



# Tantangan Hukum dan Keamanan dalam Mitigasi Sampah Luar Angkasa Tak Teridentifikasi: Ancaman bagi Misi Antariksa dan Keselamatan Astronot

Nurul Adzkia\*, Linda Rahma Wati, Erzavin Daveri, Ema Septaria, M. Ilham Adepio

Fakultas Hukum, Universitas Bengkulu

**Abstrak:** Sampah antariksa yang tidak teridentifikasi menjadi ancaman signifikan bagi keberlanjutan eksplorasi luar angkasa dan keselamatan astronot. Seiring meningkatnya jumlah objek buatan di orbit Bumi, risiko tabrakan serta kerusakan terhadap satelit dan wahana antariksa operasional pun semakin besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tantangan hukum dan keamanan dalam mitigasi sampah antariksa tak teridentifikasi dengan menggunakan metode penelitian hukum normatif melalui pendekatan studi kepustakaan. Analisis difokuskan pada perjanjian internasional utama, seperti *the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies (Outer Space Treaty 1967)*, *the Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects 1972 (Liability Convention 1972)*, and *the Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space 1967 (Rescue Agreement 1967)*, untuk mengevaluasi kecukupan kerangka hukum yang ada. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa meskipun perjanjian-perjanjian tersebut telah memberikan dasar hukum umum, masih terdapat kekosongan dalam hal atribusi kepemilikan, mekanisme penegakan hukum, dan identifikasi sampah, khususnya untuk objek yang tidak dapat dilacak. Selain itu, keterbatasan teknologi pemantauan saat ini juga menyulitkan deteksi terhadap sampah kecil yang berpotensi menimbulkan kerusakan serius. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan penguatan regulasi internasional, pengembangan teknologi pelacakan yang lebih presisi, serta peningkatan kerja sama global dalam upaya pembersihan sampah antariksa untuk menjamin keselamatan dan keberlanjutan misi luar angkasa di masa depan.

**Kata Kunci:** Sampah Antariksa, Hukum Luar Angkasa, Keselamatan Astronot, Mitigasi

DOI:

<https://doi.org/10.47134/ijlj.v2i4.3911>

\*Correspondence: Nurul Adzkia

Email: [nurulaadzkaa@gmail.com](mailto:nurulaadzkaa@gmail.com)

Received: 15-04-2025

Accepted: 21-05-2025

Published: 11-06-2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Unidentified space debris poses a significant threat to the sustainability of space exploration and the safety of astronauts. As the number of artificial objects in Earth's orbit increases, so does the risk of collision and damage to satellites and operational spacecraft. This research aims to examine the legal and security challenges in mitigating unidentified space debris using a normative legal research method through a desk-based approach. The analysis focuses on key international treaties, such as the *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies (Outer Space Treaty 1967)*, the *Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects 1972 (Liability Convention 1972)*, and the *Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space 1967 (Rescue Agreement 1967)*, to evaluate the adequacy of the existing legal framework. The results show that while the agreements provide a general legal basis, there are still gaps in ownership attribution, enforcement mechanisms, and debris identification, particularly for untraceable objects. In addition, the limitations of current monitoring technology also make it difficult to detect small debris that has the potential to cause severe damage. To address these issues, strengthening international regulations, developing more precise tracking technologies, and increasing global cooperation in space debris removal efforts are needed to ensure the safety and sustainability of future space missions.

**Keywords:** Space Debris, Space Law, Astronaut Safety, Mitigation

## Pendahuluan

Perkembangan teknologi antariksa yang pesat dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong peningkatan peluncuran satelit ke orbit Bumi (Pratiwi & Widagdo, 2014). Hal ini membuka peluang besar bagi eksplorasi dan pemanfaatan luar angkasa, baik untuk kepentingan komunikasi, navigasi, observasi, maupun penelitian ilmiah (Mulyana & Hidayat, 2019). Inovasi dalam bidang peluncuran roket, pengembangan satelit, dan sistem pendukung lainnya telah memungkinkan semakin banyak negara dan perusahaan swasta untuk mengirimkan satelit ke orbit Bumi. Pada Mei 2022, terdapat sekitar 5.500 satelit aktif yang terdaftar mengorbit Bumi (Jamaludin, 2024a). Sedangkan pada April 2024, terdapat 9.822 satelit aktif yang mengorbit Bumi (Jamaludin, 2024b). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah objek buatan manusia yang mengorbit Bumi terus meningkat.

Namun, di balik kemajuan tersebut, muncul permasalahan serius berupa sampah antariksa, khususnya sampah satelit yang tak teridentifikasi (Mulyana & Hidayat, 2019). Sampah antariksa terdiri dari pecahan satelit, sisa roket, dan objek buatan manusia lainnya yang telah kehilangan fungsi tetapi tetap mengorbit. Berdasarkan data dari *Slingshot Aerospace* yang berbasis di Amerika Serikat, lebih dari 14.000 satelit saat ini mengorbit di sekitar Bumi, dengan sekitar 3.500 di antaranya sudah tidak lagi berfungsi (Maulana, 2024). Jaringan pemantauan milik *European Space Agency* (ESA) melaporkan bahwa pada tahun 2024 terdapat lebih dari 35.000 objek yang mengorbit di luar angkasa. Dari jumlah tersebut, sekitar 26.000 merupakan puing-puing yang berasal dari pecahan satelit atau wahana antariksa dengan ukuran lebih dari 4 inci (*Laporan ESA: Jumlah Tabrakan Puing Antariksa Diprediksi Meningkat*, 2024).

Laporan dari ESA pada tahun 2024 menyatakan bahwa jumlah sampah antariksa terus meningkat, dengan prediksi lebih dari 40.000 puing-puing berdiameter lebih dari 10 cm di orbit Bumi. Selain itu, terdapat sekitar 120 juta pecahan puing yang berasal dari aktivitas peluncuran, tabrakan, dan proses keausan satelit serta peralatan antariksa lainnya. Menurut perkiraan ESA, terdapat sekitar 130 juta objek berukuran kurang dari 1 cm dan 34.000 objek dengan ukuran lebih dari 10 cm yang melintas di orbit Bumi dengan kecepatan ribuan kilometer per jam (Trijatna, 2022). Sebuah laporan yang disampaikan dalam konferensi Eropa tahun ini tentang puing-puing antariksa mengungkapkan bahwa jumlah sampah luar angkasa berpotensi meningkat hingga lima puluh kali lipat pada tahun 2100 (*9th European Conference on Space Debris*, 2024). Keberadaan sampah tersebut menjadi ancaman nyata bagi kelangsungan misi antariksa dan keselamatan astronaut, mengingat kecepatan tinggi objek-objek ini berpotensi menyebabkan tabrakan yang merusak.

Tabrakan antar objek antariksa dapat menghasilkan lebih banyak puing-puing, menciptakan efek domino yang berpotensi memperburuk situasi sampah antariksa di orbit. Setiap tabrakan dapat menambah jumlah pecahan sampah dan meningkatkan risiko kerusakan pada pesawat antariksa. *International Space Station* (ISS) harus melakukan manuevers beberapa kali untuk menghindari tabrakan dengan sampah antariksa. ISS sendiri bergerak pada kecepatan sekitar 28.164 km/jam, sehingga risiko tabrakan dengan objek lain di orbit sangat tinggi (Yuniarti, 2015).

Dengan meningkatnya jumlah sampah antariksa ini, lembaga antariksa di seluruh dunia menghadapi tantangan teknis yang kompleks dalam melacak dan mengelola objek-

objek ini. Salah satu tantangan utama adalah kesulitan dalam mengidentifikasi sampah yang sangat kecil, yang tidak terdeteksi oleh sistem pelacakan yang ada. Selain itu, kecepatan objek-objek tersebut yang sangat tinggi meningkatkan risiko kerusakan pada satelit operasional maupun misi luar angkasa. Oleh karena itu, lembaga antariksa perlu mengembangkan teknologi pelacakan yang lebih canggih dan sistem mitigasi yang dapat menangani puing-puing ini secara efektif.

Di sisi lain, kebijakan internasional yang ada saat ini masih terbatas dalam hal pengaturan sampah antariksa, sehingga perlu ada penyesuaian kebijakan yang lebih fleksibel dan responsif terhadap dinamika yang terus berkembang di luar angkasa. Aspek hukum terkait mitigasi sampah satelit tak teridentifikasi masih menghadapi banyak tantangan, terutama dalam menentukan tanggung jawab dan regulasi internasional yang jelas. Oleh karena itu, diperlukan pembahasan mendalam mengenai tantangan hukum dan keamanan dalam mitigasi sampah satelit tak teridentifikasi, demi menjaga keberlangsungan eksplorasi dan keselamatan di antariksa.

Penelitian ini adalah Penelitian dengan metode normatif dengan studi kepustakaan dari penelitian-penelitian terdahulu. Pertama, Shannon Suryaatmadja dalam artikelnya "Mitigasi Sampah Antariksa: Meninjau Kesiapan Regulasi Nasional" menyoroti upaya mitigasi dari perspektif masyarakat internasional, dengan meninjau hukum positif serta implementasinya, terutama yang dilakukan oleh Indonesia (Suryaatmadja, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa regulasi nasional perlu diperkuat agar dapat selaras dengan kebijakan global dalam mengatasi permasalahan sampah antariksa.

Kedua, Cut Desry Chairunnisa dan Rosmawati dalam penelitian mereka "Tanggung Jawab Negara Dalam Pengupayaan Pembersihan Sampah Antariksa (*Space Debris*) Ditinjau Dari Hukum Internasional" menyoroti fakta bahwa beberapa negara memiliki sampah antariksa yang berasal dari roket atau satelit bekas, bahkan satelit yang sengaja dihancurkan dalam uji coba senjata. Penelitian ini juga mencatat bahwa tidak semua permasalahan yang timbul akibat sampah antariksa diselesaikan oleh negara yang bersangkutan, terutama jika negara tersebut tidak menganggapnya sebagai ancaman (Chairunnisa & Rosmawati, 2021).

Ketiga, Asyam Mulia Zhafran, Maria Maya Lestari, dan Ledy Diana dalam "Upaya Pembersihan Sampah Ruang Angkasa Sebagai Implementasi Tanggung Jawab Negara Terhadap Penanganan Sampah Ruang Angkasa Berdasarkan Space Treaty 1967" mengungkapkan bahwa terdapat dua permasalahan utama dalam pengelolaan sampah antariksa, yaitu keselamatan astronot dan keamanan satelit buatan dari puing-puing di ruang angkasa. Selain itu, mereka menekankan bahwa tanggung jawab hukum atas kerugian yang diakibatkan oleh sampah antariksa dibebankan kepada pemilik satelit, kecuali terdapat perjanjian khusus antara negara-negara terkait (Zhafran et al., 2023).

Secara keseluruhan, berbagai penelitian tersebut menegaskan bahwa mitigasi sampah antariksa memerlukan pendekatan multidimensional, mencakup revisi regulasi, penguatan kerja sama internasional, serta pengembangan teknologi yang lebih efektif. Indonesia sebagai negara yang mulai berkembang dalam sektor antariksa perlu menyesuaikan kebijakan dan regulasinya agar sejalan dengan upaya global dalam mengatasi permasalahan ini. Namun, penelitian-penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan dalam mengulas secara spesifik mengenai tantangan hukum dan keamanan

dalam mitigasi sampah satelit tak teridentifikasi. Oleh karena itu, tulisan ini akan membahas secara eksplisit aspek tersebut, guna memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai implikasi hukum dan kebijakan yang diperlukan untuk mengatasi permasalahan ini secara lebih komprehensif.

Artikel ini mengkaji tantangan hukum dan keamanan terkait mitigasi sampah satelit tak teridentifikasi, yang masih jarang dibahas secara mendalam dalam literatur ilmiah. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada sampah antariksa secara umum, artikel ini menyoroti secara spesifik ancaman yang ditimbulkan oleh sampah luar angkasa tak teridentifikasi terhadap misi antariksa dan keselamatan astronot. Studi ini mengeksplorasi dampak sampah luar angkasa terhadap keselamatan astronaut dan misi luar angkasa serta mengusulkan langkah mitigasi berbasis regulasi dan teknologi. Dengan mengintegrasikan aspek hukum, teknis, dan kebijakan, dengan menekankan perlunya regulasi internasional yang lebih tegas serta pengembangan teknologi pelacakan dan mitigasi yang lebih efektif. Dengan mengupas berbagai tantangan dan memberikan rekomendasi solusi yang inovatif, artikel ini diharapkan dapat menjadi kontribusi penting dalam upaya menjaga keamanan dan kelangsungan eksplorasi antariksa di masa mendatang.

## Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian hukum normatif. Metode ini pada dasarnya merupakan pendekatan yang mengkaji hukum sebagai suatu norma atau kaidah yang berlaku dalam masyarakat serta dijadikan pedoman dalam aktivitas sehari-hari (Ulum, 2022). Penelitian hukum normatif bertujuan untuk menemukan aturan hukum, prinsip hukum, maupun doktrin hukum yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan hukum (Marzuki, 2008). Penelitian hukum normatif ini menggunakan pendekatan berbasis peraturan, dengan peraturan internasional sebagai sumber hukum primer, serta artikel dan literatur relevan sebagai bahan sekunder. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan bahan hukum tersier, seperti ensiklopedia dan sumber digital yang berkaitan dengan permasalahan yang dikaji. Data yang digunakan berasal dari publikasi akademis, laporan resmi, dan dokumen institusional terkait. Melalui analisis deskriptif, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi regulasi, kebijakan, dan praktik terkait Keamanan dalam Mitigasi Sampah Luar Angkasa Tak Teridentifikasi: Ancaman bagi Misi Antariksa dan Keselamatan Astronaut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan komprehensif mengenai kerangka hukum yang ada serta mengidentifikasi peluang perbaikan dan pengembangan kebijakan di masa depan.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaturan Hukum Internasional terkait Sampah Luar Angkasa Tak Teridentifikasi dan Mekanisme Mitigasinya

#### 1) Pengaturan Hukum Internasional

Menurut *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC)*, sampah antariksa adalah objek buatan manusia yang tidak lagi berfungsi dan berada di orbit atau atmosfer Bumi (Kusumaningtyas, 2018). Sampah ini menjadi ancaman besar bagi

keberlanjutan eksplorasi luar angkasa. Jumlahnya terus meningkat seiring banyaknya peluncuran satelit dan misi antariksa, sehingga membahayakan satelit aktif dan wahana berawak. Variasi ukuran dan orbitnya mempersulit pemantauan dan mitigasi. Di Low Earth Orbit (LEO), kepadatan debris tinggi meningkatkan risiko tabrakan yang menghasilkan lebih banyak puing—fenomena yang dikenal sebagai efek Kessler, yakni siklus tabrakan yang terus memperparah kondisi (Nugraha et al., 2024).

Selain risiko fisik, sampah antariksa yang tak teridentifikasi menyulitkan penanganan dan pertanggungjawaban hukum. Dalam hukum luar angkasa internasional, seperti *Outer Space Treaty 1967* dan *Liability Convention 1972*, negara peluncur bertanggung jawab atas objek luar angkasa yang mereka kirim. Namun, jika objek tak teridentifikasi, penentuan tanggung jawab menjadi rumit. Ini juga mengancam keselamatan astronaut, yang dilindungi oleh *Rescue Agreement 1967*. Situasi ini menekankan pentingnya kerja sama internasional untuk mengembangkan sistem pelacakan yang akurat dan mitigasi efektif. Teknologi seperti radar berbasis darat dan teleskop luar angkasa sangat krusial. Diperlukan kebijakan global dan inovasi berkelanjutan untuk mengatasi ancaman sampah antariksa.

a) *Outer Space Treaty 1967*

*Outer Space Treaty 1967* telah mengatur beberapa hal dalam rangka penanganan sampah luar angkasa yaitu pada Pasal VI, Pasal VII, dan Pasal VIII. Antara lain:

Pasal VI menegaskan menegaskan tanggung jawab internasional negara atas semua aktivitas nasional di luar angkasa, baik oleh lembaga pemerintah maupun entitas non-pemerintah. Entitas non-pemerintah hanya dapat beroperasi dengan izin dan di bawah pengawasan negara. Negara juga bertanggung jawab memastikan semua kegiatan warganya sesuai perjanjian. Kegiatan oleh organisasi internasional menjadi tanggung jawab organisasi dan negara yang berpartisipasi. Pasal ini menekankan pentingnya tanggung jawab negara dalam eksplorasi luar angkasa, termasuk pengelolaan sampah antariksa.

Pasal VII menyatakan bahwa negara yang meluncurkan, atau menyediakan wilayah/fasilitas peluncuran objek ke luar angkasa, bertanggung jawab atas kerusakan yang ditimbulkan oleh objek tersebut, termasuk pecahan atau sampah antariksa. Tanggung jawab ini mencakup kerusakan di Bumi, udara, maupun luar angkasa. Oleh karena itu, negara peluncur wajib mempertimbangkan aspek keselamatan dan dampak lingkungan dari setiap objek yang dikirim ke luar angkasa.

Pasal VIII menetapkan bahwa negara yang mendaftarkan objek luar angkasa tetap memiliki yurisdiksi dan kendali penuh atas objek tersebut, termasuk personalnya, selama berada di luar angkasa atau benda langit lain. Kepemilikan objek tidak berubah meskipun telah diluncurkan, mendarat, atau kembali ke Bumi. Objek yang ditemukan di luar wilayah negara pemiliknya harus dikembalikan, dengan data identifikasi disediakan jika diminta. Pasal ini menegaskan tanggung jawab negara peluncur atas objeknya, bahkan saat menjadi puing, sehingga

pentingnya pengelolaan sampah antariksa demi mengurangi risiko bagi negara lain dan lingkungan luar angkasa.

b) *Liability Convention 1972*

Tanggung jawab negara dalam penanganan sampah luar angkasa juga diatur dalam *Liability Convention 1972*, yaitu:

Pasal II menggambarkan prinsip tanggung jawab mutlak (*absolute liability*) bagi negara peluncur dalam hal terjadi kerusakan akibat objek luar angkasa di permukaan Bumi atau terhadap pesawat udara dalam penerbangan. Ketentuan ini mencerminkan pentingnya perlindungan hukum bagi negara dan individu yang terdampak oleh aktivitas luar angkasa, tanpa harus membuktikan adanya kesalahan atau kelalaian dari pihak peluncur. Oleh karena itu, negara yang meluncurkan atau memfasilitasi peluncuran objek luar angkasa tetap berkewajiban membayar kompensasi apabila terjadi insiden, bahkan jika kejadian tersebut bersifat tidak disengaja.

Pasal III mengatur tanggung jawab negara peluncur atas kerusakan yang terjadi di luar permukaan Bumi, termasuk terhadap objek luar angkasa negara lain atau astronaut. Dalam kasus tabrakan atau kerusakan akibat sampah antariksa, negara peluncur hanya bertanggung jawab jika terbukti ada kesalahan atau kelalaian. Ancaman terhadap keselamatan astronaut, seperti tabrakan dengan puing-puing luar angkasa atau kegagalan teknis yang disebabkan oleh kelalaian, bisa menjadi masalah serius dalam hal ini. Misalnya, jika puing dari satelit atau roket yang diluncurkan oleh suatu negara menabrak stasiun luar angkasa atau wahana antariksa yang berisi astronaut, negara peluncur objek yang menyebabkan kerusakan hanya akan bertanggung jawab jika bisa dibuktikan bahwa kecelakaan tersebut akibat kesalahan atau kelalaian.

Pasal IV ayat (1) mengatur mengenai jika kerusakan pada objek luar angkasa, orang, atau properti di dalamnya disebabkan oleh objek negara lain, kedua negara peluncur bertanggung jawab bersama. Dengan kondisi sebagai berikut:

- (a) Kerusakan di permukaan Bumi atau pesawat udara merupakan tanggung jawab mutlak tanpa perlu pembuktian kesalahan.
- (b) Kerusakan di luar permukaan Bumi merupakan tanggung jawab berdasarkan tingkat kesalahan salah satu atau kedua negara peluncur.

Pasal IV ayat (2) menjelaskan bahwa dalam tanggung jawab bersama, beban kompensasi untuk kerusakan dibagi sesuai tingkat kesalahan kedua negara peluncur atau dibagi rata jika kesalahan tak dapat ditentukan. Negara ketiga tetap dapat menuntut kompensasi penuh dari salah satu atau kedua negara peluncur. Pasal ini relevan dalam keselamatan astronaut dan objek luar angkasa, seperti kerusakan pada stasiun atau pesawat akibat kecelakaan antar objek luar angkasa, dengan tanggung jawab kompensasi dibagi sesuai kesalahan.

c) *Rescue Agreement 1967*

Perlindungan terhadap keselamatan astronaut dalam hal ancaman dari sampah luar angkasa secara tidak langsung diatur dalam *Rescue Agreement 1961*, antara lain:

Pasal I mengatur bahwa Setiap negara peserta yang menerima informasi atau menemukan awak pesawat antariksa yang mengalami kecelakaan, darurat, atau pendaratan tidak terduga di wilayahnya wajib untuk memberikan bantuan segera serta memberitahu negara peluncur dan Sekretaris Jenderal PBB. Contohnya adalah ketika sampah luar angkasa menyebabkan kerusakan pada wahana antariksa sehingga astronaut terdampar, negara penerima wajib menyelamatkan mereka.

Pasal II menjelaskan bahwa jika astronaut mendarat di wilayah yurisdiksi negara peserta, negara tersebut harus menyelamatkan dan memberikan pertolongan medis serta mengembalikan astronaut ke negara peluncur. Implikasinya ketika terdapat ancaman sampah luar angkasa yang menyebabkan kerusakan wahana antariksa tetap mengikat negara penerima untuk bertindak.

Pasal IV mengatur suatu kondisi ketika astronaut yang terdampar di laut bebas atau wilayah tanpa yurisdiksi wajib diselamatkan dan dikembalikan ke negara peluncur.

*Rescue Agreement 1967* memberikan perlindungan reaktif bagi astronaut dalam keadaan darurat, termasuk yang disebabkan oleh sampah luar angkasa. Sampah luar angkasa dapat menyebabkan kerusakan pada pesawat luar angkasa, kebocoran tekanan, atau kegagalan sistem yang memicu keadaan darurat. Perjanjian ini hanya mengatur tindakan pascakejadian (setelah ancaman terjadi) dan tidak mengatur langkah pencegahan atau mitigasi risiko sampah luar angkasa. Sehingga tidak memberikan kewajiban bagi negara untuk membersihkan sampah luar angkasa yang membahayakan misi astronaut.

2) Mekanisme Mitigasi

Mekanisme mitigasi risiko sampah luar angkasa telah menjadi fokus utama komunitas antariksa global dalam beberapa dekade terakhir, seiring dengan peningkatan signifikan aktivitas peluncuran dan akumulasi objek-objek tidak berfungsi di orbit Bumi. Strategi penanganan sampah antariksa saat ini diimplementasikan melalui pendekatan multi-dimensi yang mencakup aspek *preventive* dan *remedial*. Berbagai agensi antariksa dan organisasi internasional telah mengembangkan pedoman komprehensif untuk meminimalisir produksi sampah baru, sementara teknologi inovatif terus dikembangkan untuk mengatasi masalah sampah yang sudah ada.

Upaya mitigasi preventif dimulai dari tahap desain wahana antariksa dengan menerapkan prinsip "*design for demise*" yang memastikan satelit akan terbakar habis saat memasuki kembali atmosfer Bumi (Peter M.B. Waswa, 2013). Insinyur antariksa kini mendesain satelit dengan sistem deorbit otomatis yang terintegrasi, sehingga setelah masa operasionalnya berakhir, satelit dapat secara mandiri meninggalkan orbit operasionalnya. Untuk satelit di orbit LEO, berarti penurunan orbit mempercepat proses

deorbit alami melalui hambatan atmosfer, sementara untuk satelit geostasioner, wahana dipindahkan ke orbit pembuangan yang lebih tinggi, menjauh dari zona operasional yang padat. Praktek "*passivation*" juga diterapkan secara luas, melibatkan pengosongan sistem energi dan propulsi satelit untuk mencegah ledakan spontan yang dapat menghasilkan ribuan serpihan baru. Penggunaan bahan bakar dan komponen yang minim risiko fragmentasi juga menjadi standar dalam industri antariksa modern (Scott Hull, 2022).

Dari segi regulasi, komunitas antariksa internasional telah mengembangkan kerangka pedoman yang cukup dapat mencakup hal-hal terkait. *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC) dan *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (UNCOPUOS) telah menetapkan pedoman mitigasi yang dijadikan acuan oleh banyak negara dalam menyusun regulasi nasionalnya. Salah satu aturan paling signifikan adalah "*25-year rule*" yang mewajibkan satelit untuk menyingkir dari orbit operasional dalam jangka waktu 25 tahun setelah misi berakhir. Meskipun belum bersifat mengikat secara universal, pedoman ini telah diadopsi oleh banyak negara seperti Amerika Serikat dan China (Agency, n.d.). Kerja sama internasional juga melibatkan pertukaran *data tracking* dan katalog sampah antariksa, pengembangan sistem peringatan dini untuk potensi tabrakan, serta koordinasi manuver penghindaran antar operator satelit. Stasiun Antariksa Internasional, sebagai contoh, melakukan puluhan manuver penghindaran setiap tahunnya berdasarkan informasi dari jaringan pemantauan global.

Teknologi deteksi dan pelacakan sampah antariksa terus berkembang, dengan radar seperti Space Fence dan teleskop optik yang mampu mendeteksi objek kecil di berbagai orbit. Sistem multinasional seperti Space Surveillance Network mengintegrasikan data untuk katalog komprehensif, didukung algoritma prediksi dan AI untuk analisis data besar yang lebih efisien serta akurat. Inovasi pembersihan aktif mencakup wahana antariksa dengan lengan robotik, jaring, atau harpoon untuk menangkap sampah besar, propulsi khusus untuk mempercepat deorbit, dan penelitian laser berbasis darat untuk mengubah orbit sampah kecil. Satelit pembersih multi-misi sedang dikembangkan, seperti yang ditunjukkan oleh misi RemoveDEBRIS. Demonstrasi teknologi seperti misi *RemoveDEBRIS* telah menunjukkan potensi besar dalam mengatasi masalah sampah orbital yang sudah ada (Aglietti, 2019).

Mekanisme mitigasi lainnya mencakup pengembangan *magnetic tethers* yang dapat mempercepat deorbit sampah metalik melalui interaksi dengan medan magnet Bumi. Teknologi *sail deployment* yang meningkatkan hambatan atmosfer juga menunjukkan hasil menjanjikan dalam pengujian skala kecil. Konsep "*space tugboat*" yang dapat memindahkan beberapa sampah dalam satu misi sedang dalam tahap penelitian lanjutan. Riset tentang material *biodegradable* untuk komponen satelit masa depan juga sedang dilakukan untuk mengurangi dampak jangka panjang dari aktivitas antariksa.

Mitigasi sampah antariksa menjadi perhatian global, dengan berbagai negara bekerja sama dalam pengelolaan dan analisis data untuk membangun katalog sampah luar angkasa yang lebih akurat serta berbagi informasi pemantauan. Teknologi-teknologi

terkait hal tersebut terus dikembangkan untuk menganalisa dan memprediksi risiko tabrakan, memungkinkan peringatan dini yang lebih cepat dan efektif, serta kontribusi pihak-pihak terkait dalam riset serta inovasi teknologi pembersihan sampah antariksa.

## **Tantangan Teknis dan Keamanan dalam Pengelolaan Sampah Luar Angkasa Tak Teridentifikasi**

### 1) Deteksi dan Pemantauan Sampah Satelit

Deteksi dan pemantauan sampah luar angkasa menghadapi tantangan hukum dalam identifikasi dan atribusi kepemilikan. Pasal VIII Outer Space Treaty 1967 menetapkan bahwa negara pendaftar tetap memiliki yurisdiksi atas objeknya di luar angkasa, namun sulit diterapkan pada fragmen tak teridentifikasi akibat tabrakan atau fragmentasi. Keterbatasan teknologi deteksi menghambat identifikasi fragmen kecil (di bawah 10 cm), menyulitkan penentuan tanggung jawab negara peluncur sesuai Pasal I huruf (c) dan pembuktian kausalitas untuk klaim ganti rugi berdasarkan Pasal III Liability Convention 1972.

Dalam kasus Cosmos 2251 dan Iridium 33 yang bertabrakan pada 2009, fragmen yang dihasilkan mencapai ribuan objek yang tidak dapat sepenuhnya diidentifikasi asal-usulnya, menciptakan ketidakpastian hukum dalam hal pertanggungjawaban atas kerusakan yang mungkin ditimbulkan oleh fragmen tersebut di kemudian hari. Keterbatasan teknologi pemantauan sampah antariksa menciptakan kesenjangan yang signifikan dalam implementasi kerangka hukum yang ada. Space Fence milik Amerika Serikat sebagai sistem deteksi canggih masih kesulitan melacak objek di bawah 5 cm di LEO, sementara objek sekecil 1 cm mampu menyebabkan kerusakan katastropik (Karim, 2013). Implikasi hukumnya meliputi ketidakmampuan untuk memenuhi kewajiban "*due diligence*" dalam pengawasan kegiatan nasional sebagaimana dimandatkan oleh Pasal VI Outer Space Treaty 1967, kesulitan dalam penerapan rezim pertanggungjawaban internasional berdasarkan Pasal VII Outer Space Treaty 1967 dan ketentuan Liability Convention 1972, serta hambatan dalam implementasi Registration Convention 1975 yang mengharuskan negara-negara mendaftarkan objek yang diluncurkan ke luar angkasa.

Preseden hukum dalam kasus Cosmos 954 pada tahun 1978 menunjukkan bahwa Kanada berhasil mengklaim kompensasi dari Uni Soviet berdasarkan Liability Convention karena dapat membuktikan asal debris yang jatuh di wilayahnya. Namun, untuk kasus kerusakan di antariksa itu sendiri, pembuktian menjadi jauh lebih sulit tanpa teknologi deteksi yang memadai (Pramana, 2023). Kerangka hukum internasional saat ini tidak secara eksplisit mewajibkan negara-negara untuk mengembangkan atau berbagi teknologi pemantauan sampah antariksa. Namun, beberapa kewajiban implisit dapat diinterpretasikan dari prinsip kerjasama internasional dalam Pasal IX Outer Space Treaty 1967 yang mengharuskan negara-negara melakukan konsultasi internasional sebelum melaksanakan kegiatan yang berpotensi mengganggu aktivitas negara lain di luar angkasa, kewajiban untuk menghindari kontaminasi berbahaya antariksa yang tercantum dalam Pasal IX, serta prinsip pemanfaatan luar angkasa untuk keuntungan

dan kepentingan semua negara sebagaimana dinyatakan dalam Pasal I *Outer Space Treaty* 1967.

*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC) telah mengembangkan panduan untuk mitigasi sampah antariksa, tetapi status hukumnya masih sebatas soft law yang tidak mengikat secara formal. Dalam kasus *Space Situational Awareness* (SSA), Amerika Serikat melalui *US Strategic Command* memberikan peringatan tabrakan kepada operator satelit global, tetapi tidak ada kewajiban hukum untuk melakukannya atau standar internasional yang mengatur akurasi dan ketepatan waktu dari peringatan tersebut. Kekosongan hukum ini semakin menegaskan perlunya pengembangan kerangka regulasi yang lebih komprehensif untuk menangani tantangan deteksi dan pemantauan sampah antariksa.

## 2) Pengaruh Sampah Satelit terhadap Misi Antariksa dan Orbit

*Liability Convention* 1972 menetapkan dua rezim pertanggungjawaban: tanggung jawab mutlak (Pasal II) untuk kerusakan di permukaan Bumi atau pesawat terbang, dan tanggung jawab berbasis kesalahan (Pasal III) untuk kerusakan di luar angkasa. Rezim berbasis kesalahan menghadapi tantangan dalam konteks sampah antariksa, seperti kesulitan membuktikan kesalahan, atribusi kepemilikan, identifikasi fragmen, dan ketiadaan standar perilaku dalam aktivitas antariksa.

Kasus *Cosmos 1402* tahun 1983, di mana reaktor nuklir satelit Soviet jatuh ke Samudra Hindia, mengilustrasikan keterbatasan rezim pertanggungjawaban saat ini. Meskipun tidak ada klaim yang diajukan, kasus ini menunjukkan kesulitan dalam menerapkan ketentuan *Liability Convention* untuk kerusakan lingkungan yang tidak bersifat langsung atau segera terlihat (Naibaho, 2019). Kebutuhan untuk melakukan manuver penghindaran tabrakan dengan sampah antariksa menimbulkan beberapa persoalan hukum, seperti ketiadaan protokol internasional yang mengikat, ketidakjelasan tanggung jawab jika manuver menyebabkan gangguan atau risiko tabrakan baru, serta kompensasi atas kerugian ekonomi akibat gangguan layanan.

Dalam konteks *International Space Station* (ISS) yang telah melakukan puluhan manuver penghindaran, evakuasi darurat astronaut terkait dengan ketentuan dalam *Rescue Agreement* 1968, khususnya Pasal V yang mewajibkan repatriasi segera astronaut ke negara pendaftar wahana antariksa mereka setelah kembali ke Bumi, dan kewajiban untuk memberikan bantuan dan fasilitas yang diperlukan bagi astronaut dalam keadaan bahaya sesuai Pasal II. Namun, *Rescue Agreement* tidak secara spesifik mengatur protokol keselamatan terkait ancaman sampah antariksa, menciptakan kesenjangan dalam kerangka hukum antariksa internasional.

Efek Kessler, di mana tabrakan antar objek menciptakan serpihan baru yang meningkatkan risiko tabrakan berikutnya dalam siklus yang berkelanjutan, memiliki implikasi hukum jangka panjang yang signifikan. Hal ini mencakup potensi pelanggaran terhadap prinsip pemanfaatan berkelanjutan antariksa untuk kepentingan generasi sekarang dan mendatang sebagaimana tersirat dalam *Outer Space Treaty* 1967, pertanyaan tentang tanggung jawab komunal (*common but differentiated responsibilities*) negara-negara antariksa dalam mencegah dan mengurangi sampah antariksa, serta

potensi perkembangan doktrin "*orbital commons*" yang mengakui orbit Bumi sebagai sumber daya bersama umat manusia yang memerlukan perlindungan khusus.

Dalam kasus ESA's Envisat yang tidak aktif sejak 2012 tetapi masih mengorbit dengan massa sekitar 8 ton, menimbulkan pertanyaan tentang tanggung jawab berkelanjutan negara peluncur terhadap satelit yang telah tidak berfungsi (Agency E. S., n.d.). Satelit ini diproyeksikan akan tetap mengorbit selama 150 tahun, menciptakan risiko signifikan bagi operasi antariksa di masa depan. Peningkatan dramatis dalam peluncuran konstelasi satelit mega, seperti *SpaceX Starlink* dengan rencana lebih dari 42.000 satelit, menciptakan tantangan regulasi baru, termasuk kekosongan hukum dalam pengaturan kapasitas orbit dan spektrum frekuensi untuk jumlah satelit yang sangat besar dalam satu konstelasi, ketidakjelasan standar "*end-of-life disposal*" yang memadai untuk konstelasi dengan jumlah satelit yang besar, serta pertanyaan tentang prioritas dan koordinasi dalam manuver penghindaran ketika melibatkan konstelasi dengan ribuan satelit (Jose, 2025).

Kasus NASA vs OneWeb pada tahun 2019 di mana NASA meminta OneWeb untuk memodifikasi rencana orbitnya untuk menghindari potensi tabrakan dengan satelit NASA, menunjukkan keterbatasan mekanisme resolusi konflik saat ini yang lebih mengandalkan negosiasi bilateral daripada kerangka regulasi yang jelas dan mengikat. Situasi ini menegaskan kebutuhan mendesak untuk pengembangan kerangka hukum yang lebih komprehensif untuk menangani tantangan yang ditimbulkan oleh sampah antariksa terhadap misi antariksa dan keberlanjutan orbit (FORUM, 2020).

### 3) Kebijakan yang Dapat Disesuaikan dalam Pengelolaan Sampah Luar Angkasa Tak Teridentifikasi

Saat ini, regulasi yang mengatur sampah antariksa masih terbatas dan sebagian besar bersifat sukarela. Traktat Luar Angkasa 1967, yang menjadi dasar hukum eksplorasi luar angkasa, hanya menetapkan bahwa negara-negara bertanggung jawab atas objek yang mereka luncurkan tetapi tidak mengatur secara rinci tentang bagaimana mengelola sampah satelit setelah tidak berfungsi.

Organisasi internasional seperti COPUOS dan IADC telah mengeluarkan pedoman mitigasi sampah antariksa, namun sifatnya tidak mengikat secara hukum sehingga implementasinya tergantung pada komitmen masing-masing negara. Beberapa negara mulai menerapkan aturan lebih ketat, seperti Uni Eropa yang mewajibkan rencana penghancuran satelit pasca-operasional, dan Amerika Serikat yang menetapkan batas waktu lima tahun untuk mengeluarkan satelit non-fungsional dari orbit. Meski ada kemajuan, banyak negara belum memiliki regulasi serupa, dan belum tersedia mekanisme penegakan hukum internasional yang efektif. Karena luar angkasa adalah wilayah bersama, dibutuhkan kebijakan global yang mengikat, lengkap dengan sanksi bagi pelanggar, serta kerja sama internasional untuk menciptakan standar mitigasi yang berlaku secara luas.

Beberapa upaya kolaboratif telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Contohnya, *European Space Agency* (ESA) mengembangkan misi *ClearSpace-1*, yang bertujuan untuk menangkap dan menghilangkan sampah satelit dengan lengan robotik.

Jepang, melalui *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, juga mengembangkan sistem berbasis magnet untuk menarik puing-puing ke atmosfer agar terbakar habis. Selain itu, beberapa perusahaan swasta juga turut serta dalam upaya ini. *SpaceX*, misalnya, sedang mengembangkan teknologi satelit yang dapat masuk kembali ke atmosfer secara terkendali setelah masa operasionalnya berakhir. *OneWeb* dan *Amazon* juga mulai menerapkan kebijakan serupa untuk mengurangi jumlah sampah satelit di orbit.

Hal ini menunjukkan bahwa perlunya pendekatan yang komprehensif dan terpadu. Pengelolaan sampah luar angkasa yang tidak teridentifikasi menuntut kebijakan yang berbasis teknologi tinggi, kolaborasi internasional yang erat, dan kerangka hukum yang adaptif. Berbagai aspek kebijakan yang dapat dipertimbangkan termasuk penguatan sistem pemantauan global untuk mengidentifikasi sampah antariksa, seperti melalui investasi dalam teknologi radar dan sensor berbasis AI. Pentingnya regulasi yang ketat dalam pengelolaan peluncuran dan manajemen akhir misi juga menjadi sorotan, dengan penekanan pada penegakan pedoman internasional dan penerapan sanksi bagi pelanggar.

Di samping itu, inovasi dalam teknologi pembersihan sampah antariksa, seperti proyek *ClearSpace-1* dan *RemoveDebris*, memperlihatkan pentingnya pendanaan riset dan pengembangan serta kemitraan publik-swasta dalam mendukung misi pembersihan. Kerangka hukum internasional yang mengikat juga diperlukan untuk menangani tanggung jawab mitigasi dan kompensasi terkait sampah luar angkasa, dengan revisi yang mempertimbangkan mekanisme pendanaan kolektif dan pembentukan lembaga pengadilan khusus.

Selain itu, edukasi dan kesadaran global menjadi krusial dalam mengatasi tantangan implementasi, seperti keterbatasan teknologi dan asimetri kapasitas antar negara. Kampanye global untuk meningkatkan kesadaran tentang bahaya sampah antariksa juga diperlukan untuk mengurangi risiko tabrakan yang dapat membahayakan aktivitas luar angkasa dan lingkungan Bumi secara keseluruhan.

Keberhasilan dalam pengelolaan sampah luar angkasa tak teridentifikasi memerlukan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan, mengintegrasikan teknologi canggih, regulasi ketat, kerjasama internasional yang kuat, serta edukasi global yang menyeluruh. Tanpa langkah-langkah ini, risiko kerusakan ekosistem Bumi akibat tabrakan dan akumulasi sampah antariksa dapat meningkat, mengancam keberlanjutan kegiatan luar angkasa di masa depan.

## Kesimpulan

Sampah luar angkasa yang tidak teridentifikasi menimbulkan tantangan besar dalam hukum dan keamanan antariksa. Meskipun terdapat perjanjian internasional seperti pada Pasal VI, Pasal VII, dan Pasal VIII *Outer Space Treaty 1967* serta Pasal II, Pasal III, serta Pasal IV ayat (1) dan ayat (2) *Liability Convention 1972*, regulasi saat ini masih memiliki kelemahan dalam atribusi kepemilikan dan pertanggungjawaban hukum atas sampah luar angkasa. Kesulitan dalam identifikasi objek antariksa membuat penegakan hukum menjadi tidak efektif, terutama dalam kasus tabrakan atau dampak terhadap satelit operasional.

Keselamatan astronaut pada hukum internasional diatur dalam Pasal I, Pasal II, dan Pasal IV *Rescue Agreement 1967*. Perjanjian ini hanya berfokus pada tindakan setelah terjadinya insiden dan tidak mencakup upaya pencegahan atau mitigasi risiko sampah luar angkasa.

Pengelolaan sampah luar angkasa memerlukan regulasi yang mengikat untuk mengurangi risiko terhadap misi antariksa dan menjaga keberlanjutan eksplorasi. Pedoman mitigasi seperti dari IADC masih bersifat tidak mengikat, sehingga perlu diperkuat. Kerja sama internasional dan inovasi teknologi, seperti robot pembersih ClearSpace-1, kecerdasan buatan (AI) untuk pelacakan sampah, serta kebijakan deorbitasi wajib untuk satelit nonaktif, harus ditingkatkan. Ancaman sampah luar angkasa yang terus meningkat membutuhkan kesepakatan global untuk pencegahan, mitigasi, dan mekanisme penegakan hukum yang lebih efektif.

### Daftar Pustaka

- Agency, E. S. (n.d.). Envisat Overview. Retrieved from *European Space Agency (ESA)*: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/envisat/description>
- Agency, T. E. (n.d.). The European Space Agency (ESA). Retrieved from *Mitigating space debris generation*: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/Mitigating\\_space\\_debris\\_generation](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Mitigating_space_debris_generation)
- Aglietti, G. (2019). RemoveDEBRIS: An in-orbit demonstration of technologies for the removal of space debris. *The Aeronautical Journal*.
- Chairunnisa, C. D., & Rosmawati. (2021). Tanggung Jawab Negara dalam Pengupayaan Pembersihan Sampah Antariksa (Space Debris) Ditinjau dari Hukum Internasional. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Bidang Hukum Kenegaraan*, 5(2), 97–105. [https://www.esa.int/Safety\\_Security/Space\\_Debris/FAQ\\_Frequently\\_asked\\_questions](https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/FAQ_Frequently_asked_questions),
- Eka Ricky Prasetyo, H. S. (2022). Kebijakan Uni Eropa dalam Menangani Sampah Antariksa. *Padjajaran Journal of International Relations*, 20-35.
- FORUM, I.-P. D. (2020, Januari). Sampah Luar Angkasa. Retrieved from *Indo-Pacific Defence FORUM*: <https://ipdefenseforum.com/id/2020/01/sampah-luar-angkasa/>
- Herdiansyah, H. (2018). Kebijakan Strategis Mitigasi Ancaman Peredaran Orbit Satelit terhadap Keamanan Nasional: Pendekatan Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Keamanan Nasional*, 141-164.
- Jamaludin, F. (2024a). Ada 5.500 Satelit Mengelilingi Bumi, Paling Banyak dari Negara ini. *Merdeka.Com*.
- Jamaludin, F. (2024b). Bumi Semakin di Kelilingi Ribuan Satelit, Apakah akan Terjadi Kemacetan di Luar Angkasa? *Merdeka.Com*.

<https://www.merdeka.com/teknologi/bumi-semakin-di-kelilingi-ribuan-satelit-apakah-akan-terjadi-kemacetan-di-luar-angkasa-150687-mvk.html>

Jose, b. (2025, March). <https://earth.esa.int/eogateway/missions/envisat/description>. Retrieved from *The Indian EXPRESS*: <https://indianexpress.com/article/technology/science/elon-musk-starlink-satellites-are-falling-back-ozone-pollution-9867500/>

Karim, A. M. (2013). Tanggung jawab atas damage yang disebabkan oleh tabrakan yang terjadi di ruang angkasa: studi kasus Cosmos 2251-Iridium 33 = Liability on damage caused by collision in outer space: case study Cosmos 2251?Iridium 33. Universitas Indonesia.

Kusumaningtyas, M. R. (2018). Mekanisme Internasional dalam Penanganan Space Debris. *Kajian Kebijakan Penerbangan Dan Antariksa*, 15. <https://doi.org/10.30536/9786026469762.6>

Laporan ESA: Jumlah Tabrakan Puing Antariksa Diprediksi Meningkat. (2024). *Voi*. <https://voi.id/teknologi/402060/laporan-esa-jumlah-tabrakan-puing-antariksa-diprediksi-meningkat>

Marzuki, P. M. (2008). Penelitian Hukum (13th ed.). Kencana.

Maulana, Y. (2024). Orbit Bumi Dipadati 14.000 Satelit dan Sampah Antariksa, Dunia harus Kerjasama. *Katakini*. <https://www.katakini.com/artikel/117051/orbit-bumi-dipadati-14000-satelit-dan-sampah-antariksa-dunia-harus-kerjasama>

Mhd, N. S. (2021). Tanggung Jawab Negara Peluncur Terhadap Sampah Ruang Angkasa Menurut Hukum Lingkungan Internasional. *Juris Studia*, 115-128.

Mulyana, B., & Hidayat, A. (2019). Penanganan Sampah Luar Angkasa Dalam Kerangka Hukum Internasional. *Jurnal Ilmu Politik Dan Komunikasi*, IX(1). <https://www.google.co.id/amp/s/amp.space.com/1467>

Naibaho, A. B. (2019). TANGGUNG JAWAB NEGARA PELUNCUR. *Lex Et Societatis*.

Nugraha, R. I., Simangunsong, R. J., Septaria, E. (2024). Penanganan Sampah Satelit Ruang Angkasa Pada Low Earth Orbit Berdasarkan Hukum Internasional. *Sapientia et Virtus* 9(2), 430–445.

Peter M.B. Waswa, M. E. (2013). Spacecraft Design-for-Demise implementation strategy & decision-making methodology for low earth orbit missions. *Advance in Space Research*, 1627-1637. Retrieved from The European Space Agency.

Pramana, I. B. (2023). PERTANGGUNGJAWABAN NEGARA DAN. *Jurnal Kertha Desa*, 403-414.

- Pratiwi, T. N., & Widagdo, S. (2014). Tanggung Jawab Negara Peluncur Terhadap Sampah Antariksa (Space Debris). 1–21. <https://media.neliti.com/media/publications/35241-ID-tanggung-jawab-negara-peluncur-terhadap-sampah-angkasa-space-debris-studi-terhad.pdf>
- Scott Hull, W. S. (2022). Spacecraft passivation An overview of requirements, principles, and practices as applied to spacecraft pressure vessels. *Journal of Space Safety Engineering*, 553-560.
- Soeharsono, A. (2023). Implementasi Kebijakan Pengelolaan Sampah Berorientasi lingkungan Hiduo]p Strategis Di Kota Bogor. *Ak-Qalam*, 209-230.
- Suryaatmadja, S. (2020). Mitigasi Sampah Antariksa: Meninjau Kesiapan Regulasi Nasional. *Mimbar Hukum - Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada*, 32(1), 89. <https://doi.org/10.22146/jmh.44624>
- Trijatna, Z. I. (2022). Berikut 3 Cara Teknologi Mengambil Sampah Luar Angkasa Kembali ke Bumi. *The Conversation*. <https://theconversation.com/berikut-3-cara-teknologi-mengambil-sampah-luar-angkasa-kembali-ke-bumi-195417>
- Ulum, M. (2022). Modul Metode Penelitian Dan Penulisan Hukum. UIN Khas Jember.
- Yasa, I. B. (n.d.). Pertanggungjawaban Negara dan Penanganan Sampah Ruang Angkasa (Space Debris) Menurut Hukum Internasional. *Jurnal Kertha Desa*, 403-414.
- Yuniarti, D. (2015). Analisis SWOT Sampah Antariksa Indonesia. *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.17933/bpostel.2013.110102>
- Zhafran, A. M., Lestari, M. M., & Diana, L. (2023). Upaya Pembersihan Sampah Ruang Angkasa Sebagai Implementasi Tanggung Jawab Negara Terhadap Penanganan Sampah Ruang Angkasa Berdasarkan Space Treaty 1967. *Sibatik Journal Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 2(7), 1919–1938. <https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SIBATIK>
- 9th European Conference on Space Debris. (2024). Space Debris Office (OPS-SD); Space Debris Office (OPS-SD). <https://space-debris-conference.sdo.esoc.esa.int/page/welcome>