

# Pengaruh Space Debris Terhadap Operasi Wahana Antariksa

Sri Rubiyanti

Bidang Analisis Sistem Kedirgantaraan Pussisfogan, LAPAN

## PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya kegiatan antariksa, peluncuran wahana antariksa (satelit) menuju orbit semakin intensif pula. Tetapi kenyataan menunjukkan bahwa kegiatan tersebut selain berdampak positif juga mempunyai dampak negatif, sebab setiap peluncuran wahana antariksa baik yang sukses maupun yang gagal, pasti menambah jumlah barang sisa, puing dan rongsokan wahana antariksa, termasuk wahana peluncurnya yang membawa menuju orbit. Selain itu barang sisa tersebut juga dapat berupa satelit yang sudah berhenti masa operasinya, hanya melayang-layang di antariksa dan sudah tidak dapat dikendalikan lagi. Barang sisa atau rongsokan ini dikenal dengan nama *space debris*.

*Space debris* mempunyai ukuran yang bervariasi mulai dari yang halus hingga beberapa meter diameternya. Semuanya melayang-layang tidak dapat dikendalikan, bergerak dengan kecepatan yang relatif lebih tinggi dari pada satelit yang operasional. Sebagai contoh pada orbit LEO kecepatan rata-rata pada saat menabrak adalah 10 km per detik sama dengan 36.000 km per jam, sehingga kemungkinan terjadinya suatu tabrakan diantara obyek-obyek tersebut akan lebih besar daripada dengan obyek-obyek lainnya yang ukurannya lebih kecil.

Meningkatnya jumlah *space debris*, menimbulkan permasalahan yaitu kemungkinan terjadinya tabrakan antara satelit dengan *space debris* buatan manusia dan bahaya tabrakan dengan meteoroid dan jenis benda alam

lainnya. Juga dapat membahayakan kehidupan di bumi, baik bahaya benturan fisik maupun radiasi.

Permasalahan tersebut berkembang menjadi dampak terhadap lingkungan antariksa dan beroperasinya wahana antariksa, akibatnya sulit menentukan jadwal dan rute peluncuran wahana antariksa yang aman dari benturan *space debris*.

Dalam makalah ini akan diinformasikan pengertian *space debris* dan jenis-jenis teknik pengukurannya serta dampaknya terhadap operasi wahana antariksa.

## SPACE DEBRIS DAN PENGUKURANNYA

### Pengertian *Space Debris*

Debris adalah benda buatan manusia baik yang dikenal atau yang tidak dikenal pemiliknya, baik yang jatuh ke bumi maupun yang tersebar di antariksa melayang-layang tidak terkontrol. Kira-kira 5000 satelit telah diluncurkan sejak Sputnik I pertama kali diluncurkan pada tahun 1957. Beberapa dari satelit tersebut telah berhenti beroperasi hanya melayang-layang tidak terkontrol di antariksa dan menjadi *space debris*. Beberapa dari *debris* tersebut melayang-layang mengitari bumi, bukan hanya satelit yang sudah tua, tetapi juga bagian-bagian yang merupakan pecahan dari wahana antariksa, pengelupasan cat, sarung tangan yang dibuang oleh astronot dan banyak obyek-obyek lainnya.

Jumlah *debris* yang terdapat di antariksa, tidak seorangpun yang tahu secara tepat, tetapi para peneliti Amerika Serikat menaksir kira-kira 9000 obyek buatan yang melayang-layang di antariksa. Pecahan-pecahan tersebut terdiri dari bagian obyek yang berukuran besar yang jumlahnya hampir separuh dari jumlah total *space debris*, sedangkan sisanya adalah satelit-satelit yang di nonaktifkan atau bagian-bagian ruas atas roket yang dibuang. Diperkirakan ada 70.000 obyek yang berukuran 2 cm berada pada ketinggian 850 - 1000 km. Pada ketinggian 2000 km ke bawah secara umum populasi debris didominasi oleh meteoroid alam yang berukuran a 1 mm, sedangkan debris yang berukuran submilimeter terbatas pada ketinggian di bawah 600 km. Perkiraan jumlah total *space debris* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel Perkiraan Populasi Debris

Ukuran	Jumlah	% masa
> 10 cm	> 9000	<b>99.93</b>
1 - 10 cm	> 100.000	0.035
< 1 cm	> 35.000.000	0.035
<b>Total</b>	> 35.000.000	> 2.000 ton

Sum bet ; Crowther, Richard. 'Overview of Environmental Issues to Human Space Activities', Committee on The Peaceful Use of Outer Space, Proceeding of the 16 \* COSPAR/IAF Symposium, 19 Februari 2001.

## 2.2 Sumber Space Debris

Berbagai macam sumber yang menyebabkan timbulnya *space debris* yaitu terbentuk dari perpecahan benda antariksa akibat ledakan atau tubrukan, tetapi yang paling utama adalah karena ledakan. Diperkirakan 35 % sumber perpecahan adalah ruas atas roket atau komponen yang dioperasikan secara sukses, tetapi ditinggalkan setelah misi penempatan wahana antariksa selesai dilakukan. Sebesar 85 % debris yang berukuran lebih besar dari 5 cm berasal dari pecahan ruas atas roket dan wahana antariksa (satelit). Insiden perpecahan seperti ini sangat banyak terjadi pada peristiwa pengorbitan wahana yang dilakukan baik oleh China, Federasi Rusia, Amerika Serikat

maupun ESA. Ledakan dapat terjadi karena tidak berfungsinya sistem propulsi serta pengisian baterai yang melebihi batas. Sumber *debris* yang lain adalah obyek-obyek yang terbuang saat operasi pengorbitan satelit, misalnya tali pengikat, tutup nozel, tutup lensa, pelepasan baut dan berbagai alat bantu dan alat pelindung yang lain. Berbagai partikel secara tidak sengaja dapat terbentuk dan tersembur ke antariksa, yang terjadi saat dan sesudah pembakaran pada motor roket padat, yang akan mengakibatkan terbentuknya *debris* berukuran kecil. Juga akibat pengamh lingkungan antariksa seperti erosi, radiasi matahari, dan benturan meteoroid, dapat menyebabkan pengelupasan cat dari wahana antariksa.

## Pengukuran Space Debris

Pengukuran *space debris* yang dilakukan hingga saat ini dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok yaitu pengukuran berbasis bumi dan pengukuran berbasis antariksa. Pengukuran berbasis bumi juga dapat dibedakan menjadi dua yaitu yang memanfaatkan teknologi optis dan teknologi radar. Begitu pula pengukuran berbasis antariksa juga dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu dengan menempatkan berbagai sensor pada wahana yang mengorbit antariksa, dan dengan menganalisis permukaan wahana antariksa yang kembali dari orbit dan menganalisis pecahan-pecahan wahana antariksa yang jatuh kembali ke permukaan bumi.

## Pengukuran Berbasis Bumi

Secara khusus pengukuran dengan optis telah dilakukan untuk *space debris* pada orbit HEO (*High Earth Orbit*), dan pengukuran dengan radar telah dilakukan untuk orbit LEO [*Low Earth Orbit*]. Hal ini disebabkan karena karakteristik teknisnya, pengukuran dengan radar berbasis bumi dinilai sangat sesuai untuk observasi obyek di antariksa karena dapat dioperasikan dalam segala cuaca, baik siang maupun malam. Tetapi untuk pengukuran obyek yang sangat jauh teleskop optis

berkinerja lebih baik dari pada radar dan ternyata untuk orbit rendah pada umumnya radar berkinerja lebih baik dari pada optis.

Pada dasarnya ada dua tipe radar yang dipergunakan untuk mengukur *space debris* yaitu (1) radar dengan antena reflektor parabolik yang secara mekanik mengontrol arah sorotan (*beam direction*). Dengan radar ini hanya obyek yang berada dalam cakupan sorotan yang dapat dideteksi dan diukur dan (2) radar dengan antena tegak yang berderet yang secara elektronik mengontrol arah sorotan (*beam direction*). Dengan radar ini berbagai obyek pada arah yang berbeda dapat dideteksi dan diukur secara simultan. Radar tipe pertama dipergunakan terutama untuk penjejakan (*tracking*, sedang tipe kedua dipergunakan baik untuk penjejakan maupun untuk tugas pencarian (*search tasks*).

Sedang menurut penggunaan antena, radar juga dapat dibedakan menjadi dua yaitu radar monostatik yaitu radar dengan satu antena untuk pemancar dan penerima dan radar bistatik yaitu radar yang dilengkapi antena pemancar maupun antena penerima.

Baik Federasi Rusia maupun Amerika Serikat mengoperasikan jaringan baik radar maupun teleskop optis dalam rangka deteksi dan penjejakan. Disamping Federasi Rusia dan Amerika Serikat, Jerman dan Jepang juga telah melakukan pengukuran *debris*, bahkan terhadap *debris* yang berukuran hingga 0.2 cm pada orbit LEO. Salah satu hasil yang menonjol yang dihasilkan dari semua hasil pengukuran yang selama ini diperoleh adalah bahwa untuk semua ukuran, populasi *debris* antariksa melebihi populasi meteor (kecuali untuk yang berukuran 30 hingga 500 nm).

Pengukuran *space debris* dengan teknologi optis hanya dapat dilakukan kalau (1) langit jernih, (2) *debris* yang bersangkutan terkena cahaya matahari dan (3) *debris* yang bersangkutan memiliki ukuran yang memungkinkan untuk dideteksi. Oleh karena itu, pada umumnya pengukuran hanya dapat dilakukan pada siang hari, kecuali untuk beberapa kondisi tertentu. Pendeteksian

*debris* antariksa yang berada di orbit rendah, masih dapat dilakukan satu sampai dua jam sesudah matahari terbenam, serta sudah dapat dilakukan sejak satu hingga dua jam sebelum matahari terbit. Sedangkan pendeteksian terhadap *debris* antariksa yang berada di orbit tinggi (HEO), dapat dilakukan walau malam hari.

Beberapa negara seperti Amerika Serikat, Federasi Rusia, Perancis, Jepang, Swiss dan Inggris memiliki teleskop yang berkemampuan untuk mendeteksi obyek antariksa sebesar satu meter atau yang memiliki ukuran bintang (*stellar magnitude*) 16 yang berada di orbit tinggi (HEO). Hingga saat ini, kemampuan teleskop optis semacam ini adalah yang paling tajam pengamatannya, oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa sangat sedikit informasi tentang *debris* antariksa yang berukuran kurang dari satu meter yang berada di orbit tinggi.

### Pengukuran Berbasis Antariksa

Pengukuran berbasis antariksa pada umumnya mempunyai keuntungan yaitu resolusinya tinggi, karena jarak antara pengamat dan obyek yang diamati lebih dekat. Disamping itu, pengukuran dengan cara ini tidak terganggu atmosfer, namun biaya sistem berbasis antariksa pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan sistem berbasis bumi.

Informasi tentang partikel-partikel berukuran submilimeter (lebih kecil dari 1 mm) dapat diperoleh melalui detektor yang mampu mendeteksi *debris* antariksa yang lebih halus, kalau detektor tersebut ditempatkan di wahana antariksa yang sedang mengorbit. Atas dasar pemikiran ini maka sejumlah detektor atau sensor khusus telah dikembangkan dan dipasang pada wahana antariksa, antara lain : detektor debu dan *debris* milik ESA dipasang pada wahana antariksa geostasioner *Express - 2* milik Rusia, CNES (*The French Centre for National Space Studies*) menempatkan detektor pada satelit Perancis STENTOR yang berorbit geostasioner dan pada satelit Israel yang berorbit heliosinkron, sensor-sensor

yang dicmpatkan pada stasiun antariksa Rusia, Salyut 1,2,3,4,6,7 dan MIR, detektor astronomi pada satelit astronomi infra - merah [IRAS - *Infra - Red Astronomical Satellite*], sensor yang ditempatkan pada wahana antariksa MSX (*Midcourse Space Experiment*), detektor ionisasi benturan GORID (*Geostationary Orbit Impact Detector*) dipasang pada satelit telekomunikasi milik Rusia geostasioner Express - 12. Saat ini sedang dikembangkan detektor DEBIE yang akan dipasang pada satelit PROBA, suatu satelit teknologi yang berorbit polar milik ESA.

Informasi sejenis seperti disebutkan di atas, juga dapat diperoleh melalui analisis terhadap permukaan wahana antariksa yang telah selesai melaksanakan misinya dan kembali ke bumi. Setelah kontak dengan lingkungan antariksa, pada permukaan wahana antariksa biasanya diketemukan berbagai bekas benturan obyek antariksa dan berbagai material halus. Pada bekas benturan ini diketemukan berbagai lekukan dan lubang, masing-masing mempunyai diameter mulai dari mikrometer hingga beberapa milimeter.

Sedangkan material halus yang dimaksud adalah berupa debu yang menempel dipermukaan berbagai bagian pada wahana antariksa serta berbagai material sisa benturan yang melekat disekitar lekukan dan lubang bekas benturan. Keadaan yang sama juga diketemukan pada pecahan wahana antariksa yang jatuh kembali ke bumi.

Masalah mendasar yang dihadapi adalah membedakan benturan meteoroid dengan benturan debris buatan manusia. Suatu metoda yang sudah teruji untuk mengenali jenis partikel pembentur adalah analisis kimiawi. Namun masih terdapat berbagai kesulitan dalam penerapannya, karena pada benturan berkecepatan tinggi, sangat sedikit material asli pembentur yang tidak berubah, yang menempel di sekitar lekukan atau lubang. Hal ini disebabkan karena pada benturan berkecepatan tinggi, pada umumnya material pembentur hancur menguap dan karena pengaruh lingkungan uap tersebut berkondensasi dan menempel di sekitar bekas benturan. Material hasil kondensasi inilah yang dianalisis.

Analisis terhadap berbagai bekas benturan telah dilakukan antara lain pada LDEF (*Long Duration Exposure Facility*) terdapat lebih dari 30.000 lekukan yang dapat dilihat dengan mata telanjang, dan 5.000 lekukan diantaranya berdiameter lebih besar dari 0.5 milimeter, lekukan terbesar berdiameter 5 mm kemungkinan disebabkan oleh tabrakan partikel yang berukuran 1 milimeter, pada EURECA (*European Recoverable Carrier*) lekukan yang paling besar berdiameter 6.4 mm, pada panel surya teleskop Hubble (*Hubble Space Telescope - HST*), ditemukan bekas benturan yang berukuran 2-8 kali dari lekukan pada EURECA dan pada SFU milik Jepang (*Space Flyer Unit*) yang diambil kembali setelah melakukan misinya ditemukan hampir 500 lekukan.

#### PENGARUH SPACE DEBRIS TERHADAP OPERASI SISTEM ANTARIKSA

Kasus-kasus yang telah dikemukakan di atas, memberikan bukti mengenai pengaruh lingkungan yang mengandung partikel terhadap wahana antariksa yang berada di orbit. Empat faktor yang menentukan bagaimana lingkungan debris antariksa mempengaruhi operasi sistem antariksa, yaitu : (1) lama wahana tersebut mengorbit (*time in orbit*), (2) daerah yang akan dilalui, (3) ketinggian orbit dan (4) inklinasi orbit. Dari keempat faktor tersebut, faktor ke 1, 2 dan 3 merupakan faktor-faktor yang menonjol. Disamping itu besar kecilnya *debris* juga berpengaruh.

#### Pengaruh Obyek Debris Berukuran BMU

Biasanya, yang dimaksud dengan obyek *debris* berukuran besar adalah yang berukuran lebih besar dari 10 cm, obyek ini dapat dijejakan. Jika suatu pecahan *debris* berukuran 10 cm dengan berat 1 kg bertubrukan dengan wahana antariksa tertentu yang beratnya 1200 kg, maka dapat menimbulkan satu juta pecahan dengan ukuran kira-kira 1 mm atau lebih. Dalam perjalanan misi-misi, pesawat ulang alik, roket

pengorbit, telah berkali-kali melakukan manuver untuk menghindari tubrukan dengan obyek *debris* berukuran besar. Satelit ERS-1 pada Juni 1997 dan SPOT-2 pada Juli 1997, melakukan manuver untuk menghindari tubrukan dengan *debris* berukuran besar. Peluncuran STS - 72 (Endevour Space Shuttle Flight) yang membawa astronot Jepang Koichi Wakata pada tahun 1996, ditunda beberapa menit karena jalannya wahana tersebut akan berpapasan dengan satelit militer milik Amerika. Pada tahun 1996 terjadi peristiwa pertama tubrukan antara satelit Cerice yang sedang beroperasi dengan pecahan ledakan ruas atas roket Ariane.

#### Pengaruh Obyek Debris Berukuran Kecil

Hingga saat ini, obyek *debris* berukuran kecil (diameter lebih kecil dari beberapa milimeter) hanya menyebabkan kerusakan pada sistem-sistem wahana antariksa yang operasional, karena *debris* tersebut mengalami erosi karena permukaannya sensitif, belum pernah tercatat adanya gangguan yang mengakibatkan terganggunya pelaksanaan misi wahana antariksa. Kerusakan ini dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu kerusakan pada permukaan wahana atau subsistem dan pengaruhnya terhadap operasi wahana.

Contoh kerusakan yang terjadi pada permukaan wahana antariksa yang operasional adalah (1) kerusakan pada jendela pesawat ulang alik, (2) kerusakan antena tegangan tinggi pada teleskop Hubble, (3) pemutusan tali penambat SEDS-2 (*Small Expendable Deployer System* - 2), (4) kerusakan pada beberapa bagian permukaan pesawat ulang alik, (5) pada tahun 1996, CERISE wahana antariksa Perancis tertabrak oleh pecahan ruas atas roket Ariane yang meledak, (6) Pada bulan Juli 1999 satelit *SELENA* milik Perancis kehilangan beberapa bagiannya setelah bertabrakan dengan *space debris* berukuran sebesar kopor. Kerusakan pada butir (1), (2), (4), (5) dan (6) merupakan kerusakan yang disebabkan oleh *debris* yang sedang mengorbit, sedangkan butir (3) tidak jelas apakah kerusakan disebab-

kan oleh *debris* buatan manusia atau meteoroid berukuran mikro.

#### Pengaruh Space Debris Terhadap Operasi Antariksa Berawak

Untuk melindungi awak wahana antariksa dari *debris* selama penerbangan, telah ditetapkan prosedur operasional. Batasan-batasan operasional juga telah ditetapkan untuk kegiatan-kegiatan di luar wahana antariksa berawak (*EVAs - Extra Vehicular Activities*). Jika dimungkinkan *EVAs* dilakukan sedemikian rupa sehingga badan pesawat menjadi pelindung bagi para awak yang sedang melakukan kegiatan di luar pesawat, terhadap benturan *space debris* yang mengorbit.

#### Pengaruh lain Space Debris

Pengaruh lain yang ditimbulkan oleh *space debris* adalah berkaitan dengan kegiatan para astronom. Para astronom mengamati adanya suatu peningkatan jumlah bercak-bercak pada citra hasil pengamatan astronomi, yang disebabkan oleh *space debris*, sehingga menurunkan kualitas hasil pemotretan.

#### PENUTUP

Dari berbagai konsekuensi yang diakibatkan oleh adanya *space debris*, maka *debris* merupakan ancaman yang sangat besar, sehingga negara-negara maupun pihak-pihak yang terkait harus memperhatikan debris sebagai masalah lingkungan bagi antariksa. Selain itu segera mencari pemecahannya, misalnya mengurangi laju peningkatan jumlah dan jenis *space debris*, dan tindakan perlindungan wahana antariksa terhadap gangguan *space debris*, agar kegiatan pemanfaatan antariksa dapat tetap berjalan dan berkembang dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

United Nations, Committee On The Peaceful Uses of Outer Space, A/AC.105/C.1/L.224, "Revision To The Technical Report on Space Debris of The Scientific and Technical Subcommittee", 19 February 1998.

United Nations, Committee On The Peaceful Uses of Outer Space, A/AC.105/697, " Report of The Scientific and Technical Subcommittee on The Work of Its Thirty-Fifth Session", 25 Februari 1998.

[http://spaceboy.nasda.go.jp/note/Yuiin/E/vui\\_1\\_10\\_debli\\_e.html](http://spaceboy.nasda.go.jp/note/Yuiin/E/vui_1_10_debli_e.html), "Space Debris", 10 Maret 1999.

<http://www.aero.org/cords/orbdebris.html>, "What is Orbital Debris", 10 Maret 1999.

<http://www.aero.org/cords/debrisks.html>, "What Are the Risks Posed by Orbital Debris", 10 Maret 1999.

Crowther, Richard, "Overview of Environmental Issues to Human Space Activities", Committee on The Peaceful Uses of Outer Space, Proceeding of the 16<sup>th</sup> COSPAR/IAF Symposium, 19 Februari 2001.