

KEBIJAKAN INDONESIA TENTANG MITIGASI SAMPAH ANTARIKSA

Bernhard H. Sianipar

Pusat Pengkajian dan Informasi Kedirgantaraan
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
E-mail: bsianipar8@gmail.com

ABSTRACT

UNCOPUOS and IADC has made a policy on space debris mitigation, and it was expected that the member states apply these policies. Indonesia is one of member states of UNCOPOUS has made the policy regarding space activities. However, this policy has not yet sufficient to prevent growing debris population in the orbital. By conducting benchmarking on the UNCOPUOS and IADC policy as a learning material, then the policy which is necessary to be made by Indonesia among others, are not to release and/or destructions the space objects in LEO or GEO orbit during a normal operation, all components of space system which are potential to break-ups must be designed accurately and according to quality standards, satellite or launch vehicle which has been inactive or discontinued operation should be planned to be removed from the earth's orbit, any design of spacecraft must be estimated and minimized for possible collisions with objects at the orbit. In addition, in order that the spacecraft may conduct manoeuvre to avoid collision with the small debris that may cause the loss of control on the spacecraft.

Keywords: Space Debris, Mitigation, Policy, Spacecraft

ABSTRAK

UNCOPUOS dan IADC telah membuat kebijakan tentang mitigasi sampah antariksa, dan diharapkan agar negara-negara anggotanya menerapkan kebijakan ini. Indonesia merupakan salah satu negara anggota UNCOPUOS yang telah membuat kebijakan tentang kegiatan keantariksaan. Namun kebijakan ini masih belum cukup untuk mencegah bertambahnya populasi sampah di orbital. Dengan melakukan patok duga pada kebijakan UNCOPUOS dan IADC sebagai bahan pembelajaran, maka kebijakan yang perlu dibuat Indonesia antara lain, ialah: tidak merilis dan/atau penghancuran benda antariksa di orbit LEO atau GEO selama operasi normal, semua komponen sistem antariksa yang berpotensi pecah/meledak harus dirancang secara akurat dan sesuai dengan standar mutu, satelit atau wahana peluncur yang sudah tidak aktif atau diberhentikan pengoperasiannya harus direncanakan untuk dibuang dari orbit bumi, setiap rancang bangun wahana antariksa harus diestimasi dan diminimalkan kemungkinan tabrakan dengan benda-benda di orbit. Di samping itu, agar wahana antariksa dirancang dapat melakukan manuver untuk menghindari tabrakan dengan puing-puing kecil yang dapat menyebabkan wahana antariksa hilang kendali.

Kata Kunci: Sampah Antariksa, Mitigasi, Kebijakan, Wahana Antariksa

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

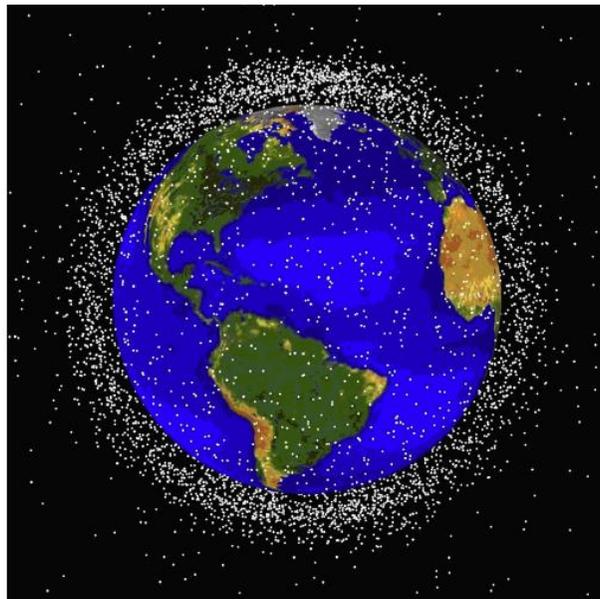
Sampah antariksa (*space debris*) merupakan masalah bagi semua negara yang aktif melakukan kegiatan di antariksa, karena sampah ini memberi risiko terhadap misi yang dilakukan. Negara yang terkena dampak risiko dari sampah antariksa ini, adalah negara-negara yang memiliki aset di antariksa dan negara yang aktif melakukan kegiatan di antariksa. Para pakar antariksa pertama sekali menyadari munculnya masalah sampah di antariksa ini pada awal tahun 1960-an. Sejak saat itu, penelitian tentang pemahaman sumber sampah, lingkungan sampah yang dihasilkan, dan risiko-risikonya meningkat secara signifikan, setiap empat tahun secara teratur selalu dikomunikasikan dalam Konferensi *European Space Agency* (ESA), disampaikan pada *International Astronautical Congress* (IAC), dan *Committee on Space Research* (COSPAR) (ESA, 2013b).

Sampah antariksa ialah semua obyek buatan manusia termasuk kepingan dan elemen-elemennya yang sudah tidak berfungsi, berada di orbit bumi atau masuk kembali ke atmosfer (IADC, 2014). Sebagian besar sampah buatan manusia berada di orbit sekitar bumi, sampah yang berada di orbit sekitar bumi lebih sering disebut sampah orbital. Sampah orbital buatan manusia yang berada di orbit sekitar bumi, seperti wahana antariksa yang tidak berfungsi, bagian dari wahana peluncur yang ditinggalkan, dan puing-puing pecahan dari misi (NASA, 2013). Kegiatan keantariksaan telah mengakibatkan peningkatan jumlah sampah antariksa, sehingga sampah orbitan saat ini menjadi ancaman bagi kesehatan dan keselamatan wahana antariksa. Para ilmuwan memperkirakan jumlah total obyek sampah yang berada di orbit sekitar 29.000 dengan ukuran lebih besar dari 10 (sepuluh) cm, 670.000 dengan ukuran lebih besar dari 1 (satu) cm, dan lebih dari 170 juta dengan ukuran lebih besar dari 1 (satu) mm (ESA, 2013a).

Sampah antariksa terdiri dari satelit non-fungsional (23%), *orbital stage* wahana peluncur (18%), sampah fungsional seperti baut, *belt* (14%), dan sampah yang berasal dari tabrakan, dan ledakan wahana antariksa (45%) (Durrieu and Nelson., 2013). Semua sampah antariksa ini bergerak dengan kecepatan hingga 17.500 mph. Sampah yang berukuran bola *softball* dengan kecepatan 17.500 mph dapat merusak satelit atau wahana antariksa, juga bintang-bintang kecil dapat merusak wahanan antariksa (NASA, 2013). Kebanyakan benda-benda tersebut membentuk populasi sampah orbital, dan sekitar 40% dari sampah yang lebih besar dari 1 (satu) mm, terletak di orbit LEO (Gambar 1-1) (Durrieu and Nelson., 2013). Kondisi lingkungan antariksa saat ini sudah sangat berbahaya untuk satelit dan wahana antariksa, dimana salah satu bahaya utamanya ialah dampak dari sampah antariksa buatan manusia berkecepatan tinggi yang tidak terkendali (Polk et al., 2013). Ketidakstabilan populasi sampah di orbit LEO—daerah pada ketinggian di bawah 2.000 km—menunjukkan bahwa kemungkinan tabrakan antar objek di lingkungan LEO akan meningkat walau tanpa ada peluncuran yang baru, setidaknya dalam 200 tahun ke depan (Liou, JC., 2011). Mitigasi sampah antariksa di orbit LEO merupakan masalah penting bagi keberlanjutan kegiatan keantariksaan,

United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) menyoroti dua masalah khusus tentang keamanan lingkungan antariksa yang mempengaruhi kegiatan manusia di antariksa, yaitu: penggunaan tenaga nuklir dan sampah antariksa. Sampah antariksa yang bertahan saat *re-entry* ke atmosfer mungkin menjadi ancaman di daratan, namun ancaman ini tidak sebesar apabila dibandingkan dengan risikonya berada di orbit bumi (Brearley,

2008). Oleh karena besarnya kemungkinan risiko yang ditimbulkan oleh sampah di antariksa terhadap semua kegiatan keantariksaan yang dilakukan atau terhadap aset negara-negara di antariksa, menyebabkan beberapa Negara anggota *United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space* (UNCOPUOS) bersepakat mengeluarkan kebijakan tentang pedoman mitigasi sampah antariksa.



Sumber: Durrieu and Nelson., 2013.

Gambar 1-1: Sampah Antariksa di Orbit LEO

Pedoman Mitigasi Sampah Antariksa ini telah disahkan oleh Majelis Umum PBB (*United Nations General Assembly* - UNGA) pada tanggal 22 Desember 2007 dan tercantum dalam Resolusinya 62/217 (United Nations, 2010). Kebijakan ini dikeluarkan dengan tujuan untuk mencegah bertambah banyaknya populasi sampah di antariksa. Walau kebijakan ini tidak bersifat mengikat secara hukum internasional (*not legally binding*) (Hobe, 2009), namun sangat diharapkan bahwa Negara-negara dapat melaksanakan pedoman ini secara sukarela (United Nations, 2014). Kepatuhan terhadap batas masa aktif wahana antariksa 25 tahun, melakukan *de-orbit* wahana antariksa yang misinya telah berakhir, tidak melakukan penghancuran benda antariksa, dan meningkatkan keandalan sistem propulsi, dapat mencegah berkembangnya populasi sampah antariksa (Bradley and Wein, 2009).

Indonesia merupakan salah satu negara anggota UNCOPUOS yang melakukan kegiatan keantariksaan. Indonesia (d.h.i. LAPAN) saat ini telah mampu membangun satelit, dan sasaran utama kedepan, yaitu penguasaan pembuatan satelit eksperimental seri A, satelit untuk penginderaan jauh seri B, dan satelit komunikasi seri C. Disamping itu, saat ini sedang mengembangkan roket sipil dengan meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi roket sonda, roket kendali dan roket cair menuju penguasaan roket pengorbit satelit (RPS) (LAPAN, 2015). Dengan demikian, bahwa kegiatan keantariksaan Indonesia tidak hanya di bumi tetapi hingga masuk ke daerah lingkungan antariksa atau ke orbit bumi.

Beberapa Negara anggota UNCOPUOS telah menerapkan pedoman mitigasi sampah antariksa ini untuk mencegah atau memperlambat bertambahnya populasi sampah di antariksa, walau dalam pelaksanaannya mempunyai kebijakan yang berbeda-beda di setiap Negara. Indonesia adalah salah satu Negara anggota UNCOPUOS dan mempunyai kepentingan di antariksa, sehingga perlu turut menjaga lingkungan antariksa. Komitmen Indonesia turut menjaga lingkungan antariksa, diantaranya tertuang dalam Undang-undang Nomor 21 tahun 2013 tentang Keantariksaan dalam Pasal 8 huruf e: “Setiap kegiatan keantariksaan dilarang melakukan kegiatan yang dapat mengakibatkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup bumi dan Antariksa serta membahayakan kegiatan Keantariksaan termasuk penghancuran Benda Antariksa” (Kemenkumham, 2013).

Banyak kebijakan di Indonesia dibuat tidak berdasar riset mendalam (Yuka, 2012). Walau Indonesia telah mempunyai Undang-undang nomor 21 tahun 2013 tersebut, namun kebijakan tentang keantariksaan yang ada saat ini masih belum cukup untuk mencegah bertambahnya populasi sampah di antariksa atau untuk melakukan mitigasi sampah di antariksa. Oleh karena itu, perlu kebijakan tambahan untuk melengkapi pengaturan pelaksanaan kegiatan keantariksaan nasional dalam rangka mitigasi sampah di antariksa yang berbeda dari kebijakan UNCOPUOS, kebijakan *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* (IADC), dan kebijakan beberapa negara yang telah menerapkannya. Penulis memilih kebijakan-kebijakan tersebut sebagai bahan pembelajaran, karena kebijakan UNCOPUOS telah disepakati oleh negara-negara anggota UNCOPUOS, kebijakan IADC disusun berdasarkan berbagai dokumen, paper riset, dan pendapat dari anggota IADC, serta kebijakan beberapa negara yang telah menerapkan dalam kegiatan keantariksanya.

1.2 Permasalahan

UNCOPUOS telah mengeluarkan pedoman mitigasi yang disebut *UN Space Debris Mitigation Guidelines* dengan tujuan meminimalisir berkembangnya populasi sampah di antariksa. Demikian juga beberapa Negara yang aktif melakukan kegiatan di antariksa, telah mempunyai kebijakan untuk mitigasi sampah antariksa. Indonesia telah memiliki kebijakan yang mengatur tentang kegiatan keantariksaan, namun masih belum memadai untuk melakukan mitigasi sampah di antariksa. Bagaimana kebijakan keantariksaan yang perlu dilakukan Indonesia dalam rangka mitigasi sampah di antariksa.

1.3 Tujuan

Kajian ini bertujuan mengkaji kebijakan UNCOPUOS terkait dengan mitigasi sampah antariksa, dan beberapa negara anggota UNCOPUOS yang turut berkontribusi dalam mencegah bertambah banyaknya sampah di antariksa khususnya yang tergabung dalam IADC. Mengkaji kebijakan keantariksaan Indonesia untuk mendapatkan kebijakan kegiatan keantariksaan kedepan yang dapat diterapkan dalam rangka mitigasi sampah antariksa. Dengan mengkaji kebijakan kegiatan keantariksaan di Indonesia saat ini dan melakukan *benchmarking* dengan kebijakan negara lain, didapat kebijakan keantariksaan yang perlu dilakukan Indonesia dalam rangka mitigasi sampah di antariksa. Diharapkan hasil kajian ini dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam membuat kebijakan di

Indonesia tentang kegiatan keantariksaan khususnya terkait dengan mitigasi sampah antariksa.

2. METODOLOGI

Kajian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dengan melakukan studi literatur atau kepustakaan dan mengakses data lewat internet. Data-data yang dikumpulkan, antara lain ialah data tentang kebijakan keantariksaan Indonesia khususnya terkait dengan mitigasi sampah di antariksa, kebijakan UNCOPUOS, IADC, dan negara-negara tentang mitigasi sampah antariksa. Data-data yang diperoleh diolah dan dianalisis dengan metode analisis deskriptif untuk mendeskripsikan data/informasi agar sejalan dengan tujuan penelitian.

Dalam menetapkan kebijakan keantariksaan nasional ke depan, dilakukan patok duga (*benchmarking*) pada kebijakan UNCOPUOS, IADC, dan kebijakan negara-negara dalam penerapan kebijakan mitigasi sampah di antariksa. Patok duga merupakan proses mengidentifikasi, memahami, dan mengadaptasi praktek-praktek di luar organisasi untuk membantu meningkatkan kinerja organisasi (Barbora, 2011). Disamping itu, pendapat lain menyebutkan, bahwa patok duga merupakan proses identifikasi secara kontinu, memahami dan pencocokan produk, jasa, peralatan dan proses perusahaan dengan praktek terbaik yang bertujuan meningkatkan usaha (Marković et al, 2011). Dalam manajemen, organisasi menggunakan patok duga untuk mengevaluasi proses yang dilakukan dengan membandingkan praktek terbaik dari kelompok perusahaan sejenis di dalam suatu industri atau sektor sebagai pembelajaran untuk mengembangkan rencana peningkatan beberapa aspek kinerja (Ruiz et al., 2015). Dari pengertian di atas, bahwa tujuan melakukan patok duga, ialah mencari praktek-praktek terbaik dari kegiatan sejenis sebagai bahan pembelajaran dalam pengembangan kebijakan ke depan.

Dalam kajian ini, diidentifikasi kebijakan yang ada di Indonesia yang terkait dengan mitigasi sampah antariksa khususnya sampah di antariksa/orbit bumi, dan mengidentifikasi kebijakan yang dibuat UNCOPUOS, IADC, dan negara-negara dalam pelaksanaan mitigasi sampah orbital. Kemudian dilakukan patok duga (*benchmarking*) terhadap kebijakan UNCOPUOS, IADC, dan negara-negara untuk mengkaji perbedaannya dengan kebijakan keantariksaan Indonesia dan mendapatkan praktek-praktek terbaik. Dengan melakukan pembelajaran dari kebijakan/praktek-praktek terbaik, maka diperoleh kebijakan tambahan yang perlu dibuat Indonesia ke depan dalam pelaksanaan kegiatan keantariksaan khususnya penanganan mitigasi sampah orbital.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Sampah antariksa khususnya sampah buatan manusia sudah sangat mengganggu semua kegiatan di antariksa dan terhadap aset negara-negara di antariksa. Dalam rangka meminimalisir risiko yang disebabkan oleh sampah orbital ini, negara-negara yang tergabung dalam UNCOPUOS dan organisasi internasional seperti IADC yang berkepentingan di antariksa mengeluarkan kebijakan mitigasi sampah antariksa.

Kebijakan UNCOPUOS, IADC, dan beberapa negara tentang mitigasi sampah antariksa, serta kebijakan Indonesia tentang kegiatan keantariksaan dapat dijelaskan, sebagai berikut

a. UNCOPUOS

Pada tanggal 22 Desember 2007, Majelis Umum PBB (*United Nations General Assembly*-UNGA) telah mengesahkan 7 (tujuh) Pedoman Mitigasi Sampah Antariksa yang tercantum dalam Resolusinya 62/217 (United Nations, 2010). Pedoman (*guidelines*) ini agar dipertimbangkan dalam membuat perencanaan, disain, manufaktur, dan pada fase operasional misi (peluncuran wahana peluncur, misi dan pelepasan (*disposal*) wahana antariksa ke orbitnya). Ketujuh pedoman UNCOPUOS ini, ialah

- 1) Pedoman 1: “*Limit debris released during normal operations*”;
Sistem antariksa harus dirancang agar tidak merilis sampah di antariksa selama operasi normal. Jika hal ini tidak dimungkinkan, maka harus diminimalkan dampak dari setiap merilis sampah di lingkungan antariksa.
- 2) Pedoman 2: “*Minimize the potential for break-ups during operational phases*”;
Wahana antariksa dan wahana peluncur harus dirancang agar saat berada di orbit terhindar dari kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya pecah/meledak. Apabila terdeteksi penyebab kegagalannya, maka harus direncanakan dan dilakukan tindakan *disposal* dan *passivation* untuk menghindari terjadinya pecah/meledak.
- 3) Pedoman 3: “*Limit the probability of accidental collision in orbit*”;
Dalam membuat desain dan profil misi wahana antariksa dan *stage* wahana peluncur, harus diperkirakan dan diperkecil kemungkinan terjadinya tabrakan dengan benda-benda yang dikenal selama fase peluncuran sistem dan masa aktif di orbit. Jika data orbital yang tersedia menunjukkan potensi tabrakan, harus dilakukan penyesuaian waktu peluncuran atau harus dipertimbangkan untuk melakukan manuver menghindari di orbit.
- 4) Pedoman 4: “*Avoid intentional destruction and other harmful activities*”;
Menyadari bahwa meningkatnya risiko tabrakan dapat menimbulkan ancaman bagi operasi antariksa, sehingga harus dicegah pengrusakan yang disengaja dari setiap wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur atau kegiatan berbahaya lainnya yang menghasilkan sampah berumur panjang di orbit.
- 5) Pedoman 5: “*Minimize potential for post-mission break-ups resulting from stored energy*”;
Untuk membatasi risiko pecah/meledaknya wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur lain, semua sumber energi yang masih tersimpan di wahana antariksa atau *orbital stage* harus dibuang/dihabiskan dan dibuat aman ketika tidak diperlukan lagi untuk operasi misi atau melakukan *disposal* diakhir misinya.
- 6) Pedoman 6: “*Limit the long-term presence of spacecraft and launch vehicle orbital stages in the low-Earth orbit (LEO) region after the end of their mission*”;
Wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur yang telah dihentikan masa operasionalnya di orbit yang melintasi daerah LEO, harus dihapus/dipindahkan dari orbit secara terkendali. Jika hal ini tidak dimungkinkan, harus dibuang dari dalam orbit untuk menghindari kehadirannya di daerah LEO dalam waktu jangka panjang.
- 7) Pedoman 7: “*Limit the long-term interference of spacecraft and launch vehicle orbital stages with the geosynchronous Earth orbit (GEO) region after the end of their mission*”.

Wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur yang telah dihentikan masa operasionalnya di orbit yang melintasi daerah GEO, harus ditempatkan di orbit yang tidak mengganggu daerah GEO dalam waktu jangka panjang.

b. IADC

Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) merupakan forum internasional badan pemerintah untuk koordinasi kegiatan terkait dengan isu-isu sampah buatan manusia dan alam di antariksa. Upaya yang dilakukan IADC untuk mitigasi sampah di antariksa, yaitu menyusun dan merekomendasikan pedoman mitigasi sampah antariksa. Pedoman mitigasi sampah antariksa oleh IADC menggambarkan praktek-praktek untuk membatasi generasi sampah di lingkungan antariksa. Pedoman dan praktek pelaksanaannya difokuskan pada 4 (empat) kelompok kegiatan (IADC, 2014), yaitu:

1) Pembatasan sampah yang dirilis selama operasi normal

Semua wahana antariksa atau *orbital stage* harus dirancang untuk tidak merilis sampah selama operasi normal. Apabila hal ini tidak dimungkinkan, maka setiap sampah yang dirilis harus diminimalkan jumlah, wilayah dan masa aktifnya selama di orbit. Disamping itu, benda-benda yang dirilis ke orbit dinilai tidak memberi dampak yang signifikan pada lingkungan orbital, dan membahayakan wahana antariksa atau *orbital stage* lain yang sedang beroperasi. Demikian juga, harus dianalisis potensi bahaya dari sistem *tether* dengan mempertimbangkan baik sistem secara utuh maupun terpisah-pisah.

Sekitar 11% dari obyek yang ada di data katalog sampah antariksa, merupakan sampah yang dirilis selama operasi normal (IADC, 2014). Benda-benda yang dirilis selama operasi normal, adalah: konektor wahana peluncur dan alat pengencang (seperti: baut separasi, band penjepit, dan lain-lain); *fairings* (seperti: fairing dan adaptor untuk meluncurkan beberapa *payload*, dan lain-lain); penutup *nozzle*; yo-yo massa dan kabel; penutup lensa; dan beberapa peralatan *payload*.

Saat ini Produsen satelit sudah melakukan usaha pencegahan generasi sampah yang dirilis secara sengaja, karena kemungkinan sampah ini tetap sangat dekat dengan satelit yang diluncurkan, sehingga dapat membahayakan dan menghalangi kerja satelit tersebut. Oleh karena itu, persyaratan ini utamanya ditujukan untuk produsen wahana peluncur untuk mencegah generasi sampah yang sengaja dirilis selama operasi normal. Tindakan pencegahan yang juga menjadi perhatian, seperti: penutup motor apogee atau mesin yang harus tidak dipisahkan atau ditinggalkan di orbit saat melewati daerah orbit yang dilindungi. Jika hal ini tidak dimungkinkan, maka harus dilakukan *passivation*.

2) Meminimalkan potensi pecah/meledak di orbit

Tindakan meminimalkan terjadinya pecah/meledak di orbit, yaitu: potensi pecah/meledak selama misi berlangsung harus diminimalkan; semua sistem antariksa harus dirancang dan dioperasikan dengan mencegah terjadinya ledakan yang disengaja dan pecah pada akhir misinya; dan agar tidak direncanakan atau dilakukan pengrusakan secara disengaja, yang akan menghasilkan sampah orbital berumur panjang. Untuk ini, langkah-langkah yang dapat dilakukan, ialah:

a) Meminimalkan potensi pecah/meledak pasca misi yang dihasilkan dari energi yang tersimpan

Langkah-langkah pencegahan potensi terjadinya pecah/meledak di orbit dapat dilakukan, antara lain: semua sumber energi yang masih tersimpan di wahana antariksa atau *orbital stage*, seperti: sisa propelan, baterai, *high-pressure vessels*, *self-destructive devices*, *flywheels* dan *momentum wheels*, harus habis atau aman pada saat tidak

diperlukan lagi. Oleh karena itu, langkah-langkah mitigasi dapat dilakukan sebagai berikut:

- (1) Sisa propelan dan cairan lainnya seperti *pressurant*, sedapat mungkin harus habis, baik dilakukan dengan cara membakar habis atau membuat ventilasi, untuk mencegah terjadinya pecah/meledak akibat dari kelebihan tekanan atau reaksi kimia;
- (2) Baterai harus dirancang dan diproduksi secara memadai/memenuhi syarat, baik secara struktur (bangun) maupun sistem kelistrikkannya, untuk mencegah terjadinya pecah/meledak. Peningkatan tekanan dalam sel baterai dan perakitannya dapat dicegah dengan tindakan mekanis kecuali langkah-langkah ini menyebabkan pengurangan yang berlebihan terhadap jaminan/kualitas misi. Pada akhir operasi, saluran pengisian baterai harus diaktifkan kembali;
- (3) *High-pressure vessels* harus dibuang ke lokasi yang menjamin tidak dapat terjadi pecah/meledak. Membuat disain yang dapat dibocorkan sebelum pecah bermanfaat dilakukan, tetapi tidak cukup untuk memenuhi semua rekomendasi *passivation* dari sistem propulsi dan tekanan udara. *Heat pipe* dapat dibiarkan bertekanan, karena dampaknya sangat kecil apabila pecah;
- (4) Sistem *self-destruct* harus dirancang agar tidak menjadi penyebab kerusakan yang tidak disengaja yang disebabkan oleh adanya perintah, pemanasan termal, atau gangguan frekuensi radio;
- (5) Daya untuk *flywheels* dan *momentum wheels* harus dihentikan selama fase pembuangan;
- (6) Energi yang tersimpan dalam bentuk lain harus diperhitungkan dan harus menerapkan langkah-langkah mitigasi yang memadai/memenuhi syarat (IADC, 2014).

b) Meminimalkan potensi pecah/meledak selama operasi normal

Dalam melakukan disain wahana antariksa atau *orbital stage*, setiap program atau proyek harus menunjukkan, menggunakan modus kegagalan dan analisis akibat atau analisis setara, bahwa kemungkinan tidak ada modus kegagalan yang menyebabkan terjadinya pecah/meledak. Jika kegagalan tersebut tidak dapat dihindari, disain atau prosedur operasional harus meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan.

Selama fase operasional, wahana antariksa atau *orbital stage* harus secara berkala dipantau untuk mendeteksi gagal fungsi yang dapat menyebabkan pecah/meledak atau hilangnya fungsi kontrol. Dalam hal terdeteksinya kerusakan, harus direncanakan dan dilaksanakan langkah-langkah perbaikan yang memadai. Sebaliknya, harus direncanakan dan dilaksanakan langkah-langkah pembuangan dan *passivation* wahana antariksa atau *orbital stage*.

c) Menghindari kerusakan yang disengaja dan kegiatan berbahaya lainnya

Harus dihindari penghancuran wahana antariksa atau *orbital stage* yang disengaja (penghancuran wahana sendiri, tabrakan yang disengaja, dan lain-lain), dan kegiatan berbahaya lainnya yang secara signifikan dapat meningkatkan risiko tabrakan pada wahana antariksa dan *orbital stage* lainnya. Apabila akan melakukan penghancuran dengan sengaja, maka harus dilakukan pada ketinggian yang cukup rendah sehingga fragmen/kepingan orbital menjadi berumur pendek.

3) Pembuangan pasca misi

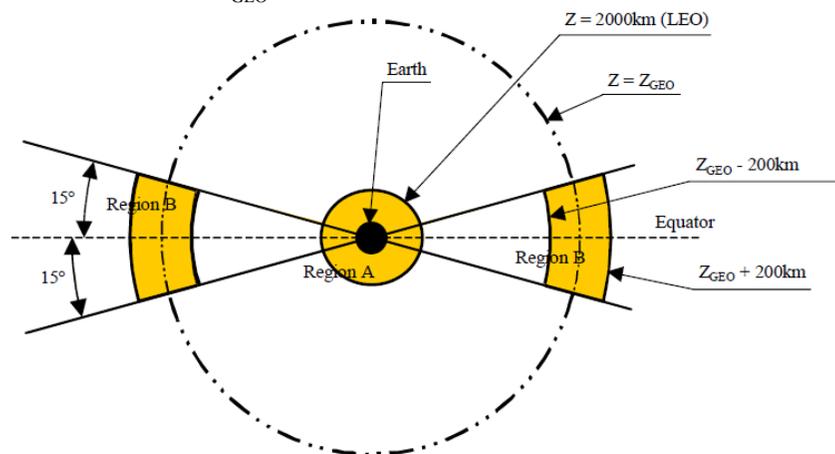
Pembuangan wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur pasca misi, dapat dilakukan ke suatu lokasi sebagai berikut:

a) *Geostationary Earth Orbit (GEO)*

Wahana antariksa yang misinya telah berakhir, harus bermanuver cukup jauh dari GEO. Bermanuver untuk menempatkan wahana antariksa tersebut di suatu orbit tetap di atas dari daerah GEO yang dilindungi (Gambar 3-1). Daerah yang dilindungi untuk orbit GEO, adalah antara $(35,786 - 200)$ km dan $(35,786 + 200)$ km, sedang untuk amannya daerah kuburan adalah pada $(35,786 \pm 235)$ km. Untuk daerah ini dijamin 100 tahun aman dengan tingkat keberhasilan 90% (Kitazawa, 2011). Menurut ESA, wahana antariksa dan *orbital stage* yang berada di atau dekat cincin geostasioner yang telah selesai melakukan misinya, direkomendasikan untuk melakukan manuver ke ketinggian sekitar 300 kilometer di atas cincin GEO sebagai orbit kuburan (*graveyard orbit*) (ESA, 2013c).

Daerah yang dilindungi/diproteksi (*protected regions*) ada 2 (dua), yaitu: daerah A dan B yang bersifat unik untuk tempat kegiatan di antariksa (Gambar 3-1), dan daerah-daerah ini harus dilindungi dari generasi sampah antariksa. Kedua daerah tersebut, adalah: (1) *Low Earth Orbit (LEO)*: wilayah yang berbentuk bulat (*spherical*) dengan ketinggian (Z) = 2.000 kilometer dari permukaan bumi; (2) *Geostationary Earth Orbit (GEO)*: suatu segmen berbentuk bulat (*spherical shell*) yang didefinisikan sebagai berikut:

- i. ketinggian terendah = tinggi geostasioner dikurang 200 kilometer;
- ii. tertinggi = tinggi geostasioner ditambah 200 kilometer;
- iii. -15 derajat \leq lintang (*latitude*) $\leq +15$ derajat;
- iv. tinggi geostasioner (Z_{GEO}) = 35,786 kilometer.



Sumber: IADC, 2014.

Gambar 3-1: Daerah Orbit yang Dilindungi.

Sistem propulsi untuk wahana antariksa GEO harus dirancang agar tidak dilepas dari wahana antariksanya. Apabila pemisahan tidak dapat dihindari dengan alasan tertentu, sistem propulsi harus dirancang agar tetap berada di orbit di luar daerah *geosynchronous* yang dilindungi. Terlepas dari apakah dipisahkan atau tidak, sistem propulsi harus dirancang untuk dapat melakukan *passivation*. Operator harus menghindari keberadaan *orbital stage* wahana peluncur di daerah *geosynchronous* dalam jangka panjang.

b) *Obyek Melintasi Daerah Low Earth Orbit (LEO)*

Wahana antariksa atau *orbital stage* yang berakhir fase operasionalnya di orbit yang melintasi daerah LEO, atau berpotensi mengganggu daerah LEO, bila dimungkinkan harus

dilakukan *de-orbit* (lebih baik langsung dilakukan *re-entry*) atau bila perlu bermanuver ke suatu orbit dengan mengurangi masa aktifnya.

Berdasarkan hasil studi IADC dan beberapa penelitian lain dan sejumlah pedoman nasional yang ada, menemukan bahwa 25 tahun merupakan batas masa aktif yang wajar dan sesuai untuk wahana antariksa. Jika wahana antariksa atau *orbital stage* dibuang kembali masuk ke atmosfer, sampah yang bertahan mencapai permukaan bumi harus tidak akan menimbulkan risiko yang tidak semestinya kepada manusia atau properti. Hal ini dapat dilakukan dengan membatasi jumlah sampah yang masih aktif atau membatasi sampah ke daerah tak berpenghuni, seperti wilayah laut yang luas. Juga, harus dicegah atau diminimalkan pencemaran lingkungan daratan, yang disebabkan oleh zat radioaktif, zat beracun atau polutan lingkungan lainnya, agar dapat diterima dan diperbolehkan. Dalam hal pengendalian *re-entry* untuk wahana antariksa atau *orbital stage*, operator dari sistem tersebut harus menginformasikan pada lalu lintas udara dan otoritas lalu lintas maritim terkait sewaktu masuk kembali dan melintasi daerah daratan terkait.

c) Orbit lain

Wahana antariksa atau *orbital stage* yang berakhir fase operasionalnya, harus bermanuver ke daerah orbit lain untuk mengurangi masa orbitnya. Hal ini sejalan dengan pembatasan masa aktif di LEO, atau dipindahkan jika wahana antariksa atau *orbital stage* tersebut mengganggu daerah orbit yang sangat dimanfaatkan.

4) Pencegahan tabrakan di orbit

Dalam setiap program mengembangkan disain dan profil misi wahana antariksa atau *orbital stage*, harus mengestimasi dan membatasi kemungkinan terjadinya tabrakan yang disengaja dengan benda-benda yang dikenal selama wahana antariksa atau *orbital stage* mengorbit. Jika tersedia data orbital yang handal, agar dapat dipertimbangkan bagi wahana antariksa untuk melakukan manuver menghindar apabila risiko tabrakan tidak dianggap diabaikan. Wahana antariksa harus dirancang sehingga membatasi kemungkinan tabrakan dengan puing-puing kecil yang dapat menyebabkan hilangnya kendali, sehingga mencegah tindakan *disposal* pasca-misi.

c. Amerika Serikat

Kebijakan pertama NASA dalam membatasi generasi sampah orbital secara formal dikeluarkan pada bulan April 1993 yang dituangkan dalam NMI (*NASA Management Instruction*) 1700.8. Sejalan dengan perkembangan analisis teknis, dikeluarkan kebijakan NSS (*NASA Safety Standard*) 1740.14 sebagai Pedoman dan Tata Cara Penilaian untuk membatasi sampah orbital, diterbitkan pada bulan Agustus 1995. NSS 1740.14 digunakan sebagai sumber referensi bagi pengembangan pedoman mitigasi sampah orbital dari negara-negara lain, IADC, dan PBB. NASA berupaya mengurangi pertumbuhan populasi sampah orbital, sehingga mengganti *NASA Safety Standard* 1740.14 dengan *NASA Standard* 8719.14. Sebagian besar isi dari dokumen yang lama tetap dipertahankan dalam standar baru. *NASA Standard* 8719.14 dituangkan dalam *NASA-Handbook* 8719.14 (Johnson and Stansbery, 2010). Beberapa perubahan yang dilakukan, antara lain:

1) Sampah yang dirilis selama operasi normal;

Mensyaratkan bahwa semua sampah wahana antariksa (*spacecraft*) atau wahana peluncur (*launch vehicle*) yang dirilis selama penyebaran (*deployment*), operasi, dan fase pembuangan harus dibatasi *orbital lifetime*-nya maksimum 25 tahun sejak tanggal merilis. Untuk misi yang menimbulkan sampah yang melintas dekat GEO dengan ukuran minimum 5 cm tetap menjadi perhatian. Membatasi sampah apogee

hingga mencapai batas ketinggian atas 200 km di bawah GEO setelah periode 25 tahun.

- 2) Sampah yang dihasilkan oleh ledakan dan *breakups* yang disengaja; Mencegah agar wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur meledak, dan hal ini menjadi prioritas tinggi bagi NASA dalam upaya mitigasi sampah orbital.
- 3) Pembatasan tabrakan dengan benda antariksa yang besar dan kecil
Tabrakan wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang disengaja dapat mempengaruhi lingkungan antariksa dekat bumi setiap saat selama *orbital lifetime* satelit. Oleh karena itu, diterapkan pembatasan risiko tabrakan 1 dalam 1000 selama masa *operational lifetime* dari wahana.
- 4) Pembuangan pasca misi;
Wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur yang melintasi LEO setelah *orbital lifetime*-nya berakhir dipindah ke orbit pembuangan. Namun, Batas atas *orbital lifetime* dari 25 tahun menjadi 30 tahun sejak diluncurkan, dan hal ini telah dilembagakan. Pembuangan untuk wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur di GEO dipersyaratkan setidaknya 200 km di atas GEO, dan setidaknya 100 tahun setelah berakhir masa misinya.

d. Perancis dan Eropa

Berawal dari kejadian pada bulan November 1986, *stage* atas dari Ariane 1 meledak di orbit sembilan bulan setelah berakhir misinya. Untuk menghindari generasi sampah di orbit LEO, dilakukan modifikasi desain dengan memperkenalkan sistem pasivasi sistematis dari *stage*. Sejak peristiwa tersebut, mitigasi sampah antariksa menjadi perhatian utama untuk semua kegiatan peluncuran di Eropa. CNES pada tahun 1989 telah mengadopsi lima syarat pertama (Bonnal et al., 2009) dalam pengembangan Ariane 5, dan persyaratan ini dimasukkan langsung kedalam Dokumen Sistem Persyaratan. Kelima syarat utama tersebut, yaitu: tidak akan ada lebih dari satu sampah pasif per muatan yang tersisa di orbit; pemisahan payload tidak akan menghasilkan sampah apapun; semua sistem pendorong harus dipasivasi; tidak ada risiko yang disebabkan oleh kelebihan tekanan yang akan terjadi di dalam sel kelistrikan dan baterai; harus dihindari penggunaan propulsi padat di dalam orbit.

CNES bersama mitra badan antariksa Eropa (ASI, BNSC, DLR dan ESA) membentuk kelompok kerja untuk menyusun dokumen Eropa tentang mitigasi sampah antariksa berdasarkan standar CNES. Kelompok kerja *European Space Debris Mitigation Standard Working Group* (EDMSWG) menghasilkan dokumen Kode Etik Eropa (*European Code of Conduct*) untuk mitigasi sampah antariksa yang ditandatangani oleh Presiden CNES pada bulan Oktober 2004, dan kemudian oleh kepala lembaga lainnya termasuk Direktur Jenderal ESA pada bulan Agustus 2006. CNES secara sistematis selalu menerapkan arahan pada standar CNES tentang mitigasi sampah antariksa, dan juga menerapkan Kode Etik Eropa tentang mitigasi sampah antariksa yang ditandatangani oleh Presiden CNES (Portelli et al., 2010).

Regulasi di Eropa untuk peluncur di Eropa berlaku persyaratan utama, yaitu: untuk peluncuran muatan tunggal, tidak akan ada lebih dari satu sampah yang tersisa di orbit dan dua untuk beberapa peluncuran; tidak akan ada kerusakan yang disengaja di orbit; harus dihindari propulsi padat dan piroteknik yang berpotensi menghasilkan sampah yang lebih besar dari 1 (satu) mm; *stages* yang tersisa di orbit dipasivasi secara permanen pada akhir fase pembuangannya; *stages* yang melintasi wilayah LEO akan memasukkan kembali

atmosphere dalam waktu 25 tahun; *stages* yang beroperasi di GEO harus dibuang sejauh mungkin sehingga tidak mengganggu wilayah GEO. Disamping itu, tidak akan merilis objek terkait misi seperti band penjepit, baut piroteknik, pegas (*spring*). Semua ketentuan di atas telah diterapkan pada Ariane 5 (Bonnal et al., 2009).

e. Indonesia

Indonesia telah memiliki Undang-Undang No.21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan yang mengatur tentang kegiatan keantariksaan (Kemenkumham, 2013). Pasal-pasal dalam undang-undang ini yang terkait dengan mitigasi sampah di antariksa, diantaranya ialah

- 1) Pasal 1 angka 4:
 - (4) Penyelenggaraan Keantariksaan adalah setiap kegiatan eksplorasi dan pemanfaatan Antariksa yang dilakukan, baik di dan dari bumi, Ruang Udara, maupun Antariksa.
- 2) Pasal 7 ayat (1) huruf c dan d, dan ayat (2) huruf b, f, dan g:
 - (1) Kegiatan Keantariksaan meliputi: c. penguasaan teknologi keantariksaan; d. peluncuran.
 - (2) Kegiatan Keantariksaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan dengan memperhatikan: b. Keamanan dan Keselamatan; f. keandalan sarana dan prasarana Keantariksaan; g. perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dan lingkungan Antariksa.
- 3) Pasal 8 huruf d dan e:

Setiap kegiatan keantariksaan dilarang: d. melakukan kegiatan yang dapat mengancam Keamanan dan Keselamatan Penyelenggaraan Keantariksaan termasuk keamanan benda antariksa, perseorangan, dan kepentingan umum; atau e. melakukan kegiatan yang dapat mengakibatkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup bumi dan Antariksa serta membahayakan kegiatan Keantariksaan termasuk penghancuran Benda Antariksa.
- 4) Pasal 28:
 - (1) Lembaga dalam melakukan penguasaan dan pengembangan teknologi Raket wajib: a. menyusun program pengembangan Raket; b. Membuat perancangan dan prototipe Raket; dan c. melaksanakan pengujian Raket.
 - (2) Untuk melaksanakan penguasaan dan pengembangan teknologi Raket sebagaimana dimaksud pada ayat (1), Lembaga wajib mengembangkan sarana dan prasarana serta sumber daya yang terkait dengan teknologi Raket.
 - (3) Untuk membuat perancangan dan prototipe Raket sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b dan melaksanakan pengujian Raket sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c, Lembaga wajib menjaga Keselamatan dan Keamanan pelaksanaan kegiatan dan masyarakat umum dari risiko kecelakaan.
- 5) Pasal 35 ayat (1) huruf d:
 - (1) Dalam melaksanakan kegiatan peluncuran Wahana Antariksa, Penyelenggara Keantariksaan wajib: d. menjamin bahwa peluncuran tidak akan menimbulkan kemungkinan gangguan terhadap keamanan nasional serta tidak akan menimbulkan pelanggaran terhadap kebijakan luar negeri dan kewajiban internasional.

- 6) Pasal 51 ayat (1), (2), (3):
- (1) Setiap Penyelenggara Keantariksaan bertanggung jawab terhadap keamanan Penyelenggaraan Keantariksaan.
 - (2) Untuk menjamin keamanan Penyelenggaraan Keantariksaan, setiap Penyelenggara Keantariksaan wajib memenuhi standar dan prosedur Keamanan.
 - (3) Lembaga wajib mengawasi kepatuhan pemenuhan standar dan prosedur Keamanan yang dilaksanakan oleh setiap Penyelenggara Keantariksaan.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan kebijakan keantariksaan Indonesia saat ini yang tertuang dalam Undang-Undang No.21 Tahun 2013, bahwa penekanan pengaturannya hanya pada: perlindungan dan pengelolaan lingkungan antariksa; pencemaran dan pengrusakan lingkungan bumi dan antariksa; penghancuran benda antariksa; pembuatan perancangan dan prototipe roket; pengembangan sarana dan prasarana; peluncuran tidak melanggar kebijakan luar negeri dan kewajiban internasional; wajib memenuhi standar dan prosedur keamanan. Kebijakan ini masih belum sepenuhnya memenuhi tuntutan dalam rangka mitigasi sampah di antariksa, khususnya mitigasi sampah di orbit LEO dan GEO.

Penekanan pengaturan dalam kebijakan yang dikeluarkan UNCOPUOS, IADC, dan negara-negara tentang mitigasi sampah antariksa, antara lain ialah: tidak merilis sampah di antariksa selama operasi normal; mencegah terjadinya pecah/meledak saat operasional; mencegah terjadinya tabrakan dengan benda lain yang dikenal; melakukan pengrusakan/penghancuran yang disengaja; mencegah terjadinya pecah/meledak pasca misi akibat energi yang tersisa; melakukan pemindahan wahana antariksa dan/atau *orbital stage* wahana peluncur yang sudah tidak operasional dari orbit LEO atau GEO. Dengan melakukan patok duga pada kebijakan tersebut, maka kebijakan yang perlu disusun Indonesia dalam rangka mitigasi sampah di antariksa, yaitu:

- 1) Penyelenggara keantariksaan dalam merancang bangun satelit atau wahana antariksa lain untuk tidak merencanakan merilis komponen yang merupakan bagian dari satelit atau wahana antariksa tersebut di orbit LEO atau GEO yang dilindungi seperti yang digambarkan pada Gambar 3-1. Komponen yang tidak boleh dirilis, seperti penutup sensor; penutup lensa; dan beberapa komponen *payload*. Jika hal ini tidak dimungkinkan, maka harus diminimalkan dampak dari setiap pelepasan sampah di lingkungan antariksa.
- 2) Penyelenggara keantariksaan dalam merancang bangun wahana peluncur atau roket untuk tidak merencanakan merilis komponen yang merupakan bagian dari wahana peluncur atau roket seperti komponen separasi di orbit LEO atau GEO yang dilindungi. Komponen yang tidak boleh dirilis, seperti: konektor wahana; alat pengencang (baut separasi, *band* penjepit, dan lain-lain); *fairing* dan adaptor untuk meluncurkan beberapa *payload*; penutup *nozzle*; kabel; dan lain-lain. Jika hal ini tidak dimungkinkan, maka harus diminimalkan dampak dari setiap pelepasan sampah di lingkungan antariksa.
- 3) Lembaga atau penyelenggara keantariksaan dalam merancang masa aktif (*orbital lifetime*) wahana antariksa atau satelit di orbit bumi tidak melebihi dari 25 tahun.
- 4) Wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang berada di orbit LEO atau melintasi daerah LEO yang misinya telah berakhir atau dihentikan masa operasionalnya, agar direncanakan untuk dibuang atau dikeluarkan dari orbit LEO. Wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang berada di orbit LEO dapat dibuang atau dikeluarkan dari orbit bumi dengan melakukan manuver kembali ke atmosfer bumi secara terkendali.

Sisa wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang bertahan hingga mencapai permukaan bumi, ditempatkan di daerah aman dan tidak menimbulkan risiko yang terlalu besar terhadap manusia dan/atau properti, serta dipastikan tidak mencemari lingkungan yang disebabkan oleh zat berbahaya.

5) Wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang berada di orbit GEO dan misinya telah berakhir atau dihentikan masa operasionalnya, agar direncanakan untuk dibuang atau dikeluarkan dari orbit GEO. Wahana antariksa atau *orbital stage* dari wahana peluncur yang berada di orbit GEO dapat dibuang atau dikeluarkan dari orbit bumi dengan melakukan manuver ke sekitar 200 kilometer di atas cincin GEO sebagai orbit kuburan (*graveyard orbit*).

6) Penyelenggara keantariksaan dilarang melakukan percobaan di antariksa yang dapat membahayakan wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur yang sedang operasional, dan mengganggu kegiatan lainnya di antariksa, serta berpotensi menambah populasi sampah di antariksa.

7) Penyelenggara keantariksaan dilarang berencana melakukan penghancuran/perusakan wahana antariksa dengan disengaja yang berakibat menghasilkan sampah orbital berumur panjang. Apabila akan melakukan penghancuran dengan sengaja terhadap wahana antariksa, maka dilakukan pada ketinggian yang cukup rendah untuk membatasi masa aktif dari puing-puing sampah yang dihasilkan atau membuat puing-puing berumur pendek selama di orbital.

8) Penyelenggara keantariksaan dalam mengembangkan disain wahana antariksa atau *orbital stage* wahana peluncur, harus mengestimasi dan membatasi kemungkinan terjadinya tabrakan yang disengaja dengan benda-benda yang dikenal selama fase peluncuran dan masa aktif selama di orbit. Jika tersedia data orbital yang menunjukkan potensi tabrakan, maka harus dilakukan penyesuaian waktu peluncuran atau harus dipertimbangkan melakukan manuver di orbit untuk menghindari.

9) Struktur/bangun wahana antariksa atau satelit harus didisain sedemikian rupa sehingga membatasi kemungkinan tabrakan dengan sampah puing-puing kecil yang dapat menyebabkan hilangnya kendali wahana antariksa atau satelit tersebut, sehingga dapat dicegah tindakan pembuangan pasca-misi.

10) Wahana peluncur dan/atau wahana antariksa sebelum diluncurkan, perlu mengetahui terlebih dulu data-data tentang benda orbital sehingga dapat dihindari tabrakan dengan wahana antariksa lain yang sedang operasional di orbit bumi.

11) Wahana antariksa dan wahana peluncur dirancang agar sistem propulsi dan daya dari sistem antariksa tidak mengalami kegagalan di orbit yang menyebabkan terjadinya pecah/meledak. Oleh karena itu, potensi kegagalan ini harus dianalisis secara mendalam, dan harus direncanakan tindakan pembuangan dan *passivation* apabila terjadi kegagalan pada sistem.

12) Menghindari penggunaan propulsi padat dan piroteknik yang berpotensi menghasilkan sampah yang lebih besar dari 1 (satu) mm.

13) Dalam merancang bangun wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur, agar semua sumber energi yang tersimpan diperhitungkan habis atau aman pada saat tidak diperlukan lagi. Hal-hal yang harus diperhitungkan, seperti: sisa propelan, cairan *pressurant* sedapat mungkin harus habis; struktur dan sistem kelistrikan baterai harus dirancang dan diproduksi secara baik; *high-pressure vessels* harus dibuat ke level yang menjamin tidak akan terjadi pecah/meledak, perangkat *self-destruct* harus dirancang agar

tidak menjadi penyebab kerusakan, daya dari *flywheels* dan *momentum wheels* harus dihentikan selama fase pembuangan; dan energi yang tersimpan lainnya.

Persentase terbesar dari populasi sampah orbital berasal dari fragmentasi wahana antariksa/satelit dan *orbital stage* wahana peluncur. Fragmentasi tersebut pada umumnya disebabkan oleh meledaknya wahana antariksa dan *orbital stage* wahana peluncur—yang ditinggalkan—tanpa disengaja karena masih menyimpan energi dengan jumlah signifikan. Demikian juga dengan sumber-sumber penyebab lainnya yang membuat bertumbuhnya populasi sampah orbital yang perlu diperhitungkan dalam membuat kebijakan penyelenggaraan keantariksaan di Indonesia. Untuk itu, penyelenggara keantariksaan di Indonesia harus melakukan perencanaan disain, manufaktur, operasi, dan fase pembuangan pada akhir misi wahana antariksa dan wahana peluncur dengan memperhitungkan risiko yang mungkin terjadi. Disamping itu, perlu menerapkan standar mutu pada setiap produk yang dilakukan, demikian juga dalam melakukan kontrak kerja dengan suatu perusahaan/industri yang terlibat dalam kegiatan keantariksaan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembelajaran yang dilakukan pada kebijakan UNCOPUOS, IADC, dan negara-negara dalam membuat kebijakan kegiatan keantariksaan di Indonesia untuk mitigasi sampah antariksa, diperoleh hasil bahwa

- a. Setiap merancang bangun satelit dan wahana peluncur, tidak merencanakan untuk merilis komponen yang merupakan bagian dari satelit dan wahana peluncur selama operasi normal. Dilarang melakukan percobaan dan penghancuran benda antariksa yang berakibat bertambahnya sampah orbital berumur panjang di orbit LEO atau GEO. Apabila akan melakukan penghancuran wahana antariksa, harus dilakukan di ketinggian yang cukup rendah.
- b. Setiap merancang bangun wahana antariksa dan wahana peluncur harus diestimasi dan diminimalkan kemungkinan tabrakan dengan benda-benda lain dan dapat melakukan manuver menghindar, merencanakan membuang satelit atau wahana peluncur yang telah berakhir masa operasional atau dihentikan pengoperasiannya.
- c. Setiap merancang bangun, memproduksi, menguji, dan meluncurkan wahana antariksa dan wahana peluncur, serta fase pembuangan wahana antariksa dan wahana peluncur yang misinya telah berakhir atau dihentikan masa operasionalnya selalu memperhitungkan risiko yang mungkin terjadi, dan menerapkan manajemen mutu.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya kajian ini, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga dapat diselesaikannya kajian ini dengan baik. Ucapan terima kasih ini juga kami sampaikan pada Kepala Pusat Kebijakan dan Informasi Kedirgantaraan, LAPAN yang telah memberi fasilitas dalam pelaksanaan kajian ini sehingga dapat diselesaikannya kajian ini dengan baik dan mengijinkannya untuk dipublikasikan.

DAFTAR ACUAN

- Barbora, Jetmarová., 2011, *Comparison of Best Practice Benchmarking Models*, Problems of Management in the 21st century Volume 2, University of Pardubice, Pardubice, Czech Republic.
- Bonnal, Christophe., Jacques Gigou., and Didier Aubin., 2009, *Space debris mitigation measures applied to European launchers*, Acta Astronautica 65.
- Bradley, Andrew M., and Wein, Lawrence M., 2009, *Space debris: Assessing risk and responsibility*, Advances in Space Research, Published by Elsevier Ltd.
- Brearley, Andrew., 2008, Reflections Upon the Notion of Liability: *The Instances of Kosmos954 and Space Debris*, Journal of Space Law, 34(2).
- Durrieu, Sylvie., and Nelson, Ross F., 2013, *Earth observation from space - The issue of environmental sustainability*, Space Policy 29.
- ESA, 2013a, *Distribution of Debris*, http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/04/Distribution_of_debris, diunduh 1 September 2014.
- ESA, 2013b, *International Cooperation*, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris/International_cooperation, diunduh 30 Agustus 2014.
- ESA, 2013c, *Mitigating Space Debris Generation*, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris/Mitigating_space_debris_generation, diunduh 30 Januari 2015.
- Hobe, Stephan., 2009, *Legal Analysis of the UN Space Debris Mitigation Guidelines*, International Interdisciplinary Congress on Space Debris, 7-9 May 2009, McGill University, Montreal, Canada.
- IADC, 2014, *Support to the IADC Space Debris Mitigation Guidelines*, IADC-04-06, Rev 5.5 May.
- Johnson, Nicholas L., and Stansbery, Eugene G., 2010, *The new NASA orbital debris mitigation procedural requirements and standards*, Acta Astronautica 66.
- Kemenkumham, 2013, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 Tentang Keantariksaan*, Jakarta, 6 Agustus.
- Kitazawa, Yukihito., 2011, *Organizational and Operational Requirements for Space Debris Remediation*, International Interdisciplinary Congress on Space Debris Remediation, November 11 and 12, Canada.
- LAPAN, 2015, *Perka LAPAN No, 3 Tahun 2015 Tentang Renstra LAPAN Tahun 2015-2019*, Jakarta, 20 April.
- Liou, J.C., 2011, *An active debris removal parametric study for LEO environment remediation*, Advances in Space Research 47.
- Marković, Ljubo., Velimir Dutina., and Miljan Kovačević., 2011, *Application of Benchmarking Method in the Construction Companies*, Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering, 9(2).
- NASA, 2013, *Space Debris and Human Spacecraft*, September 27, http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html#.VB-FANyUfg8, diunduh 14 September 2014.
- Polk, Marshall., David Woods., Brian Roebuck., John Opiela., and Patti Sheaffer., J.C. Liou., 2013, *Orbital Debris Assessment Testing in the AEDC Range G*, The 13th Hypervelocity Impact Symposium, Procedia Engineering 103.

- Portelli, Claudio., Fernand Alby., Richard Crowther., and Uwe Wirt., 2010, *Space Debris Mitigation in France, Germany, Italy and United Kingdom*, Advances in Space Research 45.
- Ruiz, JoséL., José V. Segura., and Inmaculada Sirvent., 2015, *Benchmarking and target setting with expert preferences: An application to the evaluation of educational performance of Spanish universities*, European Journal of Operational Research 242.
- United Nations, 2010, *Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, United Nations Office for Outer Space Affairs, Vienna, Special Publication.
- United Nations, 2014, *Report of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, Fifty-seventh session (11-20 June 2014), A/69/20.
- Yuka, Anugerah Asmara., 2012, *Meningkatkan Pemanfaatan Hasil-Hasil Riset Kebijakan Dalam Proses Pembuatan Kebijakan Iptek di Indonesia (Pembelajaran Dari Proses Pembuatan Kebijakan Lingkungan Hidup di Inggris)*, Warta KIML, 10(1).