun telah disusun. Namun, misi Tiangong-1 diperpanjang hingga 16 Maret 2016, ketika kontrol darat kehilangan kontak dengan wahana tersebut, kemungkinan besar akibat kegagalan sistem daya fatal, sehingga menandai berakhirnya fase awal pengembangan stasiun luar angkasa Tiongkok (Harrison et al., 2019). Keberhasilan pelaksanaan misi Tiangong-1, termasuk kunjungan taikonaut pada tahun 2012, memberikan sinyal yang kuat bahwa Tiongkok sedang membangun dasar bagi pengembangan aktivitas luar angkasa sipil. Langkah strategis tersebut semakin diperkuat dengan dimulainya pembangunan stasiun luar angkasa permanen pada April 2021 melalui peluncuran modul inti Tianhe. Stasiun luar angkasa Tiangong, yang diperkirakan akan beroperasi setidaknya selama 10 tahun sebagai laboratorium nasional berbasis luar angkasa, telah menjadi platform penting untuk berbagai eksperimen ilmiah dan teknologi sejak penyelesaiannya pada Desember 2022 (China Manned Space Agency, CMSA; China Daily, 2024).

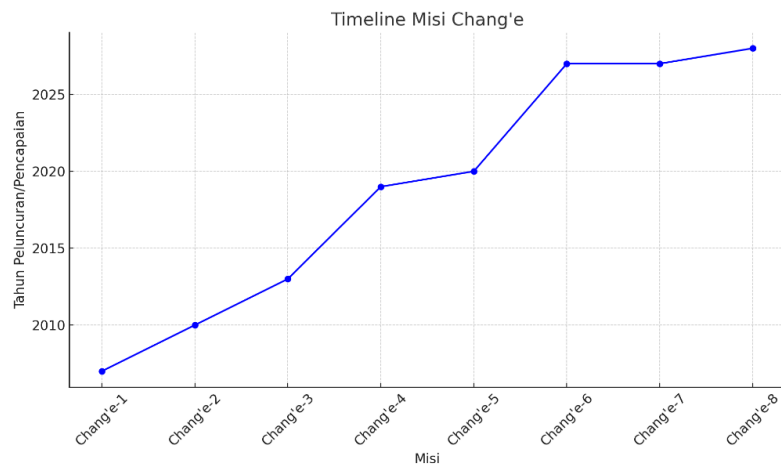
Lebih lanjut, sejak penyelesaian Tiangong, telah dilaksanakan berbagai eksperimen yang mencakup 32 disiplin akademik. Hingga 1 Desember, tercatat terdapat 181 proyek sains dan teknologi yang dijalankan, dengan pengiriman hampir 2 metrik ton peralatan misi, 100 jenis sampel eksperimen, dan pengembalian data sebesar 300 triliun byte ke Bumi. Di antara pencapaian tersebut terdapat pengembangan sumber daya plasma nutfah padi di luar angkasa, diferensiasi sel

induk embrionik manusia menjadi sel punca atau prekursor hematopoietik, giroskop interferensi atom dingin dalam kondisi mikrogravitasi, platform pengujian kontrol mikroba berdaya tinggi, serta operasi ekosistem air berbasis luar angkasa terpanjang di dunia (China Manned Space Agency, CMSA; China Daily, 2024). Di bidang kedokteran luar angkasa, penelitian yang dilakukan di dalam stasiun Tiangong mengkaji dampak kondisi tanpa bobot dan radiasi kosmik terhadap kesehatan, aktivitas, serta kinerja astronot selama penerbangan jangka panjang. Hasil-hasil penelitian tersebut, terutama yang berkaitan dengan fungsi sistem kardiovaskular dan kerangka tubuh, telah digunakan untuk mengembangkan teknologi serta metode baru guna menjaga kesehatan dan keselamatan kru (Chinese Academy of Sciences, 2023).

Selain pencapaian teknis dan ilmiah, strategi luar angkasa Tiongkok juga didorong oleh komitmen kebijakan multilateral. Sejak tahun 2008, Tiongkok telah menegaskan posisinya sebagai pemimpin dalam komunitas luar angkasa internasional melalui pendirian Organisasi Kerja Sama Luar Angkasa Asia Pasifik (APSCO), yang meskipun memiliki keterbatasan kemampuan anggota—seperti Iran, Mongolia, Pakistan, dan Peru—tetap memberikan landasan bagi sinergi teknologi regional (Moltz, 2011). Selanjutnya, melalui misi tanpa awak ke permukaan bulan dengan rover Jade Rabbit dan partisipasinya dalam inisiatif PBB untuk mencegah persenjataan luar angkasa, Tiongkok berupaya mengukuhkan reputasinya sebagai pemain luar angkasa yang bertanggung jawab. Secara keseluruhan, pencapaian misi Tiangong, baik melalui eksperimen awal seperti BX-1 dan SJ-12 maupun melalui pembangunan stasiun luar angkasa permanen,

mencerminkan tujuan strategis Tiongkok dalam mengembangkan sistem luar angkasa yang andal dan multifungsi (Wang, Zhang, & Wang, 2021).

2.2.3 Program Eksplorasi Bulan Chang'e



Tabel 3. Lini Masa Misi Chang'e

Pencapaian Tiongkok yang signifikan satelit dan stasiun luar angkasa diikuti oleh perhatian Tiongkok yang kini beralih pada upaya penjelajahan Bulan yang menjadi ujung tombak kemajuan antariksa negara tersebut. Peralihan ini menandai langkah strategis Tiongkok dalam mengembangkan kemampuan teknologinya di ranah eksplorasi bulan melalui serangkaian misi yang terintegrasi dalam *Chinese Lunar Exploration Program* (CLEP). Pendekatan ini tidak hanya menunjukkan keberhasilan dalam menguasai ruang angkasa di level orbit, tetapi juga menegaskan ambisi negara untuk menguasai wilayah Bulan, yang memiliki implikasi strategis baik dalam bidang sains maupun keamanan nasional. Dengan demikian, bagian berikut akan menguraikan secara rinci perjalanan dan pencapaian program Chang'e, yang merupakan manifestasi konkrit dari strategi penjelajahan Bulan Tiongkok. Secara umum, penulis menyajikan lini masa peluncuran misi Chang'e

dalam tabel 3.1.

Sejak dimulainya pada tahun 2004, Program Eksplorasi Bulan Tiongkok (Chinese Lunar Exploration Program/CLEP) telah dilaksanakan secara strategis melalui tiga fase utama, yaitu Fase Mengorbit (Fase I), Fase Pendaratan (Fase II), dan Fase Pengambilan Sampel (Fase III). Pada tahun 2007, wahana penjelajah pertama, Chang'E-1 (CE-1), berhasil diluncurkan dan mencapai hasil penting, misalnya dengan menyelesaikan peta permukaan Bulan pertama Tiongkok beresolusi spasial 12 meter. Kemudian, pada tahun 2010, Chang'E-2 (CE-2) melakukan survei detail di Sinus Iridum—lokasi pendaratan potensial untuk Chang'E-3 (CE-3)—dengan resolusi spasial mencapai 1,5 meter, serta melakukan pengamatan fly-by terhadap asteroid 4179 Toutatis. Selanjutnya, pada tahun 2013, Chang'E-3 sukses melakukan pendaratan lunak di Bulan dan melaksanakan eksplorasi bergerak di wilayah tersebut. Pencapaian signifikan berikutnya terjadi pada tahun 2019 ketika Chang'E-4 (CE-4) berhasil mendarat di sisi jauh Bulan untuk pertama kalinya dalam sejarah. Misi ini menghasilkan serangkaian data penting mengenai komposisi permukaan, struktur sub permukaan, sejarah geologis, dan lingkungan partikel di dasar kawah Von Kármán pada cekungan Kutub Selatan-Aitken (SPA). Dengan demikian, misi Chang'e-4 tidak hanya merupakan misi sains murni, tetapi juga perintis dalam eksplorasi robotik di masa depan (Wang & Liu, 2019). Chang'E-5, yang diluncurkan pada November 2020, membawa lompatan teknologi lain dengan berhasil mengembalikan lebih dari 1,7 kilogram regolith—lapisan batuan tidak terkonsolidasi di atas batuan dasar—ke Bumi. Misi ini juga mengumpulkan 1.731 gram sampel Bulan dari Oceanus Procellarum, sehingga

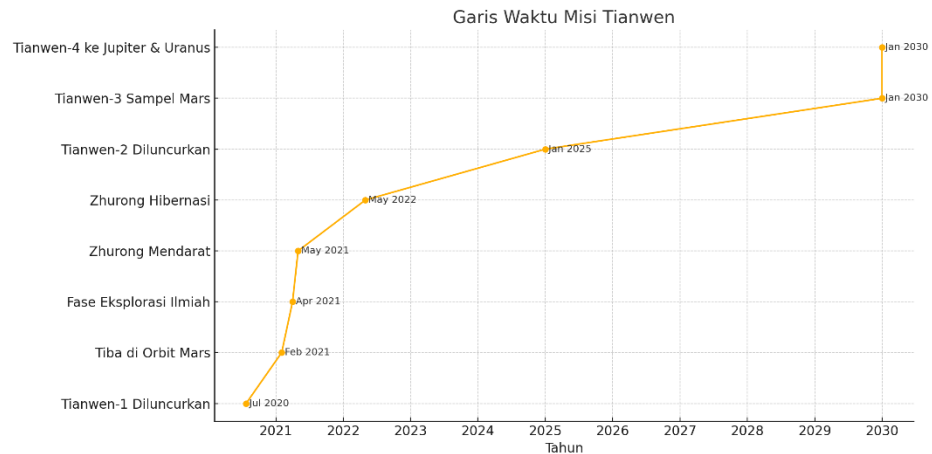
menandai tercapainya tiga tujuan utama CLEP, yaitu ‘mengorbit’, ‘mendarat’, dan ‘mengembalikan sampel’ (Sanmartí, 2020). Selain itu, kemampuan pertemuan dan docking otonom di ruang cislunar yang ditunjukkan oleh Chang’E-5 merupakan capaian teknis yang signifikan, meskipun menimbulkan kekhawatiran mengenai potensi gangguan terhadap pesawat ruang angkasa AS di wilayah tersebut (Willis, 2021).

Pada Januari 2022, Kantor Informasi Dewan Negara Tiongkok merilis *The White Paper* atau dokumen putih berjudul *Program Ruang Angkasa China: Perspektif 2021*. Dokumen tersebut menyatakan bahwa dalam lima tahun ke depan, Tiongkok akan memasuki fase keempat CLEP melalui misi Chang’E-6 (CE-6) dan Chang’E-7 (CE-7). Rencana misi tersebut meliputi pengambilan dan pengembalian sampel dari sisi jauh Bulan oleh CE-6, serta pendaratan presisi tinggi di wilayah kutub Bulan dan eksplorasi kawah teduh oleh CE-7. Selain itu, melalui penelitian dan pengembangan teknologi kunci pada misi Chang’E-8 (CE-8) serta kerja sama dengan negara lain dan organisasi internasional, diharapkan dapat dibangun prototipe Stasiun Penelitian Bulan Internasional (International Lunar Research Station/ILRS) (CNSA, 2022). Pencapaian awal lainnya adalah pendaratan Chang’E-3 di Mare Imbrium pada tahun 2013, yang menandai puncak upaya eksplorasi awal Tiongkok. Pendarat robotik beserta rover pendampingnya, Yutu, merupakan wahana pertama yang beroperasi di Bulan sejak era 1970-an. Sejak itu, aktivitas luar angkasa Tiongkok telah berkembang pesat dalam jangkauan, frekuensi, dan ambisi, hingga kini menyaingi AS dengan sekitar 80 misi peluncuran yang direncanakan untuk tahun 2023. Selain itu, Tiongkok juga telah

mengembangkan stasiun ruang angkasa modularnya sendiri, Tiangong, yang diharapkan akan dihuni oleh awak secara bergilir, minimal tiga astronot selama satu dekade.

Secara khusus, misi Chang'E-4, yang diluncurkan pada akhir 2018, menorehkan sejarah dengan pendaratan di sisi jauh Bulan, suatu pencapaian unik dalam penerbangan ruang angkasa. Sementara itu, misi Chang'E-5 menandai lompatan teknologi dengan mengumpulkan sampel segar dari Oceanus Procellarum dan mengembalikannya ke Bumi setelah misi kompleks dan berani selama tiga minggu. Sampel tersebut diambil melalui kendaraan pendakian yang melakukan docking dengan wahana pengembali di orbit Bulan—proses yang mirip dengan misi Apollo NASA, di mana astronot mendarat dan kembali ke Bumi. Hasilnya, sebanyak 3,82 pon (1.731 gram) material Bulan berhasil dikumpulkan, memberikan wawasan baru tentang sejarah vulkanik Bulan serta kandungan air yang tinggi dalam regolitnya (O'Neill, 2023).

2.2.4 Program Eksplorasi Mars Tianwen



Tabel 4. Lini Masa Misi Tianwen

Pada tanggal 23 Juli 2020, misi Tianwen-1 diluncurkan sebagai bagian dari rencana Tiongkok untuk mengeksplorasi Mars. Pada periode yang sama, tiga wahana antariksa—yaitu pengorbit Hope dari Uni Emirat Arab, misi Tianwen-1 dari Tiongkok, dan penjelajah Perseverance dari NASA—memulai perjalanan mereka menuju Mars. Tianwen-1, yang merupakan misi Mars perdana bagi Tiongkok, berhasil melaksanakan serangkaian tugas esensial secara berurutan, mulai dari “penangkapan dan pengereman dekat Mars,” “masuk, penurunan, dan pendaratan (EDL),” hingga “pengiriman penjelajah dari platform pendaratan” dalam rentang waktu hampir satu tahun. Ketiga tahap utama, yakni pengorbitan, pendaratan di permukaan, dan eksplorasi serta pendeteksian, telah berhasil dilaksanakan (Sun & Rao, 2022). Sebagai bagian integral dari misi tersebut, penjelajah Zhurong berhasil mendarat di Mars pada Mei 2021. Dilengkapi dengan wahana pengorbit sebagai pendukung, Zhurong mencatat prestasi luar biasa dengan menyelesaikan 347 hari eksplorasi di Mars—nilai yang jauh melampaui

masa operasional yang semula direncanakan selama 90 hari—meskipun akhirnya memasuki masa hibernasi pada Mei 2022 (Sun & Rao, 2022).

Dalam konteks ilmiah, Tianwen-1 membawa 13 muatan eksperimen yang terbagi ke dalam empat kategori utama: kamera optik untuk pengambilan citra dari pengorbit dan penjelajah, radar untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan, spektrometer untuk menganalisis komposisi tanah dan batuan, serta instrumen pemantau yang mempelajari atmosfer, medan magnet, radiasi, dan iklim Mars. Salah satu sasaran utama misi ini adalah untuk mendeteksi keberadaan es air serta air cair, hal yang krusial bagi kemungkinan mendukung kehidupan di Mars. Untuk mendukung pencapaian tujuan tersebut, Administrasi Antariksa Nasional Tiongkok dan Akademi Ilmu Pengetahuan Tiongkok (CAS) secara bersama-sama membentuk komite ilmiah nasional guna merumuskan rencana strategis (Zhao, 2021). Selain itu, pengamatan terhadap fluktuasi musiman konsentrasi metana—yang di Bumi umumnya dihasilkan oleh organisme—juga menunjukkan potensi adanya proses biogenik di Mars, meskipun keberadaan kehidupan masih belum terbukti secara definitif (Sun & Rao, 2022).

Temuan signifikan lainnya adalah indikasi bahwa air mungkin pernah ada di area pendaratan Zhurong dalam waktu dekat, suatu fakta yang tidak bisa diungkap hanya dengan penginderaan jauh dari orbit. Penemuan ini telah memberikan dorongan yang signifikan bagi para peneliti dalam bidang ilmu Mars dan ilmu planet di Tiongkok (Xu, n.d.). Melihat ke depan, program Tianwen akan terus berkembang. Misi Tianwen-3 dirancang sebagai upaya Tiongkok untuk mengumpulkan dan mengembalikan sampel Mars, yang dijadwalkan diluncurkan

sekitar tahun 2030 dengan dukungan dua roket Long March 5 (Planetary Society, 2024). Di samping itu, misi Tianwen-2 yang dijadwalkan untuk peluncuran pada tahun 2025 dengan roket Long March 3B akan mengincar asteroid dekat Bumi, yakni 469219 Kamo‘oalewa. Misi ini akan melakukan pertemuan (*rendezvous*) dengan asteroid tersebut, melakukan penginderaan jauh, menilai potensi lokasi pendaratan, serta mengumpulkan sampel melalui dua teknik berbeda—*touch-and-go* dan *anchor-and-attach*—yang kemudian akan dikirim ke Bumi untuk dianalisis. Awalnya dikenal dengan nama Zheng He, misi ini telah berevolusi dan kini resmi dinamai Tianwen-2, sehingga menjadi bagian penting dari program eksplorasi ruang dalam dan antarbintang Tiongkok (Planetary Society, 2024).

Lebih lanjut, Tianwen-4 direncanakan akan diluncurkan sekitar tahun 2030 dan akan membawa wahana pengorbit Jupiter serta pesawat luar angkasa yang melakukan *flyby* di Uranus. Misi ini merupakan upaya ambisius lainnya dari Tiongkok untuk mengeksplorasi dua badan planet dalam satu peluncuran di masa mendatang. Selain pencapaian tersebut, misi Tianwen-1 sendiri telah melalui berbagai fase kritis sejak peluncurannya. Nama Tianwen-1, yang diambil dari puisi karya Qu Yuan, mencerminkan semangat eksplorasi dan keingintahuan terhadap alam semesta (Li, 2021). Misi ini mencakup beberapa fase, mulai dari peluncuran, transfer orbit Bumi–Mars, penangkapan dan parkir orbit Mars, fase EDL, hingga tahap eksplorasi ilmiah. Wahana ini diluncurkan dengan roket Long March 5 dari Pusat Peluncuran Satelit Wenchang di Pulau Hainan dan diperkirakan tiba di Mars pada Februari 2021, dengan fase pengamatan ilmiah dimulai pada April 2021 (Nature Astronomy, 2021). Di samping Tianwen-1, misi Perseverance dari NASA

dan wahana pengorbit Hope dari Uni Emirat Arab turut berperan dalam eksplorasi Mars, menandai adanya kolaborasi internasional di ranah antariksa (Sun & Rao, 2022).

Secara keseluruhan, pencapaian misi Tianwen menunjukkan bahwa Tiongkok telah berhasil menempatkan dirinya sebagai salah satu kekuatan utama dalam eksplorasi ruang angkasa abad ke-21. Keberhasilan Tianwen-1, beserta rencana ambisius untuk Tianwen-2, Tianwen-3, dan Tianwen-4, tidak hanya mengukuhkan keunggulan teknologi Tiongkok, tetapi juga menegaskan peran strategisnya dalam mengarahkan masa depan eksplorasi antariksa global (Li, 2021; Planetary Society, 2024). Misi Tianwen membuka jalan bagi penelitian mendalam tentang Mars dan badan langit lainnya, serta mendorong kerja sama internasional yang semakin intensif dalam upaya mengembangkan pengetahuan tentang alam semesta (Hou, 2024; Nature Astronomy, 2021).

2.3 Gambaran Umum Kebijakan Tiongkok Mitigasi Sampah Antariksa

Regulasi dan kebijakan domestik Tiongkok dalam mitigasi sampah antariksa mengalami evolusi bertahap sejak awal 2000-an, dimulai dari pembentukan fondasi normatif dan teknis yang sederhana menuju pendekatan kelembagaan dan legislasi yang lebih kompleks dan strategis. Fase awal pembangunan kerangka mitigasi debris ditandai dengan diterbitkannya dua regulasi penting di tingkat kementerian, yaitu *Procedure of Space Objects Registration and Management* (2001) dan *Interim Procedure of Licensing Civil Space Launch Programs* (2002). Kedua regulasi ini mewajibkan pelaku peluncuran untuk mengajukan dokumen mitigasi debris sebagai bagian dari

persyaratan administratif. Langkah ini mencerminkan upaya awal Tiongkok dalam memperkenalkan sistem pengawasan terhadap seluruh siklus aktivitas peluncuran objek antariksa (Li, 2011).

Sebagai pelengkap dari pendekatan administratif tersebut, Tiongkok juga mulai menyusun standar teknis nasional. Pada tahun 2006, pemerintah Tiongkok mengesahkan standar *Orbital Debris Mitigation Requirements* (QJ3221-2005), yang merupakan adopsi langsung dari *IADC Space Debris Mitigation Guidelines*. Standar teknis ini menjadi pijakan penting dalam mengatur aspek desain misi, operasi di orbit, dan disposal pasca-misi. Implementasi nyata dari standar ini terlihat pada penerapan teknik *passivation* terhadap propelan roket Long March 2D dan 4B/C, serta penggunaan sistem deorbit aktif pada sejumlah wahana (Du, 2017). Ini merupakan indikasi awal bahwa Tiongkok mulai membangun kapasitas teknis yang sesuai dengan praktik terbaik internasional dalam mitigasi debris.

Namun demikian, perkembangan paling signifikan dalam reformasi kebijakan domestik Tiongkok terjadi setelah insiden uji coba anti-satelit terhadap satelit cuaca FENGYUN 1C pada tahun 2007. Uji coba tersebut menyebabkan lebih dari 3.000 potongan debris baru di orbit, yang langsung menuai kritik global dan menjadi katalis bagi evaluasi ulang terhadap kebijakan antariksa Tiongkok (National Research Council, 2011). Sebagai tanggapan, pemerintah melakukan restrukturisasi kelembagaan dengan mengalihkan otoritas dari COSTIND (Commission of Science, Technology and Industry for National Defense) ke SASTIND (State Administration for Science, Technology and Industry for National Defense), yang berada di bawah naungan Kementerian Perindustrian dan

Teknologi Informasi (MIIT). Perubahan ini tidak hanya memperkuat otoritas sipil dalam tata kelola antariksa, tetapi juga membuka jalan bagi reformasi regulasi yang lebih progresif.

Puncak dari reformasi tersebut adalah diterbitkannya *Administrative Regulation on Space Debris Management* pada tahun 2010, yang merupakan regulasi nasional pertama di Tiongkok yang secara eksplisit memuat definisi sampah antariksa, menetapkan SASTIND sebagai otoritas pengawas utama, dan membentuk mekanisme koordinasi antarlembaga dalam pengelolaan debris (Li, 2011). Regulasi ini menandai pergeseran penting dari pendekatan administratif semata menuju kerangka regulatif yang lebih terstruktur dan bertanggung jawab secara institusional. Sebagai bagian dari strategi jangka panjang, Tiongkok mengintegrasikan agenda mitigasi sampah antariksa ke dalam kerangka perencanaan pembangunan nasional. Dalam *12th Five-Year Plan* (2011–2015), perhatian khusus diberikan pada pengembangan teknologi deorbit untuk satelit di orbit rendah bumi (LEO), sistem reorbit untuk satelit di orbit geostasioner (GEO), serta evaluasi desain wahana antariksa agar lebih tahan terhadap kemungkinan fragmentasi. Selain itu, pemerintah juga mendorong uji material peluncur agar dapat mengurangi risiko pelepasan debris selama fase peluncuran maupun di orbit (Du, 2017). Langkah-langkah ini menunjukkan bahwa isu mitigasi debris telah menjadi bagian integral dari kebijakan teknologi dan industri antariksa Tiongkok.

Dalam ranah hukum, Tiongkok tengah menyusun *Law on Space Activities*, sebuah undang-undang komprehensif yang diharapkan dapat memperkuat posisi hukum mitigasi debris. Proses legislasi ini dilakukan secara konsultatif dan

inklusif, melibatkan kementerian teknis, industri peluncuran, serta komunitas akademik. Pendekatan partisipatif tersebut mencerminkan adanya kesadaran bahwa kebijakan ruang angkasa yang efektif hanya dapat dibangun melalui kolaborasi lintas sektor (Li Ming, CAST). Jika disahkan, undang-undang ini akan menjadi instrumen hukum nasional pertama yang memberikan kerangka yuridis menyeluruh terhadap seluruh aspek aktivitas antariksa, termasuk mitigasi sampah antariksa secara eksplisit.

Reformasi kontemporer Tiongkok dalam kebijakan debris juga tercermin dalam *China's Space Program: A 2021 Perspective* yang dirilis oleh *State Council Information Office*. Dokumen tersebut menegaskan kembali komitmen Tiongkok terhadap *Space Debris Mitigation Guidelines* dari IADC serta *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities* yang dirumuskan oleh Komite PBB untuk Penggunaan Damai Luar Angkasa (UNCOPUOS) (The State Council Information Office of the PRC, 2022). Penegasan ini bukan hanya bentuk deklaratif, melainkan diwujudkan dalam bentuk konkret melalui implementasi *passivation* tahap akhir (upper stage) pada semua kendaraan peluncur aktif, serta deorbit aktif pada wahana seperti stasiun luar angkasa Tiangong-2.

Tiongkok juga telah mengembangkan sistem pemantauan debris berbasis teleskop dan radar yang terhubung dengan database katalogisasi benda antariksa. Sistem ini berperan dalam mendeteksi dan mengidentifikasi risiko tabrakan, serta memberikan peringatan dini agar operator dapat melakukan manuver penghindaran. Teknologi ini memperkuat kapasitas Tiongkok dalam menjamin

keselamatan wahana antariksa dan meminimalkan potensi insiden baru di orbit (*The State Council Information Office of the PRC*, 2022). Selama lima tahun mendatang, Tiongkok menargetkan peningkatan prediksi akurasi jalur debris, penguatan sistem manajemen lalu lintas antariksa, serta pengembangan teknologi pemeliharaan satelit di orbit untuk mendukung penghindaran tabrakan secara otomatis. Di bidang teknis, Tiongkok turut mendorong standarisasi nasional melalui pembentukan *Subcommittee 5 on Space Debris* di bawah SAC/TC425, sebuah komite teknis yang bertanggung jawab atas penyusunan dan harmonisasi standar-standar ruang angkasa domestik. Beberapa standar penting yang dikembangkan mencakup *Design Requirements for Residual Propellant Venting* serta *Requirements for Post-Mission Disposal*, yang mengatur pembuangan propelan dan prosedur pasca-misi wahana secara aman dan terkontrol. Standar-standar ini tidak hanya meningkatkan keselamatan operasional, tetapi juga memperkuat kepatuhan terhadap prinsip *due regard* dalam hukum ruang angkasa internasional (Liu et al., 2022). Selain itu, Tiongkok juga mulai merespons pertumbuhan sektor komersial dan miniaturisasi teknologi dengan menerbitkan *Notice on Promoting the Orderly Development of Microsatellites*. Regulasi ini menuntut agar seluruh satelit kecil, termasuk CubeSat dan nanosatellit, memiliki sistem penghindaran tabrakan, kemampuan kendali orbit, serta mekanisme deorbit aktif atau pasif. Selain itu, masa tinggal maksimum di orbit untuk satelit LEO dibatasi maksimal 25 tahun, selaras dengan ketentuan internasional yang ditetapkan dalam *IADC Space Debris Mitigation Guidelines* (Liu et al., 2022). Langkah ini merupakan bentuk pengaturan preventif yang tidak hanya menyoar

aktor negara, tetapi juga sektor privat yang semakin aktif dalam ekosistem antariksa.

Pada level internasional, Tiongkok juga menunjukkan komitmen terhadap tata kelola debris global melalui keterlibatan aktif dalam berbagai forum multilateral. Sebagai anggota *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC), *Consultative Committee for Space Data Systems* (CCSDS), dan *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (UN COPUOS), Tiongkok turut serta dalam perumusan standar global, berbagi data katalog debris, dan mengembangkan pedoman teknis bersama negara-negara lain. Kolaborasi ini tidak hanya meningkatkan kredibilitas kebijakan domestik Tiongkok, tetapi juga menciptakan ruang diplomatik untuk penguatan norma internasional yang mengatur aktivitas luar angkasa (The State Council Information Office of the PRC, 2022). Lebih jauh lagi, Tiongkok secara bilateral juga menjalin dialog teknis dan pertukaran informasi dengan negara-negara seperti Amerika Serikat dan Rusia dalam rangka membangun mekanisme tanggap darurat terhadap insiden ruang angkasa, termasuk peringatan dini tabrakan dan penanganan fragmentasi di orbit. Hal ini menunjukkan adanya upaya untuk memperluas prinsip tanggung jawab negara dalam konteks kerja sama teknis transnasional yang berbasis saling percaya dan kepentingan bersama.

2.4 Analisis Perbandingan dengan Negara Lain

Dalam merumuskan konsep penelitian ini, penulis mencoba mengkaji negara-negara lain sebagai pembanding daripada kebijakan mitigasi sampah antariksa.

Perbandingan tersebut diharapkan dapat memenuhi fungsi praktis untuk kebermanfaat praktisi dalam merumuskan kebijakan mitigasi sampah antariksa, tidak hanya Tiongkok melainkan juga Indonesia. Berikut hasil perbandingannya:

2.4.1 Amerika Serikat

Amerika Serikat telah menegaskan komitmennya sebagai pemimpin global dalam tata kelola sampah antariksa melalui pendekatan kebijakan yang sistematis dan multidisipliner. Secara regulasi, dua instrumen utama menjadi tulang punggung kebijakan ini: NPR 8715.6E (2024-2029) dan NASA-STD-8719.14 (Revisi B, 2021). NPR 8715.6E mengatur prosedur operasional NASA mulai dari fase pra-peluncuran hingga disposisi akhir misi, termasuk kewajiban penggunaan *hardware* tahan tumbukan dan mekanisme *waiver* yang harus disetujui oleh Chief, Safety and Mission Assurance (SMA) (NASA, 2024). Sementara itu, NASA-STD-8719.14 menetapkan standar teknis spesifik seperti larangan disposisi satelit di orbit semi-sinkron (untuk melindungi konstelasi GPS) dan pembatasan peluncuran **swarm CubeSats** guna mencegah ledakan debris (NASA, 2021). Kedua regulasi ini berpedoman pada U.S. Government Orbital Debris Mitigation Standard Practices (ODMSP 2019), yang mengikat seluruh lembaga federal untuk memastikan koherensi kebijakan, termasuk kewajiban notifikasi internasional melalui Office of International and Interagency Relations (OIIR) jika terjadi pelanggaran (White House, 2019). Di tingkat operasional, Orbital Debris Program Office (ODPO) memainkan peran sentral sejak didirikan pada 1979. ODPO mengoordinasikan riset melalui pemodelan lingkungan debris menggunakan ORDEM 3.0 untuk

memprediksi risiko tabrakan dan LEGEND untuk proyeksi pertumbuhan debris jangka panjang (Liou, 2023). Observasi debris dilakukan dengan jaringan radar seperti Goldstone Radar yang mampu melacak objek berukuran 2 mm, serta analisis dampak debris pada permukaan pesawat ulang-alik seperti Space Shuttle (NASA ODPO, 2023). Selain itu, fasilitas Hypervelocity Impact Technology Facility (HIT-F) digunakan untuk menguji ketahanan material satelit terhadap tumbukan debris berkecepatan 17.500 mph (NASA, 2022).

Regulasi eksternal diatur oleh Federal Communications Commission (FCC) melalui pembaruan aturan 2020 dan 2024. FCC mewajibkan operator satelit untuk mengungkapkan rencana deorbit dalam 25 tahun, berbagi data orbit, dan menerapkan collision avoidance maneuvers (FCC, 2024). Pada 2024, FCC menolak permintaan pelonggaran dari industri namun memberikan klarifikasi teknis terkait persyaratan bagi operator asing yang ingin mengakses pasar AS (FCC, 2024). Di sisi lain, Office of Space Commerce (OSC) di bawah Departemen Perdagangan mengembangkan Sistem TraCSS (*Traffic Coordination System for Space*) untuk mengintegrasikan data dari 27.000+ objek >10 cm dan 100+ juta partikel <1 cm, sekaligus mendukung rancangan SAFE Orbit Act (2025) yang bertujuan menciptakan katalog debris publik (OSC, 2023). Inovasi teknologi difokuskan pada Active Debris Removal (ADR) dan *on-orbit servicing*. NASA berkolaborasi dengan perusahaan swasta seperti *Astroscale* dalam proyek eksperimental untuk mengevakuasi badan roket tak berfungsi di LEO menggunakan teknologi *magnetic capture* (NASA, 2024). Sementara itu, pengembangan layanan di antariksa (ISAM) seperti perbaikan satelit dan pengisian bahan bakar di orbit diharapkan mengurangi

generasi debris baru (U.S. Department of Commerce, 2023). Pada tingkat global, AS mempromosikan Artemis Accords (2021) yang telah ditandatangani 39 negara, dengan klausul khusus tentang transparansi data orbit dan mitigasi debris untuk misi bulan (NASA, 2021). Namun, tantangan struktural tetap mengemuka. Kessler Syndrome, skenario tabrakan berantai di LEO, diprediksi dapat menghasilkan 100.000+ debris baru dalam dekade berikutnya jika laju peluncuran satelit komersial tidak dikendalikan (NASA ODPO, 2023). Selain itu, disparitas regulasi global—misalnya, ketiadaan sanksi bagi pelanggar IADC Guidelines—menciptakan ketimpangan kompetitif (free-rider problem) yang merugikan operator patuh (Secure World Foundation, 2024). Respons AS termasuk mendorong resolusi PBB untuk moratorium uji senjata anti-satelit (DA-ASAT), meski hingga 2024 inisiatif ini belum mengikat secara hukum (UNOOSA, 2024).

2.4.2 Jepang

Jepang telah menetapkan dirinya sebagai pionir dalam kebijakan mitigasi sampah antariksa melalui pendekatan multidimensi yang menggabungkan inovasi teknologi, kerangka regulasi ketat, kolaborasi internasional, dan sinergi dengan sektor swasta. Kebijakan ini tidak hanya bertujuan untuk memastikan keberlanjutan lingkungan orbit Bumi tetapi juga memperkuat posisi Jepang sebagai pemimpin global dalam tata kelola antariksa yang bertanggung jawab, baik dalam konteks keamanan nasional maupun stabilitas global.

2.4.2.1 Kerangka Hukum dan Regulasi Domestik

Landasan kebijakan Jepang tertuang dalam Basic Space Law (Undang-Undang Dasar Antariksa Nomor 43 Tahun 2008), yang menegaskan prinsip pemanfaatan antariksa secara damai dan berkelanjutan. Undang-undang ini diperkuat oleh Space Activities Act (SAA/UU Aktivitas Antariksa Nomor 76 Tahun 2016), yang secara eksplisit mencantumkan ketentuan mitigasi sampah antariksa. SAA mewajibkan operator satelit untuk mematuhi standar teknis dalam desain dan operasi wahana antariksa, termasuk pencegahan fragmentasi dan kewajiban pembuangan akhir satelit (*post-mission disposal*). Persyaratan ini diatur lebih rinci dalam *Cabinet Office Order* dan peraturan pelaksana lainnya yang merujuk pada *Space Debris Mitigation Guidelines* oleh *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (COPUOS) dan *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC) (Aoki, 2019). Regulasi ini menjadikan Jepang salah satu negara dengan kesesuaian hukum nasional tertinggi terhadap standar internasional (Cabinet Office, 2020).

Proses perizinan kegiatan antariksa di Jepang berada di bawah pengawasan langsung Perdana Menteri, yang menunjukkan tingkat kontrol negara yang tinggi terhadap aspek keamanan dan keberlanjutan luar angkasa (Dey & Jagadananda, 2024,). Selain aspek teknis, SAA juga memperluas kerangka hukum untuk aktivitas baru seperti active debris

removal (ADR) dan on-orbit servicing (OOS). Meskipun peraturan operasional untuk ADR/OOS masih dalam pengembangan, inklusi aktivitas ini dalam definisi "wahana antariksa" menunjukkan kesiapan Jepang mengantisipasi perkembangan teknologi dan kebutuhan mitigasi lanjutan (JAXA, 2023). Pada tahun 2020, kebijakan ini diperluas melalui Basic Plan on Space Policy dengan menetapkan keberlanjutan orbit sebagai prioritas nasional, termasuk pengembangan teknologi ADR dan kolaborasi publik-swasta (Cabinet Office, 2020).

2.4.2.2 Inovasi Teknologi: Dari Pemantauan hingga Penghilangan Aktif

Jepang mengintegrasikan kemampuan pemantauan (*Space Situational Awareness/SSA*) dengan teknologi mitigasi aktif untuk mengatasi kompleksitas sampah antariksa. Melalui kerja sama bilateral dengan Amerika Serikat dalam *U.S.-Japan Comprehensive Dialogue on Space*, Jepang mengembangkan sistem SSA yang memungkinkan pelacakan objek antariksa dan berbagi data secara real-time untuk menghindari risiko tabrakan (Harrison & Cooper, 2016). Inisiatif ini diperkuat dengan proyek eksperimental seperti jaring magnetik yang dirancang untuk menangkap serpihan logam berukuran kecil di orbit rendah Bumi (LEO). Teknologi ini, yang dikembangkan sejak 2014, menjadi respons terhadap insiden seperti tabrakan satelit Iridium 33 dengan

Cosmos 2251 (2009) dan uji coba senjata anti-satelit (ASAT) oleh Tiongkok (2007) yang menghasilkan ribuan debris (Rutkin, 2014).

2.4.2.3 Koordinasi Kelembagaan dan Diplomasi Global

Pemerintah Jepang secara aktif mendorong penyusunan panduan nasional bagi pelaku kegiatan pembersihan debris, yang bertujuan untuk menciptakan standar internasional yang transparan dan akuntabel (Dey & Jagadanandan, 2024). Hal ini menjadi krusial dalam konteks keamanan dan kepercayaan antarnegara, terutama agar misi penghapusan debris tidak ditafsirkan sebagai tindakan bermotif militer. Partisipasi Jepang dalam diplomasi antariksa telah dimulai sejak era 1990-an melalui kerja sama dengan NASA, European Space Agency (ESA), dan Uni Soviet dalam pertukaran data teknis dan penyusunan strategi mitigasi (Kessler, 1992). Keterlibatan awal ini membentuk fondasi bagi pendekatan Jepang yang mengintegrasikan kepentingan nasional dengan tanggung jawab kolektif global. Di tingkat kelembagaan, pemerintah Jepang menerapkan model tata kelola terpusat melalui koordinasi antar lembaga. Kantor Kabinet bertindak sebagai regulator utama melalui Space Policy Committee, sementara JAXA memegang peran teknis operasional, termasuk pemantauan kepatuhan operator. Di tingkat internasional, Jepang aktif membentuk norma melalui partisipasi dalam *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC) dan *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (COPUOS). Jepang juga menjadi pendukung utama International Code of

Conduct for Outer Space Activities yang bertujuan meningkatkan transparansi dan kepercayaan antarnegara (Harrison & Cooper, 2016). Kolaborasi dengan Amerika Serikat dalam Artemis Accords (2021) semakin memperkuat posisi Jepang sebagai mitra kunci dalam isu keberlanjutan antariksa. Melalui forum Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAF), Jepang berbagi kapasitas teknis dengan negara berkembang, termasuk lokakarya mitigasi sampah antariksa di Malaysia pada 2012 (Ministry of Foreign Affairs of Japan, 2021).

2.4.2.4 Kemitraan Publik-Swasta dan Komersialisasi

Kebijakan Jepang menempatkan sektor swasta sebagai mitra strategis. Proyek CRD2 menjadi contoh kolaborasi antara JAXA dan Astroscale, di mana pemerintah menyediakan pendanaan, sementara swasta mengembangkan teknologi ADR untuk pasar komersial. Target kerja sama ini adalah menyelenggarakan misi penghapusan sampah antariksa secara reguler paling lambat pada tahun 2030 (Dey & Jagadananda, 2024). *Astroscale* juga mengembangkan teknologi perpanjangan umur satelit melalui in-orbit servicing, seperti pengisian bahan bakar dan perbaikan langsung di luar angkasa, sehingga mampu menekan pertumbuhan debris akibat satelit yang tidak lagi berfungsi. Model kemitraan ini mengurangi beban finansial negara sekaligus menciptakan ekosistem industri yang inovatif. Laporan JAXA (2022) mencatat peningkatan partisipasi startup dalam riset antariksa, termasuk

pengembangan satelit mini dan sistem pemantauan debris.

2.4.3 Uni Eropa

2.4.3.1 Pendekatan Normatif dan Institusional dalam Tata Kelola Orbit

Uni Eropa, sebagai salah satu aktor utama dalam tata kelola antariksa global, telah menunjukkan komitmennya dalam mitigasi sampah antariksa melalui kerangka kebijakan yang komprehensif. Tidak hanya berfokus pada aspek teknis dan operasional, tetapi juga pada dimensi normatif dan kelembagaan, Uni Eropa berperan dalam membentuk konsensus internasional mengenai pengelolaan ruang angkasa yang berkelanjutan. Salah satu elemen kunci dalam pendekatan ini adalah pengadopsian prinsip-prinsip yang diterima secara internasional, termasuk pedoman yang dikembangkan oleh *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC) dan *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (COPUOS). Prinsip-prinsip ini menjadi acuan bagi kebijakan yang lebih luas di Uni Eropa (Papadimitriou et al., 2019). Pendekatan normatif ini juga mencakup regulasi dan standar yang mengatur aspek teknis dan operasional misi antariksa yang melibatkan Uni Eropa. Misalnya, dalam konteks pengelolaan sampah antariksa, *EU Space Programme Regulation* (2021/696) menjadi salah satu

dokumen utama yang menetapkan kerangka hukum bagi kebijakan ruang angkasa Eropa, termasuk mitigasi debris. Melalui regulasi ini, Uni Eropa berupaya memastikan bahwa setiap negara anggota berkomitmen pada pengelolaan sampah antariksa dengan cara yang terintegrasi dan harmonis (Reis, 2024). Pentingnya pendekatan normatif ini tercermin dalam usaha Uni Eropa untuk membentuk kerangka kerja yang melibatkan berbagai pihak, baik dari sektor sipil, militer, maupun sektor swasta. Dalam banyak hal, tata kelola antariksa di Uni Eropa telah menciptakan sebuah model kerjasama multilateral yang tidak hanya membahas aspek teknis, tetapi juga aspek diplomatik dan politik dari pengelolaan ruang angkasa global (Papadimitriou et al., 2019).

2.4.3.2 Standar Teknis dan Prosedur Mitigasi dalam Misi Peluncuran

Salah satu pencapaian penting Uni Eropa dalam mitigasi sampah antariksa adalah penyusunan *European Space Debris Safety and Mitigation Standard* (ESDSMS), sebuah standar teknis yang disusun oleh konsorsium lembaga-lembaga antariksa terkemuka di Eropa, seperti CNES (Prancis), DLR (Jerman), BNSC (Inggris), ASI (Italia), dan tentu saja, *European Space Agency* (ESA). Standar ini disusun dengan tujuan untuk memberikan pedoman yang jelas bagi desain dan operasional misi peluncuran, serta pengelolaan objek yang mengorbit di luar angkasa (Bonnal et al., 2009).

Dalam dokumen ESDSMS, mitigasi debris dibagi menjadi tiga kategori besar: manajerial, desain, dan operasional. Kategori manajerial mengharuskan setiap proyek peluncuran untuk menunjuk seorang *Space Debris Manager* (SDM) dan *Space Debris Authority* (SDA), yang bertanggung jawab atas penyusunan rencana mitigasi debris serta pelaporan secara periodik. Hal ini memastikan bahwa setiap tahap peluncuran dan operasional satelit atau objek antariksa lainnya dipantau secara sistematis, dengan perhatian khusus pada potensi risiko yang dapat menyebabkan peningkatan jumlah debris (Alby et al., 2004). Di sisi desain dan operasional, standar ini mengatur penggunaan teknologi yang dapat mencegah pelepasan debris dalam jumlah besar. Salah satu ketentuan penting adalah pembatasan terhadap *Mission Related Objects* (MRO), yang merujuk pada objek-objek yang dapat berpotensi menjadi sumber debris setelah misi selesai. Sebagai contoh, pelarangan penggunaan propelan padat dan piroteknik yang dapat menghasilkan debris lebih dari 1 mm merupakan salah satu langkah krusial dalam mengurangi potensi sampah antariksa. Selain itu, standar ini juga mencakup pasivasi tahap roket, yang dirancang untuk menghindari ledakan atau pelepasan energi sisa setelah misi selesai, yang bisa memperburuk kondisi sampah antariksa (Bonnal et al., 2009).

Salah satu aturan internasional yang diadopsi oleh Uni Eropa adalah ketentuan mengenai masa hidup maksimum 25 tahun untuk objek antariksa yang ditinggalkan di orbit *Low Earth Orbit* (LEO). Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa objek-objek tersebut tidak bertahan lebih lama dari yang

diperlukan, mengingat risiko sampah antariksa yang semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah satelit dan misi antariksa yang diluncurkan. Sementara itu, untuk objek-objek di *Geostationary Earth Orbit* (GEO), penggunaan *graveyard orbit* menjadi bagian dari langkah mitigasi untuk memindahkan satelit yang sudah tidak berfungsi ke orbit yang lebih tinggi, jauh dari jalur satelit aktif (Alby et al., 2004). Contoh penerapan standar ini dapat ditemukan pada sistem peluncuran milik ESA, seperti *Ariane 5*, *Soyuz ST*, dan *Vega*. Setiap sistem peluncuran ini dirancang dengan fitur-fitur yang meminimalkan pelepasan debris, serta dilengkapi dengan prosedur pasivasi yang otomatis untuk mengurangi risiko ledakan atau kerusakan pasca-peluncuran. Sebagai contoh, tahap EPS pada *Ariane 5* dirancang dengan sistem *pyrovalve* dan *burst disk*, yang berfungsi untuk menghindari akumulasi energi yang dapat menyebabkan ledakan atau pelepasan debris (Bonnal et al., 2009).

2.4.3.3 Deteksi, Pemantauan, dan Pencegahan Risiko Tabrakan Orbit

Di luar aspek teknis dalam desain dan peluncuran, Uni Eropa juga mengembangkan sistem yang sangat penting dalam mitigasi sampah antariksa, yaitu deteksi, pemantauan, dan pencegahan risiko tabrakan di orbit. Melalui *Space Situational Awareness* (SSA) dan *Space Surveillance and Tracking* (SST), Uni Eropa memiliki infrastruktur pemantauan yang canggih untuk melacak objek-objek di orbit dan mendeteksi potensi ancaman yang

ditimbulkan oleh debris antariksa (Reis, 2024). Salah satu komponen utama dari SSA dan SST adalah kemampuan untuk mendeteksi dan memantau debris yang sangat kecil sekalipun, yang dapat berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada satelit aktif atau stasiun luar angkasa. Untuk itu, berbagai jenis sensor digunakan, seperti radar, teleskop optik, dan teknologi pemantauan berbasis laser, yang memungkinkan pemantauan debris yang berada di berbagai ketinggian orbit. Selain itu, sistem ini juga memfasilitasi analisis tabrakan dan potensi pertemuan antar objek yang mengorbit (Reis, 2024). Sistem pemantauan ini dikelola oleh konsorsium yang terdiri dari lembaga-lembaga nasional seperti ASI (Italia), CNES (Prancis), DLR (Jerman), dan UKSA (Inggris), yang bekerja sama untuk meningkatkan akurasi pemantauan dan melindungi satelit serta infrastruktur antariksa lainnya. Salah satu tantangan terbesar dalam hal ini adalah koordinasi antarnegara anggota Uni Eropa dan negara non-UE dalam berbagi data dan informasi mengenai debris, yang memerlukan kebijakan yang jelas dan kerangka hukum yang mendukung pertukaran informasi secara efektif (Reis, 2024).

2.4.3.4 Keamanan Antariksa sebagai Prioritas Strategis

Uni Eropa tidak hanya menganggap mitigasi sampah antariksa sebagai masalah teknis dan operasional semata, tetapi juga sebagai isu yang memiliki dimensi keamanan strategis yang penting. Melalui kebijakan *Space Situational Awareness* (SSA) dan *Space Surveillance and Tracking* (SST), Uni Eropa memperkenalkan pendekatan yang lebih holistik dalam mengelola

ruang angkasa. Dalam konteks ini, keamanan antariksa dipandang sebagai bagian integral dari kebijakan luar negeri dan pertahanan Eropa. Ini tercermin dalam upaya Uni Eropa untuk mengintegrasikan konsep keamanan antariksa ke dalam kerangka kebijakan pertahanan dan keamanan yang lebih luas (Reis, 2024). Salah satu kebijakan utama yang telah diadopsi Uni Eropa adalah pembentukan *EU Global Strategy on Foreign and Security Policy*, yang menekankan pentingnya perlindungan terhadap infrastruktur kritis di luar angkasa, baik dalam konteks sipil maupun militer. Strategi ini menyoroti risiko yang ditimbulkan oleh debris antariksa, serta ancaman lainnya yang berasal dari cuaca antariksa dan serangan siber, yang semuanya dapat mempengaruhi stabilitas dan keberlanjutan operasional sistem antariksa Eropa (Reis, 2024). Melalui kebijakan ini, Uni Eropa berusaha untuk mengembangkan kerangka kerjasama internasional yang tidak hanya bertujuan untuk mengurangi debris, tetapi juga untuk memastikan keberlanjutan operasional satelit dan infrastruktur antariksa lainnya. Dalam konteks ini, kolaborasi sipil-militer sangat penting, mengingat bahwa banyak sistem satelit yang memiliki dual-use, artinya dapat digunakan untuk tujuan sipil maupun militer. Oleh karena itu, mengintegrasikan kebijakan mitigasi sampah antariksa dalam kebijakan pertahanan menjadi sangat relevan dalam konteks mengurangi potensi ancaman terhadap aset ruang angkasa yang kritis (Papadimitriou et al., 2019).

2.4.3.5 Pembentukan Kerangka Hukum Internasional dan Diplomasi Antariksa

Dalam menghadapi tantangan global yang ditimbulkan oleh sampah antariksa, Uni Eropa tidak hanya mengandalkan kebijakan domestik, tetapi juga berperan aktif dalam merumuskan dan memperkuat kerangka hukum internasional yang mengatur aktivitas di luar angkasa. Salah satu inisiatif penting yang diajukan oleh Uni Eropa adalah proposal untuk *International Code of Conduct for Outer Space Activities*, yang bertujuan untuk mendorong transparansi dan membangun kepercayaan antara negara-negara pengguna ruang angkasa (Papadimitriou et al., 2019). Proposal ini muncul sebagai respons terhadap meningkatnya kekhawatiran terkait kurangnya regulasi internasional yang mengatur aktivitas antariksa, yang menyebabkan kurangnya pertanggungjawaban dalam penanganan sampah antariksa. Meskipun belum disetujui secara universal, inisiatif ini menunjukkan komitmen Uni Eropa untuk memimpin dalam mengembangkan standar perilaku internasional yang mengatur aktivitas di luar angkasa, guna memitigasi dampak negatif dari sampah antariksa yang semakin meningkat. Selain itu, kerangka ini juga diharapkan dapat mengurangi kemungkinan konflik yang muncul akibat ketidakpastian dan kurangnya koordinasi antarnegara mengenai aktivitas antariksa (Lieberman & Hoerber, 2024). Lebih lanjut, Uni Eropa juga berusaha untuk mendorong dialog antarnegara melalui forum-forum internasional, termasuk Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Dalam forum ini, negara-negara anggota Uni Eropa mendorong

pembentukan regulasi yang lebih ketat mengenai pengelolaan sampah antariksa, serta mendukung pengembangan teknologi baru yang dapat membantu dalam pemantauan dan pembersihan debris di luar angkasa (Papadimitriou et al., 2019).

2.4.3.6 Teknologi dan Inovasi dalam Mitigasi Sampah Antariksa

Salah satu area yang sangat penting dalam kebijakan mitigasi sampah antariksa Uni Eropa adalah pengembangan teknologi baru untuk mendeteksi, melacak, dan mengelola debris di luar angkasa. Uni Eropa, melalui lembaga-lembaga seperti ESA, berperan aktif dalam riset dan pengembangan teknologi canggih untuk memitigasi dampak sampah antariksa. Teknologi ini mencakup berbagai sistem pemantauan, pembersihan debris, serta desain misi yang lebih ramah lingkungan (Bonnal et al., 2009). Salah satu contoh inovasi teknologi yang diterapkan dalam kebijakan ini adalah pengembangan sistem *laser-based debris removal*. Teknologi ini menggunakan laser untuk mengubah lintasan debris antariksa yang lebih kecil, sehingga objek-objek tersebut dapat dipindahkan ke orbit yang lebih tinggi atau menuju atmosfer untuk terbakar sebelum mencapai orbit yang lebih sensitif. Selain itu, beberapa proyek juga sedang mengembangkan satelit yang dapat menangkap debris besar dan membawanya ke orbit lebih rendah untuk dibakar dalam atmosfer. Teknologi-teknologi ini diharapkan dapat

mengurangi jumlah debris yang ada di orbit Bumi, sehingga mencegah kerusakan lebih lanjut pada satelit dan infrastruktur antariksa lainnya (Bonnal et al., 2009). Selain itu, ESA juga mengembangkan teknologi *Active Debris Removal* (ADR), yang melibatkan penggunaan robotika dan teknologi canggih lainnya untuk secara langsung menangani debris yang lebih besar dan berbahaya. Dengan demikian, Uni Eropa tidak hanya berfokus pada pencegahan, tetapi juga pada pemulihan orbit yang sudah tercemar oleh sampah antariksa (Bonnal et al., 2009).

2.4.3.7 Kolaborasi Internasional dan Sinergi Lintas Sektor

Salah satu kekuatan utama kebijakan mitigasi sampah antariksa Uni Eropa adalah pendekatannya yang berbasis pada kolaborasi internasional dan sinergi lintas sektor. Uni Eropa menyadari bahwa masalah sampah antariksa adalah tantangan global yang memerlukan kerjasama antarnegara dan lembaga, baik di tingkat bilateral maupun multilateral. Oleh karena itu, Uni Eropa aktif membentuk kemitraan dengan negara-negara besar lainnya serta organisasi internasional dalam rangka memperkuat tata kelola antariksa global (González Muñoz & Portela, 2023). Sebagai contoh, Uni Eropa bekerja sama dengan Amerika Serikat, Rusia, dan negara-negara besar lainnya dalam forum-forum internasional yang diorganisir oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dan lembaga antariksa internasional. Di dalam forum ini, negara-negara anggota Uni Eropa mendorong pembentukan standar global mengenai pengelolaan sampah antariksa dan peraturan yang mengatur penggunaan

ruang angkasa secara bertanggung jawab. Selain itu, Uni Eropa juga memperkuat kerjasama dengan negara-negara berkembang melalui program transfer teknologi dan pendampingan dalam mengembangkan infrastruktur ruang angkasa yang lebih berkelanjutan (Papadimitriou et al., 2019). Di samping itu, Uni Eropa juga menekankan pentingnya sinergi antara sektor sipil dan militer dalam pengelolaan sampah antariksa. Pendekatan ini mencerminkan pemahaman bahwa keberlanjutan ruang angkasa tidak hanya melibatkan infrastruktur sipil, tetapi juga harus mempertimbangkan kepentingan keamanan dan pertahanan negara. Dengan demikian, kebijakan mitigasi sampah antariksa Uni Eropa memperhitungkan seluruh aspek, dari teknis hingga strategis, dengan melibatkan berbagai pihak yang memiliki kepentingan langsung dalam penggunaan ruang angkasa (Reis, 2024).

2.4.3.8 Tantangan dan Prospek Kebijakan Mitigasi Sampah Antariksa Uni Eropa

Meskipun telah berhasil membangun kebijakan yang komprehensif, kebijakan mitigasi sampah antariksa Uni Eropa menghadapi berbagai tantangan yang signifikan. Salah satu tantangan terbesar adalah ketergantungan pada teknologi yang belum sepenuhnya matang, terutama dalam hal pengembangan teknologi pembersihan debris aktif (ADR). Meskipun beberapa teknologi, seperti *laser-based removal* dan *robotic capture*, sudah dalam tahap eksperimen, penerapan teknologi ini dalam skala besar masih membutuhkan waktu dan investasi yang besar (Bonnal et al.,

2009). Selain itu, masalah koordinasi antara berbagai negara anggota Uni Eropa juga tetap menjadi kendala. Meskipun ada upaya harmonisasi regulasi dan kebijakan melalui *EU Space Strategy for Security and Defence* dan sistem *Space Surveillance and Tracking* (SST), perbedaan prioritas dan kapasitas di antara negara-negara anggota seringkali memperlambat implementasi kebijakan yang lebih efektif dan komprehensif. Hal ini dapat menjadi masalah, mengingat pentingnya koordinasi yang baik dalam mengelola dan memitigasi dampak sampah antariksa di ruang angkasa yang semakin padat (González Muñoz & Portela, 2023). Namun demikian, meskipun menghadapi tantangan, prospek kebijakan mitigasi sampah antariksa Uni Eropa tetap sangat positif. Uni Eropa terus berinvestasi dalam riset dan pengembangan teknologi mitigasi sampah antariksa dan berupaya untuk memperkuat peranannya dalam pengelolaan ruang angkasa global. Dengan pendekatan yang berbasis pada kerjasama internasional dan kolaborasi lintas sektor, serta upaya untuk meningkatkan kapasitas teknis dan kelembagaan, Uni Eropa dapat terus memimpin dalam menciptakan masa depan yang lebih aman dan berkelanjutan bagi aktivitas ruang angkasa (Reis, 2024).

2.4.4 India

Sebagai salah satu negara berkembang yang memiliki kemampuan antariksa mandiri, India memegang peranan penting dalam perumusan dan implementasi kebijakan luar angkasa global. Seiring meningkatnya aktivitas peluncuran satelit dan eksplorasi luar angkasa oleh *Indian Space Research Organisation* (ISRO), tantangan terhadap keberlanjutan lingkungan antariksa

menjadi semakin nyata, khususnya terkait dengan sampah antariksa (*space debris*). Sampah antariksa telah menjadi isu mendesak dalam tata kelola antariksa kontemporer karena dampaknya terhadap keselamatan operasional satelit dan misi luar angkasa lainnya (Gupta, 2023). India, dengan ambisi menjelma sebagai kekuatan antariksa global, menghadapi dilema antara eksplorasi dan eksploitasi ruang angkasa yang progresif dengan tanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan antariksa. Meskipun India telah mengadopsi sejumlah prinsip internasional melalui keanggotaannya dalam traktat-traktat antariksa, hingga saat ini belum terdapat kerangka hukum domestik yang secara khusus mengatur mitigasi dan remediasi sampah antariksa (Gupta, 2023; Mallikarjun & Chandrashekar, 2020).

2.4.4.1 Konteks Aktivitas Antariksa India dan Permasalahan Sampah Antariksa

India merupakan salah satu dari sedikit negara yang memiliki kemampuan peluncuran antariksa secara mandiri, dengan program-program unggulan seperti Chandrayaan, Mars Orbiter Mission, dan yang terbaru misi Gaganyaan yang ditujukan untuk mengirim astronot ke orbit Bumi (Gupta, 2023). Seiring dengan ekspansi tersebut, jumlah objek luar angkasa yang diluncurkan oleh India juga meningkat, menambah kepadatan di orbit rendah Bumi (*low Earth orbit/LEO*), yang merupakan wilayah paling padat terhadap risiko tabrakan dengan puing-puing antariksa (Rohilla, 2022). Sampah antariksa dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk roket tahap akhir yang tertinggal di orbit, satelit yang tidak berfungsi, maupun pecahan akibat tabrakan antarsatelit. Sebagai

negara yang sangat bergantung pada layanan satelit untuk komunikasi, navigasi, dan penginderaan jauh, India sangat berkepentingan untuk memastikan bahwa ruang angkasa tetap aman dan layak digunakan dalam jangka panjang (Rajagopalan, 2021).

2.4.4.2 Kerangka Hukum Domestik dan Kelemahannya

Meskipun aktivitas antariksa India telah berkembang pesat sejak berdirinya ISRO pada 1969, hingga saat ini belum terdapat undang-undang nasional yang secara komprehensif mengatur pengelolaan dan mitigasi sampah antariksa. Beberapa aturan yang ada seperti *Atomic Energy Act, 1962* dan *Space Organization (Functions) Rules, 1983* bersifat terlalu umum dan tidak secara eksplisit menyoroti persoalan debris (Gupta, 2023). Selain itu, *Indian Space Research Organisation Act* yang menjadi landasan operasional ISRO juga tidak mencantumkan ketentuan khusus mengenai kewajiban mitigasi atau pembuangan satelit pascamisi (Mallikarjun & Chandrashekar, 2020). Kondisi ini menciptakan kekosongan regulatif yang dapat menghambat komitmen India dalam implementasi kebijakan mitigasi debris secara konsisten. Sebagai respons atas situasi ini, sejumlah pengamat menyarankan agar India segera menyusun *National Space Law* yang tidak hanya mengatur perizinan dan tanggung jawab operator, tetapi juga mewajibkan analisis mitigasi debris, prosedur *passivation*, serta *post-mission disposal* (Rohilla, 2022).

2.4.4.3 Partisipasi India dalam Hukum dan Tata Kelola

Antariksa Internasional

India merupakan negara pihak dalam empat dari lima traktat utama Perserikatan Bangsa-Bangsa terkait ruang angkasa, termasuk *Outer Space Treaty 1967 (OST)*, *Rescue Agreement 1968*, *Liability Convention 1972*, dan *Registration Convention 1975*. Meskipun traktat-traktat ini tidak secara eksplisit mengatur sampah antariksa, prinsip-prinsipnya, seperti tanggung jawab negara terhadap objek luar angkasa dan pencegahan kontaminasi lingkungan luar angkasa, menjadi dasar hukum penting dalam diskursus kebijakan debris global (Gupta, 2023; Mallikarjun & Chandrashekar, 2020). Selain itu, India juga berpartisipasi aktif dalam *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS)*. Melalui partisipasi ini, India mendukung penerapan *Space Debris Mitigation Guidelines* yang diadopsi oleh UNCOPUOS, meskipun sifatnya tidak mengikat secara hukum (Rohilla, 2022). India juga menjadi anggota dari *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC)*, forum teknis internasional yang merumuskan pedoman terbaik dalam mitigasi debris dan pertukaran data antar badan antariksa. Di tengah dinamika ini, India menunjukkan keinginan untuk berperan dalam pengembangan norma-norma internasional yang lebih mengikat. Hal ini menjadi penting karena keberadaan norma internasional yang kuat akan menjamin pendekatan kolektif terhadap mitigasi debris, serta mencegah fragmentasi kebijakan antar negara (Rajagopalan, 2021).

2.4.4.4 Strategi Mitigasi Sampah Antariksa oleh ISRO

Sebagai pelaksana utama kebijakan antariksa nasional, ISRO telah mulai menerapkan sejumlah prosedur teknis yang berkontribusi pada mitigasi debris. Misalnya, dalam misi PSLV-C56, ISRO secara aktif melakukan *passivation* dan *controlled de-orbiting* terhadap tahap terakhir roket guna menghindari menjadi sampah orbit jangka panjang (Gupta, 2023). ISRO juga melaksanakan misi dengan desain berkelanjutan, di mana satelit-satelit baru yang diluncurkan dilengkapi dengan sistem untuk memindahkan diri keluar dari orbit operasi ketika misi telah selesai. Selain itu, dalam kerangka kerjasama IADC, ISRO turut serta dalam pertukaran informasi debris dan analisis kemungkinan tabrakan (Mallikarjun & Chandrashekar, 2020). Upaya teknis ISRO tidak hanya terbatas pada mitigasi. Saat ini ISRO juga sedang mengembangkan teknologi remediasi sampah antariksa seperti *robotic arms*, *harpoons*, dan jaring orbital, meskipun masih dalam tahap riset awal. Kolaborasi internasional akan sangat diperlukan mengingat biaya dan tantangan teknis dari misi pembersihan orbit sangat besar (Gupta, 2023).

2.4.4.5 Kepentingan Strategis India dalam Mitigasi Sampah Antariksa

Kepentingan strategis India terhadap keberlanjutan lingkungan luar angkasa tidak dapat dilepaskan dari meningkatnya ambisi dan ketergantungan negara ini terhadap sistem satelit. India mengoperasikan

salah satu konstelasi satelit terbesar di dunia, termasuk satelit penginderaan jauh, komunikasi, navigasi, serta wahana luar angkasa untuk eksplorasi bulan dan Mars (Mallikarjun & Chandrashekar, 2020). Gangguan terhadap sistem satelit akibat debris tidak hanya membahayakan keberhasilan misi, tetapi juga berimplikasi pada sektor-sektor penting seperti pertanian, mitigasi bencana, dan keamanan nasional. Oleh karena itu, menjaga akses aman ke luar angkasa merupakan bagian dari strategi jangka panjang India untuk mempertahankan otonomi teknologi, daya saing ekonomi, dan kapasitas pertahanan (Gupta, 2023). Dalam konteks ini, kebijakan mitigasi debris bukan sekadar isu teknis, melainkan juga bagian dari agenda geopolitik dan pertahanan nasional. India juga tengah mengembangkan program awak antariksa pertamanya melalui *Program Gaganyaan*. Dalam konteks ini, debris orbital menjadi risiko langsung terhadap keselamatan astronot dan keberlangsungan misi. Kecelakaan yang melibatkan tabrakan debris tidak hanya akan menimbulkan kerugian ekonomi, tapi juga mencoreng reputasi India sebagai negara antariksa yang kredibel (Rohilla, 2022).

2.4.5 Russia

2.4.5.4 Pendekatan Teknis: Mitigasi Sampah Antariksa oleh Rusia

Mitigasi sampah antariksa oleh Rusia dimulai dari sistem observasi dan deteksi yang canggih. Selain mengoperasikan jaringan

radar-mikrogelombang SKKP untuk memantau objek di orbit rendah hingga menengah, Roscosmos sejak 2016 mengembangkan ASPOS OKP (*Automated Warning System on Hazardous Situations in Outer Space*) yang melacak debris di orbit geostasioner secara real-time dan memproyeksi lintasan puing-puing untuk memberi peringatan dini kepada operator satelit (Suryaatmadja, 2020). Data ini kemudian diintegrasikan dengan model SDPA (*Space Debris Prediction and Analysis*) yang menggunakan algoritma numerik untuk memprediksi evolusi kepadatan debris, sehingga manajer misi dapat mengambil keputusan *collision avoidance* dengan lebih akurat. Pada tahap desain dan manufaktur, Rusia menerapkan GOST R 52925-2018 yang mengharuskan setiap wahana antariksa menjalani *passivation*—proses pemadaman sumber energi sisa seperti bahan bakar dan baterai—setelah melewati *end-of-life* (Suryaatmadja, 2020). Sebagai contoh, roket Soyuz-2 dan upper stage Briz-M dilengkapi sistem pelepasan tekanan otomatis yang meminimalkan risiko ledakan fragmentasi di orbit. Untuk satelit, standar ini juga mensyaratkan penguncian momentum guna menghentikan elemen-elemen berputar yang berpotensi melepaskan potongan logam kecil. Strategi pencegahan tabrakan di orbit GEO dilaksanakan melalui kolokasi terencana dan pertukaran data lintasan dengan operator lain. Dalam dua misi ganda—Yamal-300K bersama Luch-5B dan Express-AM3 bersama SAT-32—pengaturan zona longitude dan *station-keeping* terkoordinasi memungkinkan jarak aman minimal

dipertahankan di bawah 5 km, sekaligus menjaga efisiensi bahan bakar (Loginov et al., 2013). Langkah ini diperkuat oleh kerjasama dengan *International Scientific Optical Network (ISON)* yang menyediakan pengamatan optik lintang tinggi, sehingga seluruh portal data pemantauan dapat diakses oleh lembaga antariksa federasi lain.

2.4.5.5 Orientasi Strategis dan Ancaman dalam Kebijakan Antariksa Rusia

Dalam beberapa tahun terakhir, Kremlin menegaskan bahwa ruang angkasa adalah domain strategis yang memerlukan postur pertahanan aktif (*active defense*). Doktrin ini menekankan kemampuan Rusia untuk menetralkan sistem satelit lawan sebelum atau sesaat setelah konflik konvensional pecah—suatu pendekatan yang secara eksplisit dijabarkan dalam dokumen strategis militer tahun 2022 (Swope et al., 2024). Pengembangan ASAT *direct-ascent*, seperti rudal Nudol, bertujuan memberikan opsi serangan kinetik terhadap satelit ISR (*Intelligence, Surveillance, Reconnaissance*) musuh di orbit rendah, meski risikonya tinggi menambah fragmen debris. Aspek lain dari kebijakan strategis adalah penggunaan satelit inspeksi *Luch/Olymp* untuk operasi *close proximity*—misi RPO (*Rendezvous and Proximity Operations*) yang mampu mendekati satelit target hingga beberapa meter. Meski resmi dinyatakan untuk perawatan dan layanan on-orbit, muncul kekhawatiran penggunaan fungsi ini untuk interferensi sinyal, penekanan

panel surya, atau bahkan *harassment* kinetik yang dapat merusak komponen satelit (Swope et al., 2024). Insiden misterius meledaknya satelit Cosmos 2491 dan 2499 pada 2015–2017 memberikan bukti praktik RPO yang diakhiri fragmentasi porak-poranda, menciptakan puing yang diproyeksikan bertahan di orbit hingga ratusan tahun. Lebih jauh, retorika militer Rusia yang menganggap satelit sipil Barat sebagai *legitimate military targets* telah mengaburkan batasan antara fungsi sipil dan militer di ruang angkasa (Bingen et al., 2023). Pernyataan ini, jika diikuti tindakan, akan menimbulkan preseden berbahaya yang meruntuhkan prinsip *peaceful uses* dalam *Outer Space Treaty* 1967, sekaligus meningkatkan potensi eskalasi debris secara eksponensial.

2.4.5.6 Konteks Operasional Rusia dalam Teknologi Counterspace

Rusia memandang ruang angkasa sebagai arena strategis yang tidak hanya digunakan untuk tujuan eksplorasi dan komunikasi, tetapi juga sebagai medan persaingan teknologi dan kekuatan. Dalam menghadapi ancaman terhadap kapabilitas ruang angkasanya, Rusia telah mengembangkan berbagai teknologi *counter space* untuk menjaga superioritas militer dan defensif. Program ini mencakup pengembangan sistem anti-satelit (ASAT), yang bertujuan untuk menghancurkan atau merusak satelit musuh dengan menggunakan senjata kinetik, sistem laser, serta serangan siber. Salah satu contoh yang terkenal adalah Nudol,

sebuah sistem ASAT yang diuji pada 2014 dan dikabarkan memiliki kemampuan untuk menargetkan satelit di orbit rendah Bumi (Stefanovich, 2023). Selain ASAT, Rusia juga mengoperasikan satelit inspeksi yang sering digunakan untuk *close proximity operations* (CPO). Meskipun diklaim untuk tujuan pemeliharaan satelit, operasi CPO ini dapat berisiko digunakan untuk melakukan manipulasi atau bahkan perusakan terhadap satelit lawan (Bingen et al., 2023). Teknologi ini mengarah pada kekhawatiran bahwa satelit inspeksi tersebut bisa digunakan untuk mengganggu satelit musuh dengan cara yang tidak terdeteksi, suatu potensi yang memperburuk lingkungan orbit dan menciptakan debris. Tidak hanya di ranah teknologi ASAT, Rusia juga memanfaatkan sistem *Space Domain Awareness* (SDA) yang dilengkapi dengan jaringan radar canggih, opto-elektronik, dan kemampuan laser untuk memantau objek di orbit dan mendeteksi ancaman dari luar angkasa. Sistem ini secara aktif dimodernisasi untuk meningkatkan akurasi deteksi debris dan ancaman dari satelit musuh. Dalam situasi geopolitik yang semakin memanas, terutama terkait dengan ketegangan di Ukraina, penggunaan sistem jamming dan serangan siber terhadap satelit lawan menjadi lebih intensif, menunjukkan bahwa dominasi ruang angkasa menjadi lebih terkait erat dengan strategi keamanan nasional Rusia (Bingen et al., 2023).

2.4.5.7 Tanggung Jawab Internasional dan Regulasi Nasional Rusia

Rusia memiliki kewajiban internasional untuk memastikan bahwa aktivitas antariksa yang dilakukannya tidak merusak lingkungan luar angkasa, termasuk meningkatnya jumlah sampah antariksa. *Outer Space Treaty* (1967) dan *Liability Convention* (1972) merupakan landasan hukum internasional yang mengatur tanggung jawab negara atas kerusakan yang disebabkan oleh aktivitas luar angkasa, termasuk debris yang ditinggalkan oleh satelit atau roket yang diluncurkan. Menurut Pasal VI dan VII dari *Outer Space Treaty*, Rusia bertanggung jawab secara internasional atas setiap aktivitas antariksa yang menyebabkan kerusakan, baik di orbit, di atmosfer, maupun di permukaan Bumi (Suryaatmadja, 2020). Rusia mengimplementasikan regulasi internasional ini melalui penerapan standar teknis nasional, seperti GOST R 52925-2018, yang mengatur mitigasi sampah antariksa pada setiap tahap misi antariksa, mulai dari desain hingga pembuangan objek luar angkasa yang telah mencapai masa akhir operasional (Suryaatmadja, 2020). Sebagai contoh, Rusia memanfaatkan prosedur *passivation* untuk memastikan bahwa satelit yang sudah tidak aktif tidak akan meledak dan menciptakan debris tambahan. Selain itu, Rusia juga mengoperasikan ASPOS OKP dan SKKP, dua sistem yang berfokus pada deteksi dan pelacakan objek di orbit, serta memberikan peringatan dini terhadap potensi tabrakan yang dapat memperburuk masalah debris (Loginov et al., 2013). Namun, meskipun Rusia menunjukkan komitmennya dalam regulasi nasional dan internasional, praktik seperti uji coba ASAT yang dilaksanakan pada 2021

menunjukkan bahwa tindakan negara ini terkadang kontradiktif dengan prinsip pengelolaan ruang angkasa yang berkelanjutan. Uji coba tersebut menghasilkan lebih dari 1.500 fragmen debris yang menambah beban lingkungan orbital, menunjukkan adanya ketegangan antara kepentingan pertahanan dan kewajiban untuk melindungi ruang angkasa sebagai domain global yang dapat digunakan oleh semua negara (Stefanovich, 2023).

2.4.5.8 Analisis Kritis dan Perbandingan Internasional

Ketika dibandingkan dengan negara-negara lain seperti Tiongkok dan Uni Eropa, kebijakan mitigasi sampah antariksa Rusia cenderung lebih agresif dan militeristik, dengan penekanan pada pengembangan kemampuan ASAT dan pengelolaan satelit inspeksi. Meskipun Rusia telah mengembangkan regulasi nasional yang cukup solid dalam mitigasi debris, kebijakan dan tindakan yang lebih konfrontatif—terutama terkait dengan uji coba senjata anti-satelit dan manuver satelit inspeksi—mengindikasikan adanya ketegangan antara kepentingan strategis negara dan komitmennya terhadap keberlanjutan ruang angkasa (Huminski, 2021; Swope et al., 2024). Sebagai perbandingan, Tiongkok lebih menekankan pendekatan teknokratis dan kolaboratif dalam mitigasi sampah antariksa, dengan fokus pada pengembangan teknologi pembuangan debris dan penanganan sampah melalui proyek seperti Tiangong dan *China's Space Station*, yang

dilengkapi dengan teknologi pencegahan tabrakan dan pemantauan debris (Stefanovich, 2023). Uni Eropa, di sisi lain, memiliki kebijakan yang lebih berbasis pada soft law, dengan inisiatif seperti *ESA's Space Debris Mitigation Compliance Verification Guidelines* yang mengatur operasi satelit dengan tujuan mengurangi debris.