

POPULASI SAMPAH ANTARIKSA MENJELANG PUNCAK AKTIFITAS MATAHARI SIKLUS 24 [SPACE DEBRIS POPULATION TOWARD THE PEAK OF SOLAR CYCLE 24]

Abdul Rachman

Peneliti Pusat Sains Antariksa, Lapan

e-mail: abdul@bdg.lapan.go.id

Diterima 9 Agustus 2012; Ditetapkan 26 November 2012

ABSTRACT

Solar activity affects space debris population by affecting the density of upper atmosphere. The increased solar activity, which increases atmospheric density, will speed up the reentry process of objects in lower orbits. However, on the other hand, this effect leads to the decay of objects in higher orbits occupying the region of the previously reentered objects. By analyzing the number of orbiting and reentered space objects from December 2008 until October 2012 in the USSPACECOM catalog, we found that the population of space debris increased, in general, despite the consistently increasing number of reentered objects. In average, 2.7 of debris being added every day while only 1.1 object reentered in the same time. The large amount of debris from Fengyun 1C, Cosmos 2251 and Iridium 33, which were still in orbit, was the major factor in the increasing population. Furthermore, by using kinetic gas theory and Poisson distribution, we found a continuous increase in debris population at the altitude between 600 and 700 km which is the altitude region of LAPAN-TUBSAT satellite. The result of the calculation shows that the collision probability of LAPAN-TUBSAT in October 2012 was 33.8% higher than its collision probability in December 2008.

Keywords: *Solar activity, Space debris population, Atmospheric density, LAPAN-TUBSAT, Collision probability*

ABSTRAK

Aktifitas Matahari mempengaruhi populasi sampah antariksa melalui dampaknya pada kerapatan atmosfer atas. Peningkatan aktifitas Matahari yang meningkatkan kerapatan atmosfer akan mengakibatkan jatuhnya benda-benda di orbit yang cukup rendah. Namun, dampak yang sama menyebabkan turunnya benda-benda di orbit yang lebih tinggi menggantikan posisi benda-benda yang telah jatuh. Dengan menganalisis data orbit benda-benda buatan dalam katalog USSPACECOM sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012, ditemukan bahwa populasi sampah antariksa secara umum meningkat meski jumlah yang jatuh terus menerus bertambah. Rata-rata 2,7 sampah antariksa bertambah setiap hari sedang yang jatuh rata-rata hanya 1,1 setiap hari. Besarnya persentase sampah Fengyun 1C, Cosmos 2251, dan Iridium 33 yang masih mengorbit menjadi faktor utama peningkatan populasi tersebut. Selanjutnya, dengan memakai pendekatan teori gas kinetik dan distribusi Poisson, ditemukan peningkatan jumlah sampah secara kontinu untuk ketinggian antara 600 dan 700 km yakni di sekitar ketinggian satelit LAPAN-TUBSAT. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa probabilitas tabrakan LAPAN-TUBSAT pada Oktober 2012 adalah 33,8% lebih tinggi dibanding probabilitasnya pada Desember 2008.

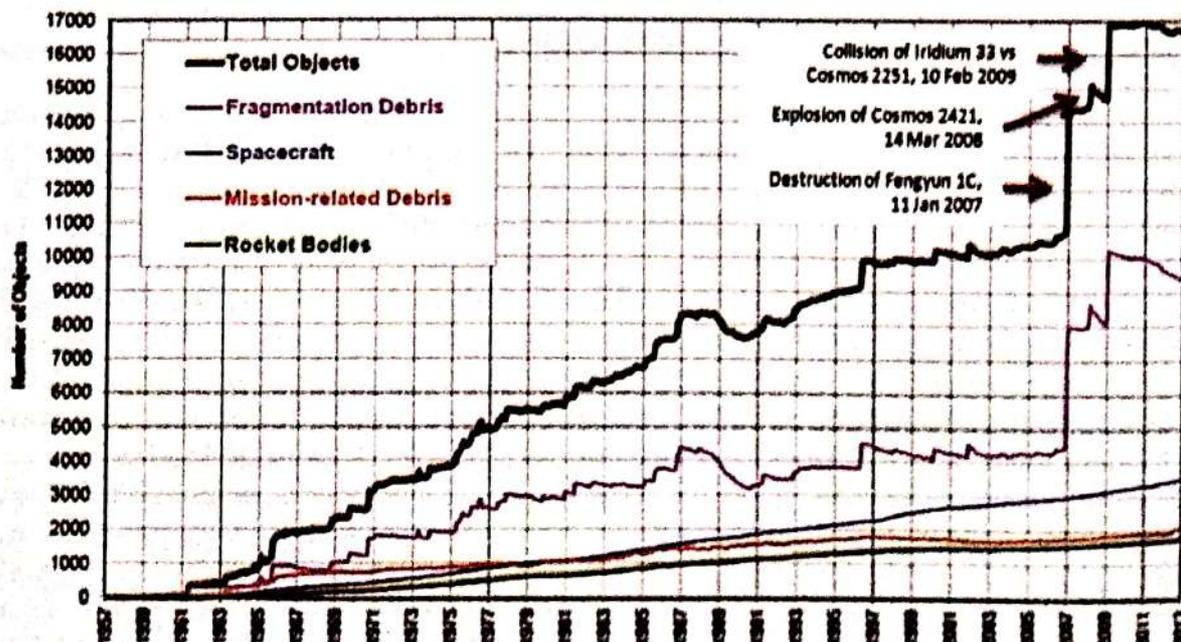
Kata kunci: *Aktifitas Matahari, Populasi sampah antariksa, Kerapatan atmosfer, LAPAN-TUBSAT, Probabilitas tabrakan*

1 PENDAHULUAN

Sampah antariksa (benda antariksa buatan yang tidak memiliki fungsi) terus menjadi perhatian dunia internasional karena resiko yang mungkin ditimbulkannya. Berdasarkan data yang diperoleh dari *United States Space Command (USSPACECOM)*, populasi sampah berukuran di atas 10 cm (dan ter katalog) saat ini telah mencapai lebih dari 16 ribu. Sampah berukuran seperti ini dapat menimbulkan kerusakan fatal pada satelit jika terjadi tabrakan seperti yang terjadi pada *Cerise* milik Perancis pada Juli 1996 (Johnson, 1996) dan *Iridium 33* milik Amerika Serikat pada Februari 2009 (NASA, 2009). Sampah berukuran besar dan berada di orbit rendah dapat jatuh ke Bumi sehingga menimbulkan kerugian seperti yang terjadi ketika *Cosmos 954* milik Uni Soviet yang mengandung nuklir jatuh di perairan Kanada pada Januari 1978 (NRC, 2011). Selain resiko bertabrakan dengan satelit aktif dan jatuh ke Bumi, sampah antariksa juga dapat merusak citra hasil pengamatan astronomi dengan meninggalkan jejak (*trailings*) pada citra tersebut seperti yang telah terekam pada citra *Palomar All Sky Survey* sebelum 1997 (McNally, 1997). Potensi kerusakan akibat sampah antariksa diperkirakan akan semakin mengkhawatirkan di masa depan (Liou dan Johnson, 2007).

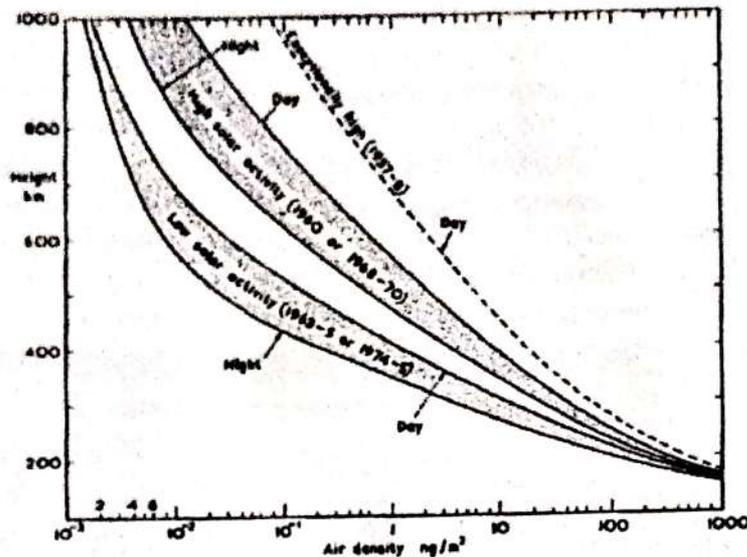
Banyak faktor yang mempengaruhi populasi sampah antariksa. Selain banyaknya peluncuran dan benda jatuh, banyaknya satelit atau roket yang pecah sehingga menghasilkan ratusan bahkan ribuan sampah baru (baik karena meledak atau karena tabrakan) juga menjadi salah satu faktor. Belakangan ini kontribusi faktor serpihan hasil ledakan atau tabrakan semakin menonjol seperti ditunjukkan oleh grafik *fragmentation debris* pada Gambar 1-1. Peningkatan jumlah sampah yang sangat signifikan sejak 2007 berakibat pada semakin besarnya potensi tabrakan antara sesama benda buatan termasuk satelit Indonesia. Sejak awal 1997, Indonesia telah memiliki satu satelit di orbit rendah yakni *LAPAN-TUBSAT* di ketinggian 630 km. Satelit yang berada di orbit *sun-synchronous* ini memiliki potensi tabrakan yang relatif tinggi dengan sampah antariksa karena berada di wilayah orbit yang terkenal paling padat.

Monthly Number of Objects in Earth Orbit by Object Type



Gambar 1-1: Grafik pertumbuhan populasi benda antariksa buatan. Sebagian besar di antaranya adalah sampah antariksa. Diperlihatkan tiga sumber serpihan terbesar dalam 10 tahun terakhir. Gambar ini adalah modifikasi dari gambar yang diperoleh dari *NASA Orbital Debris Program Office (NASA, 2012a)*

Matahari sedang menuju puncak aktifitasnya di siklus ke-24 menjelang tahun 2013. Peningkatan aktifitas Matahari ini akan berdampak pada peningkatan kerapatan atmosfer atas. Kerapatan atmosfer saat Matahari maksimum bisa mencapai 60 kali kerapatan saat Matahari minimum untuk ketinggian 600 km (Gambar 1-2). Hubungan ini telah diketahui sejak lama dari ribuan pengukuran besarnya hambatan atmosfer yang dialami satelit-satelit di orbit rendah (King-Hele, 1987). Khusus untuk orbit LAPAN-TUBSAT, Dani dan Rachman (2013) dengan menganalisis data orbit satelit tersebut sejak 2008 hingga 2011 menemukan bahwa besarnya kenaikan kerapatan atmosfer saat aktifitas Matahari moderat dan tinggi masing-masing sebesar 4 kali dan 11 kali dari nilai kerapatan atmosfer rata-rata saat Matahari tenang.



Gambar 1-2: Variasi kerapatan atmosfer untuk ketinggian 150 hingga 1000 km berdasarkan model CIRA 1972 (King-Hele, 1987)

Akibat peningkatan kerapatan atmosfer, benda-benda buatan di orbit rendah (kurang dari 2000 km) akan mengalami penurunan ketinggian. Secara keseluruhan akan terjadi suatu aliran massa di mana benda-benda yang turun dari suatu ketinggian tergantikan oleh benda-benda baru yang berasal dari ketinggian di atasnya. Penting dan menarik untuk mengetahui bagaimana kondisi populasi sampah antariksa di sekitar ketinggian LAPAN-TUBSAT dikarenakan adanya aliran massa ini di samping mengetahui kondisi populasi sampah antariksa secara umum. Oleh karena itu, studi ini bermaksud menganalisis perkembangan jumlah populasi sampah antariksa dalam 4 tahun terakhir (sejak masa minimum aktifitas Matahari, awal 2009, hingga menjelang maksimum, akhir 2012) dan implikasinya pada potensi tabrakan antara LAPAN-TUBSAT dengan sampah antariksa.

2 DATA DAN METODE

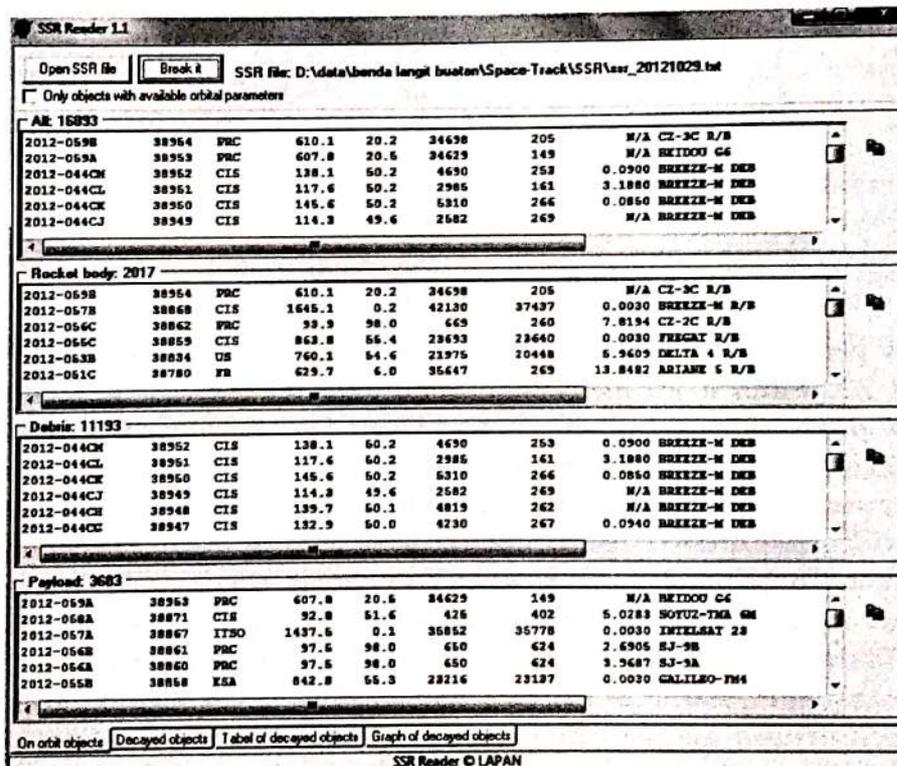
Untuk analisis populasi sampah antariksa digunakan data benda antariksa buatan yang terdapat dalam file *Satellite Situation Report* (SSR) yang dikeluarkan oleh USSPACECOM dan bisa diperoleh dari *Space-Track* (www.space-track.org). Benda-benda dalam file SSR terbatas hanya yang berukuran di atas 10 cm.

Dalam file SSR, sebuah benda dinyatakan dalam dua baris data seperti terlihat pada Tabel 2-1. Baris pertama berisi *International Designator*, nomor katalog, negara/instansi pemilik, periode, inklinasi, titik terjauh di orbit (*apogee*), titik terdekat di orbit (*perigee*), dan perkiraan ukuran benda yang dinyatakan dalam *Radar Cross Section* (RCS) jika tersedia. Baris kedua berisi nama benda, tanggal peluncuran, dan tanggal jatuh (*decay*) jika tersedia. Perangkat lunak yang digunakan adalah SSR

Reader 1.1 yang dikembangkan di Pusat Sains Antariksa LAPAN sejak 2009 (Rachman, 2010). Antarmuka SSR Reader 1.1 diperlihatkan pada Gambar 2-1.

Tabel 2-1: CONTOH BEBERAPA BARIS DATA DALAM FILE SSR TANGGAL 29 OKTOBER 2012. BENDA PERTAMA HINGGA KEEMPAT TERSEDIA ELEMEN ORBITNYA SEDANG EMPAT BENDA BERIKUTNYA TIDAK TERSEDIA ELEMEN ORBITNYA

Benda	Baris data di SSR						
1	1958-002B VANGUARD 1	5	US	132.8	34.2	3836	654 0.1178
	Launched (03/17/1958)						
2	1958-001A EXPLORER 1	4	US	88.5	33.1	215	183 N/A
	Launched (02/01/1958) Decayed [03/31/1970]						
3	1995-074B DELTA 2 R/B	23758	US	87.5	24.9	173	132 10.4990
	Launched (12/30/1995) Decayed [01/23/1996]						
4	1997-051CJ IRIDIUM 33 DEB	34075	US	100.2	86.5	811	725 0.0360
	Launched (09/14/1997)						
5	2011-002A USA 224	37348	US	NO ELEMENTS AVAILABLE			N/A
	Launched (01/20/2011)						
6	2011-070B ATLAS 5 R/B	37937	US	HELIOCENTRIC ORBIT (SUN)			N/A
	Launched (11/26/2011)						
7	2009-031C ATLAS 5 CENTAUR R/B	35317	US	LUNAR IMPACT			N/A
	Launched (06/18/2009)						
8	2001-006B ISS (DESTINY)	26700	ISS	DOCKED TO ISS			15.0000
	Launched (02/07/2001)						

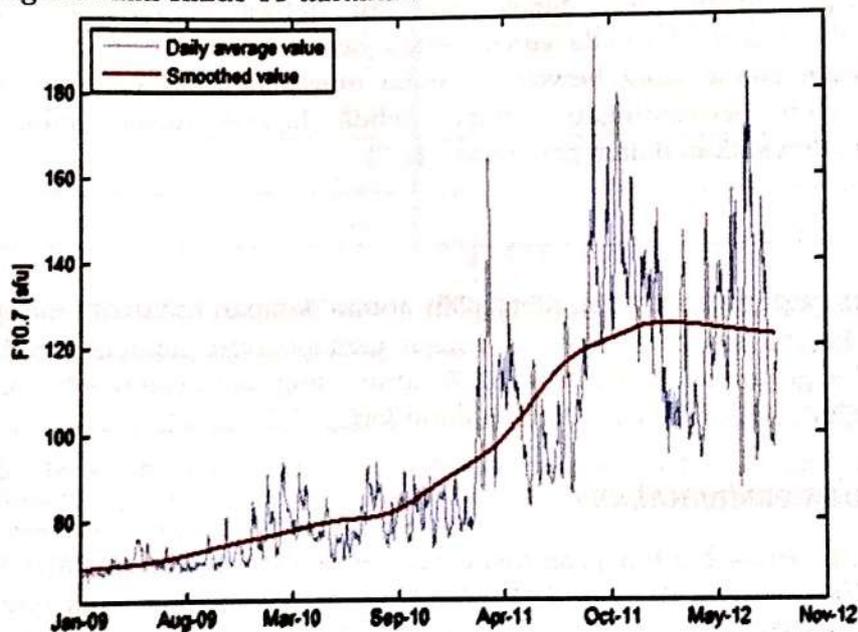


Gambar 2-1: Tampilan perangkat lunak SSR Reader setelah mengolah file SSR tanggal 29 Oktober 2012. Halaman "On-orbit objects" adalah halaman yang pertama ditampilkan. Halaman "Decayed objects", "Tabel of decayed objects", dan "Graph of decayed objects" terdapat di belakangnya (tab terlihat di bagian bawah)

SSR Reader dapat mengolah file *Satellite Situation Report* (SSR) yang berisi identitas dan beberapa parameter orbit benda-benda yang ada dalam katalog USSPACECOM baik yang masih mengorbit maupun yang telah jatuh. Perangkat ini dapat mengelompokkan benda-benda dalam file SSR ke dalam jenisnya masing-masing (*payload*, *rocket body*, atau *debris*) dan menginformasikan jumlahnya masing-masing (sehingga bisa dibuat grafik perkembangannya berdasarkan tahun). Kata kunci "Decayed" pada baris kedua digunakan untuk memisahkan benda yang masih mengorbit dan benda yang sudah jatuh (lihat Tabel 2-1). SSR Reader juga dapat

menyeleksi benda-benda yang elemen orbitnya tersedia memakai kata kunci "ELEMENTS", "ORBIT", "SOLAR SYSTEM", "LUNAR", "SATELLITE", "DOCKED", dan "IMPACT" yang terdapat pada baris pertama. Kata kunci "R/B", "AKM", "PKM" digunakan pada nama benda untuk menyeleksi *rocket body* sedang "DEB", "COOLANT", "SHROUD", dan "WESTFORD NEEDLES" untuk menyeleksi debris. *Payload* mencakup satelit baik yang masih berfungsi maupun yang telah menjadi sampah. Debris mencakup semua sampah selain satelit yang tidak lagi berfungsi dan bekas roket (*rocket body*). Debris bisa berupa serpihan atau benda utuh (misalnya Ariane 5 Deb (Sylda) yang berupa dudukan satelit).

Untuk analisis dipilih kurun waktu sejak fase minimum siklus ke-23 yakni sekitar Januari 2009 hingga Oktober 2012. Pada periode ini, Matahari menunjukkan peningkatan aktifitasnya menuju puncak siklus yang diperkirakan terjadi pada 2013 (Gambar 2-2). Ada delapan file SSR yang digunakan yaitu yang tertanggal 15 Desember 2008, 23 Februari 2009, 13 September 2010, 6 Juni 2011, 27 Februari 2012, 25 Juni 2012, 24 September 2012, dan 29 Oktober 2012. Terbatasnya arsip file SSR yang bisa diakses penulis tidak memungkinkan dilakukannya analisis dengan data yang lebih lengkap dan jarak temporal yang sama. Meski demikian, penulis menganggap kedelapan file yang digunakan sudah cukup untuk mendapatkan kecenderungan perkembangan jumlah populasi sampah antariksa yang dikaitkan dengan aktifitas Matahari yang memiliki siklus 11 tahunan.



Gambar 2-2: Grafik rata-rata harian aktifitas Matahari yang dinyatakan dalam indeks F10.7 dan *smoothed value*-nya sejak Januari 2009 hingga Oktober 2012. Sumber data diperoleh dari OMNIweb-NASA (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>)

Setiap file SSR diolah dengan *SSR Reader* untuk mengetahui jumlah total dan jumlah masing-masing jenis benda (*rocket body*, debris, *payload*) serta informasi orbit setiap benda. Informasi orbit tiap benda kemudian digunakan untuk memperoleh jumlah benda antariksa yang sepanjang orbitnya berada di ketinggian 600 hingga 700 km (*perigee* > 600 km dan *apogee* < 700 km). Ketinggian ini didefinisikan sebagai ketinggian di sekitar LAPAN-TUBSAT. Sebagai pembandingan, dihitung pula jumlah benda di bawah ketinggian 600 km (*apogee* < 600 km) yang berarti mencakup juga benda yang akan segera jatuh ke Bumi. Untuk melakukan seleksi benda ini dilakukan *query* memakai Microsoft Access.

Analisis dilakukan dengan meninjau serpihan yang dihasilkan oleh pecahnya satelit Fengyun 1C milik Cina pada 11 Januari 2007 (NASA, 2007), pecahnya satelit

Cosmos 2421 milik Rusia pada 14 Maret 2008 (NASA, 2008a), pecahnya satelit Iridium 33 milik Amerika Serikat dan Cosmos 2251 milik Rusia akibat saling bertabrakan pada 10 Februari 2009 (NASA, 2009), dan beberapa kali pecahnya roket pengorbit Briz-M milik Rusia (NASA, 2012c). Kasus-kasus inilah yang dalam lima tahun terakhir menarik perhatian karena kontribusinya pada populasi sampah antariksa seperti telah ditunjukkan pada Gambar 1-1. Dalam studi ini serpihan-serpihan yang dihasilkan dari kasus-kasus tersebut dinamakan "serpihan pilihan". Analisis khusus dilakukan untuk benda-benda dalam katalog yang tersedia informasi *perigee* dan *apogee*-nya sehingga bisa digunakan untuk menyeleksi benda berdasarkan ketinggiannya.

Seberapa besar pengaruh peningkatan jumlah benda di sekitar ketinggian LAPAN-TUBSAT terhadap probabilitas tabrakan dihitung dengan memakai pendekatan teori gas kinetik dengan model distribusi Poisson (Klinkrad et al., 2006). Dengan model ini probabilitas terjadinya tabrakan pada benda yang bergerak dengan laju tetap v , selama waktu Δt , dengan penampang lintang tabrakan A_c , dalam ruang yang berkepadatan partikel seragam D , dinyatakan oleh persamaan (2-1). Aproksimasi pada persamaan ini bernilai kesalahan kurang dari 10% untuk rata-rata jumlah tabrakan $c \leq 0.3$.

$$P_{i21} \approx vDA_c\Delta t \quad (2-1)$$

Dari persamaan (2-1) dapat diketahui bahwa perbandingan probabilitas terjadinya tabrakan (P_2/P_1) pada suatu benda yang bergerak dengan kecepatan yang sama di dalam ruang yang bervolume sama dan dalam waktu yang sama hanya ditentukan oleh perbandingan jumlah benda (n_2/n_1) dalam volume tersebut sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (2-2).

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \frac{n_2}{n_1} \quad (2-2)$$

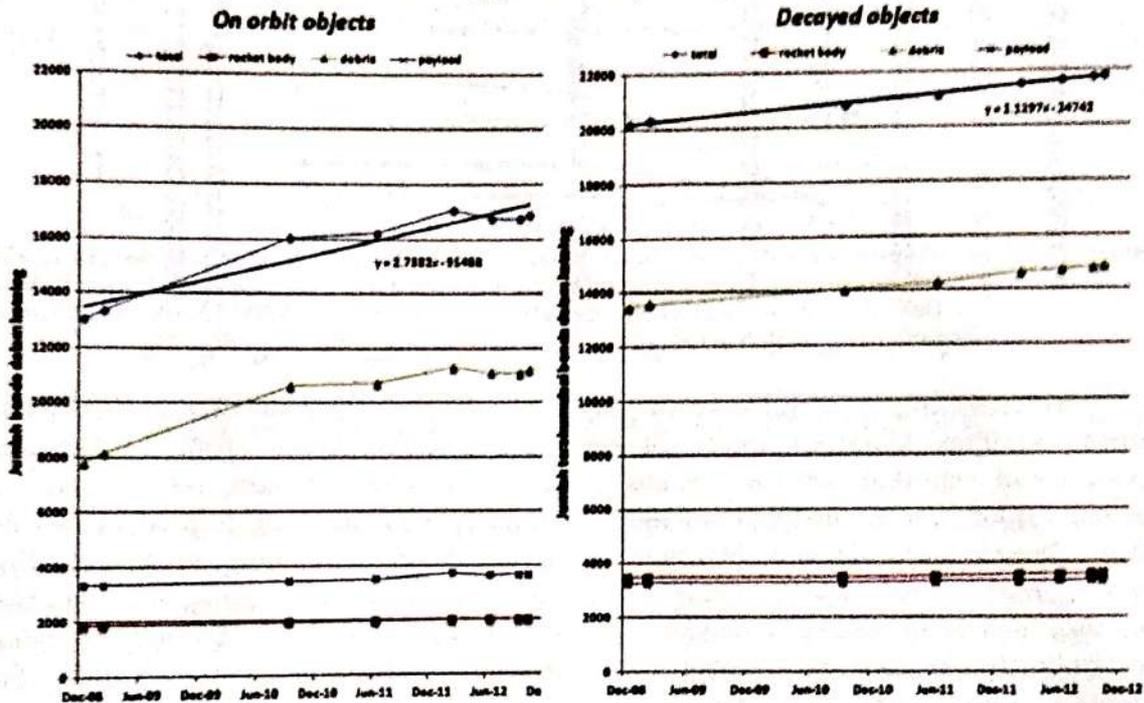
Dalam perhitungan, tidak dibedakan antara sampah antariksa maupun bukan. Alasannya, karena sampah antariksa sangat mendominasi populasi benda antariksa buatan dari segi jumlah. Minimal sejak 5 tahun yang lalu sekitar 94% dari populasi benda antariksa buatan adalah sampah antariksa.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

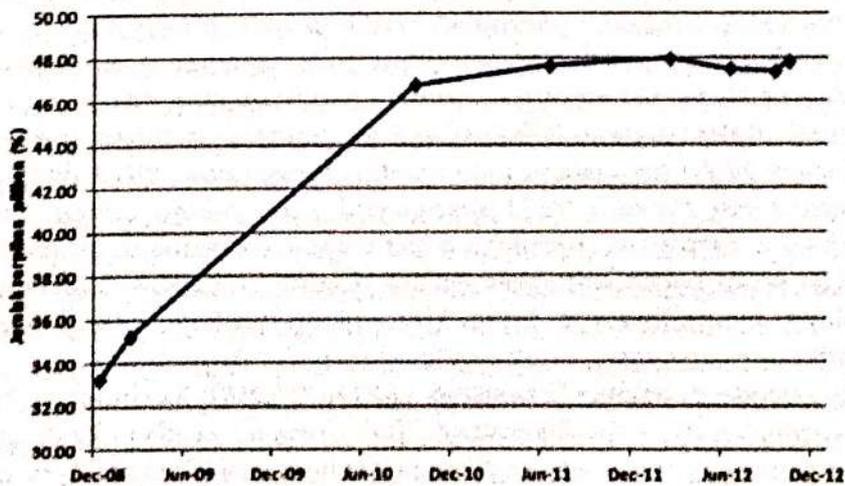
Jumlah benda buatan yang mengorbit bertambah sebanyak 3857 benda sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012 dengan laju peningkatan rata-rata 2,7 benda setiap hari seperti terlihat pada Gambar 3-1. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa laju peningkatan ini 2,5 kali lebih besar dibanding peningkatan rata-rata benda buatan yang jatuh pada selang waktu yang sama yakni 1,1 benda setiap hari. Jumlah benda jatuh yang dipengaruhi oleh peningkatan aktifitas Matahari pada saat yang sama, terutama sejak 2011 (Gambar 2-2), tidak mampu mengimbangi lonjakan jumlah debris. Debris adalah jenis benda yang paling berpengaruh pada peningkatan populasi benda yang mengorbit (87,9%) diikuti oleh *payload* (8,7%) lalu bekas roket (3,4%). Debris juga adalah kontributor terbesar pada populasi benda yang telah jatuh (86,1%) diikuti bekas roket (7,6%) lalu *payload* (6,3%). Sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012, dinamika pertumbuhan populasi benda buatan mengikuti dinamika serpihan yang berarti meneruskan pola yang berlangsung sejak lama (lihat kembali Gambar 1-1).

Jika ditinjau khusus debris, serpihan pilihan (kasus Fengyun 1C, Cosmos 2421 vs Iridium 33, dan Briz-M) menempati porsi yang cukup besar. Jumlah seluruh serpihan pilihan ini adalah 33% pada Desember 2008 lalu meningkat dan cenderung

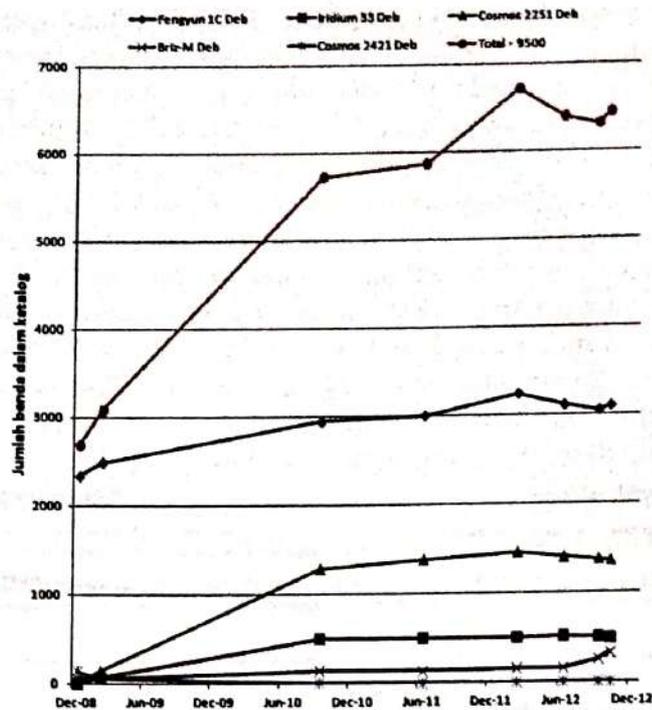
stabil di atas 47% sejak Juni 2011 (Gambar 3-2). Serpihan yang menempati porsi terbesar adalah Fengyun 1C, diikuti Cosmos 2251, lalu Iridium 33, lalu Briz-M. Serpihan Cosmos 2421 yang pada 15 Desember 2008 menempati posisi kedua setelah Fengyun 1C telah jatuh semuanya pada 27 Februari 2012 (Gambar 3-3). Jika ditinjau dari seluruh benda buatan yang mengorbit, jumlah seluruh serpihan Fengyun 1C, Cosmos 2251, Iridium 33, Cosmos 2421, dan Briz-M adalah 21% pada Desember 2008 lalu meningkat dan cenderung stabil di atas 33% sejak Juni 2011. Khusus Briz-M, serpihannya meningkat setelah ledakan yang terjadi pada 21 Juni 2010 yang menghasilkan 85 serpihan yang terkatolog pada pertengahan September 2010 (NASA, 2010). Serpihan Briz-M meningkat lagi setelah roket jenis ini kembali meledak pada 16 Oktober 2012 (Space Safety Magazine, 2012) yang menghasilkan 80 serpihan yang terkatolog pada akhir Oktober 2012. Ledakan kali ini adalah kasus ketiga yang menimpa Briz-M yang diketahui hingga saat ini (NASA, 2012c).



Gambar 3-1: Grafik pertumbuhan populasi benda buatan yang berada di orbit (kiri) dan yang jatuh (kanan) sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012. Ditampilkan pula trendline dan persamaannya untuk jumlah total benda



Gambar 3-2: Persentase jumlah serpihan Fengyun 1C, Cosmos 2421, Iridium 33, Cosmos 2251, dan Briz-M terhadap seluruh jumlah debris sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012



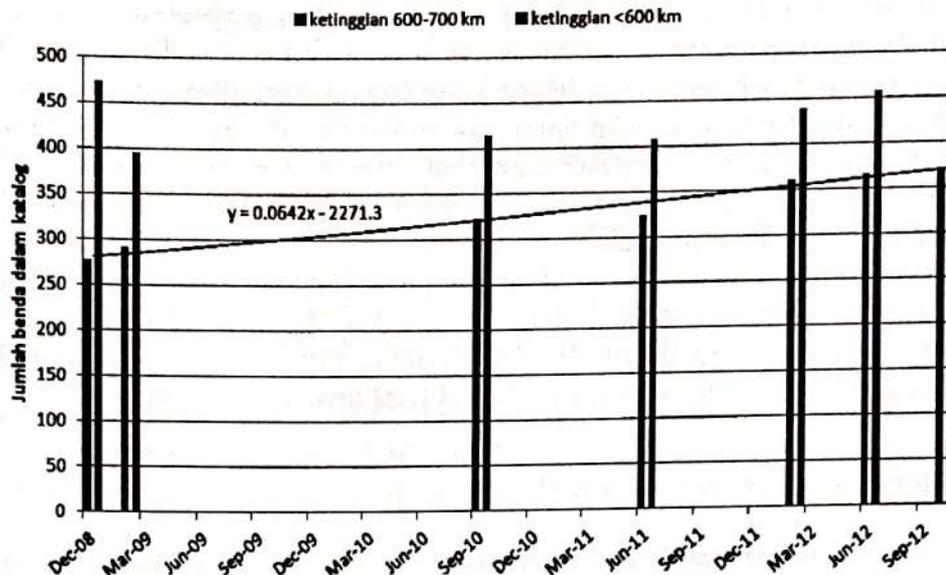
Gambar 3-3: Pertumbuhan seluruh benda dalam katalog (Total - 9500) dibandingkan dengan jumlah serpihan Fengyun 1C Deb, Iridium 33 Deb, Cosmos 2251 Deb, Briz-M Deb, dan Cosmos 2421 Deb. Jumlah seluruh benda dinyatakan dalam Total - 9500 untuk mendekati nilainya dengan jumlah serpihan

Kecenderungan meningkatnya populasi benda antariksa buatan menjelang puncak aktifitas Matahari siklus 24 seperti ditemukan dalam studi ini terutama dikarenakan tabrakan antara Cosmos 2251 dan Iridium 33 yang terjadi pada 10 Februari 2009. Ini mengakibatkan naiknya jumlah populasi yang terlihat pada Juni 2010. Peningkatan aktifitas Matahari yang signifikan sepanjang 2011 dan 2012 mampu mengurangi jumlah benda antariksa sehingga gradien peningkatan jumlah populasi menurun sehingga cenderung stabil sejak akhir 2011. Namun, peristiwa pecahnya Briz-M pada 16 Oktober 2012 mengakibatkan jumlah populasi meningkat kembali. Tanpa pecahnya Briz-M tersebut, diperkirakan bahwa jumlah populasi sampah antariksa akan terus menurun sepanjang tahun 2012 (Johnson, 2012b).

Peningkatan jumlah serpihan akibat pecahnya suatu benda yang terkatalog oleh USSPACECOM dimungkinkan terus berlangsung hingga beberapa tahun setelah kejadian. Hal ini terlihat jelas pada serpihan Fengyun 1C (yang pecah pada 11 Januari 2007) di mana masih ditemukan serpihan-serpihan baru hingga saat ini (ditunjukkan oleh tiap peningkatan di grafik pertumbuhan pada Gambar 3-3). Akibatnya kendati serpihan Fengyun 1C terus berjatuhan, jumlah serpihan yang mengorbit secara umum terus bertambah dalam katalog USSPACECOM. Adapun serpihan Iridium 33 (pecah pada 10 Februari 2009) mengalami peningkatan hingga Juni 2012 untuk selanjutnya menurun, sedangkan Cosmos 2251 mengalami peningkatan hingga Februari 2012 untuk selanjutnya menurun. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengkatalog suatu serpihan (atau benda antariksa secara umum) seringkali dikarenakan sulitnya mengidentifikasi benda asalnya yang bisa membutuhkan waktu bertahun-tahun (NASA, 2008b).

Jumlah benda di sekitar ketinggian LAPAN-TUBSAT (600 hingga 700 km) terus mengalami peningkatan sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012 sedang benda berketinggian kurang dari 600 km berfluktuasi jumlahnya (Gambar 3-4). Laju rata-rata peningkatan jumlah benda di sekitar ketinggian LAPAN-TUBSAT adalah 0,064 benda per hari. Pada 15 Desember 2008 (setelah pecahnya Fengyun 1C dan Cosmos 2421)

belum ditemukan satu pun serpihan pilihan pada rentang ketinggian ini namun pada 29 Oktober 2012 ditemukan 2 serpihan Fengyun 1C dan 34 serpihan hasil tabrakan Iridium 33 dan Cosmos 2251 (pada 10 Februari 2009). Sebanyak 10 serpihan Cosmos 2251 dan 24 serpihan Iridium 33 ditemukan pada katalog dengan tanggal tersebut. Dengan jumlah benda pada Desember 2008 sebanyak 278 sedang pada Oktober 2012 sebanyak 372, memakai persamaan (2-2) diperoleh peningkatan probabilitas terjadinya tabrakan sebesar 33,8%.



Gambar 3-4: Perbandingan jumlah benda buatan dengan ketinggian dalam rentang 600 – 700 km dengan benda di bawah ketinggian 600 km. Ditampilkan pula trendline dan persamaannya untuk ketinggian 600 – 700 km

Selain di ketinggian sekitar LAPAN-TUBSAT, peningkatan kerapatan benda-benda di sekitarnya juga diduga terjadi di ketinggian *International Space Station* (ISS). Stasiun luar angkasa ini, yang mengorbit di ketinggian sekitar 390 km, dalam waktu setahun (April 2011 hingga April 2012) ISS terpaksa melakukan 4 kali manuver (bahkan hampir 6 kali) untuk menghindari terjadinya tabrakan padahal sebelumnya rata-rata hanya sekali setahun. Kenaikan aktifitas Matahari diduga menjadi pemicu peningkatan jumlah manuver tersebut (NASA, 2012b).

Kondisi yang dialami ISS dan LAPAN-TUBSAT nampaknya mengindikasikan bahwa peningkatan aktifitas Matahari sejak awal 2009 hingga akhir 2012 secara signifikan meningkatkan probabilitas tabrakan di antara ketinggian 350 hingga 700 km. Rentang ketinggian ini adalah rentang ketinggian yang penting karena dari 1046 satelit aktif yang mengorbit di akhir 2012 (*Union of Concern Scientists*, 2012), hanya 11 buah satelit yang berada di ketinggian di bawah 350 km, namun ada sebanyak 218 satelit yang memakai ketinggian (berarti tidak di sepanjang periodenya) antara 350 dan 700 km. Terdapat sebanyak 112 satelit aktif yang memakai ketinggian antara 600 dan 700 km di akhir 2012. Peningkatan kerapatan benda di sekitar orbit LAPAN-TUBSAT penting untuk diperhatikan apalagi mengingat hasil perhitungan memakai perangkat lunak MASTER-2005 dari ESA menunjukkan bahwa fluks terbesar sampah antariksa yang menumbuk satelit memiliki laju sangat besar 15 km/s (Rachman dan Ahmad, 2009).

Di samping dikarenakan peningkatan probabilitas tabrakan, hal lain yang perlu diperhatikan adalah berkurangnya akurasi prediksi orbit seluruh benda secara umum akibat peningkatan aktifitas Matahari. Ini dikarenakan perubahan hambatan atmosfer yang dialami benda akan mengakibatkan perubahan orbitnya. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan deteksi sensor jika benda tersebut tiba pada *coverage volume* di luar waktu yang diperkirakan (Johnson, 2012a).

Kecenderungan tetap meningkatnya populasi sampah antariksa seperti ditemukan dalam studi ini juga dikarenakan relatif rendahnya aktifitas Matahari di puncak siklusnya kali ini. Hal ini sudah diperkirakan banyak peneliti termasuk sejak beberapa tahun yang lalu oleh Schatten (2005). Kondisi ini diperkuat dengan landainya akhir siklus 23 yang mengakibatkan lambatnya pembersihan sampah antariksa di orbit rendah (Djamaluddin, 2011).

Proses analisis pada studi ini terutama terkendala oleh kelengkapan data yang digunakan. Penulis tidak memiliki koleksi file SSR yang lengkap terutama pada tahun 2009 dan 2010 seperti terlihat jelas misalnya pada Gambar 3-1. Di samping itu, file SSR hanya menampung data untuk benda yang dapat teramati dengan baik dan dapat dibuat katalognya. Benda seperti ini umumnya berukuran di atas 10 cm. USSPACECOM juga relatif sulit mengamati dan menjejak benda-benda yang orbitnya sangat lonjong seperti Briz-M yang *perigee*-nya berorde ratusan kilometer namun *apogee*-nya berorde ribuan bahkan puluhan ribu kilometer (NASA, 2011). File SSR juga tidak memuat seluruh elemen orbit benda yang ditampungnya. Benda-benda yang belum bisa dipastikan orbitnya dan satelit-satelit mata-mata Amerika Serikat tidak akan ditemukan elemen orbitnya dalam file SSR. Namun, rata-rata persentase benda yang tidak tersedia elemen orbitnya hanya 5,6% dari total benda dalam katalog.

4 KESIMPULAN

Populasi sampah antariksa diantaranya dipengaruhi oleh banyaknya serpihan baru yang terbentuk dan aktifitas Matahari. Studi ini telah menganalisis perkembangan jumlah benda antariksa yang mengorbit dan yang jatuh sejak Desember 2008 hingga Oktober 2012. Hasilnya menunjukkan bahwa populasi sampah antariksa secara umum meningkat meski jumlah yang jatuh terus menerus bertambah. Rata-rata 2,7 sampah antariksa bertambah setiap hari sedang yang jatuh rata-rata hanya 1,1 setiap hari. Besarnya persentase sampah Fengyun 1C, Cosmos 2251, dan Iridium 33 yang masih mengorbit menjadi faktor utama peningkatan populasi tersebut. Ditemukan juga bahwa peningkatan jumlah serpihan akibat pecahnya suatu benda yang terkatalog oleh USSPACECOM dimungkinkan terus berlangsung hingga beberapa tahun setelah kejadian.

Di ketinggian antara 600 dan 700 km yakni di sekitar ketinggian LAPAN-TUBSAT, ditemukan peningkatan jumlah sampah secara kontinu dalam kurun waktu yang ditinjau. Hasil studi ini menunjukkan bahwa probabilitas LAPAN-TUBSAT mengalami tabrakan pada Oktober 2012 adalah 33,8% lebih tinggi dibanding probabilitasnya pada Desember 2008. Kecenderungan ini berbeda untuk populasi di bawah 600 km yang ditemukan jumlahnya senantiasa berfluktuasi.

Menjelang puncak siklus Matahari ke-24, peningkatan resiko tabrakan bukan hanya dikarenakan bertambahnya jumlah benda buatan (yang didominasi oleh sampah) di sekitar orbit LAPAN-TUBSAT namun juga dikarenakan berkurangnya akurasi prediksi orbit terkait dengan peningkatan aktifitas Matahari. Landainya akhir siklus 23 Matahari dan cenderung rendahnya puncak siklus 24 turut berperan dalam menambah resiko gangguan sampah antariksa di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada USSPACECOM atas tersedianya informasi identitas dan data orbit benda-benda buatan di Space-Track. Terima kasih juga atas berbagai masukan dari para *reviewer* makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Dani, T. dan A. Rachman, 2013. *Pengaruh Radiasi EUV Matahari dan Aktifitas Geomagnet terhadap Variasi Kerapatan Atmosfer dari Elemen Orbit LAPAN-TUBSAT*, diterima untuk diterbitkan di Jurnal Sains Dirgantara Edisi Desember.
- Djamaluddin, T., 2011. *Analisis Dampak Anomali Peralihan Siklus 23 dan Siklus 24 Aktifitas Matahari pada Lingkungan Bumi, Matahari dan Antariksa*, Seri ke-5.
- Johnson, N., 1996. *First Natural Collision of Catalogued Earth Satellites*, ODQN, NASA JSC, Vol. 1, Issue 2, p. 1.
- Johnson, N. L., 2012. *The Effects of Solar Maximum on the Earth's Satellite Population and Space Situational Awareness*, International Astronautical Congress ke-63 (IAC 2012), Naples, Italia.
- Johnson, N., 2012. *Increasing Solar Activity Aids Orbital Debris Environment*, ODQN, NASA JSC, Vol. 16, Issue 1.
- King-Hele, Desmond, 1987. *Satellite Orbit in An Atmosphere: Theory and Applications*, Blackie, Glasgow and London.
- Klinkrad, H., P. Wegener, C. Wiedemann, J. Bendisch, dan H. Krag, 2006. *Modeling of the Current Space Debris Environment*, Space Debris - Models and Risk Analysis, Praxis Publishing, Chichester, UK.
- Liou, J.-C. dan N. L. Johnson, 2007. *Instability of the Present LEO Satellite Populations*. Adv. in Space Res. Vol. 41, 1046-1053.
- McNally, D., 1997. *Adverse Effects of Space Debris on Astronomy*, Adv. Space Res. Vol. 19, No. 2, 399-402.
- NASA, 2007. *Chinese Anti-satellite Test Creates Most Severe Orbital Debris Cloud in History*, ODQN, NASA JSC, Vol. 11, Issue 2, hlm 2.
- NASA, 2008. *Satellite Breakups During First Quarter of 2008*, ODQN, NASA JSC, Vol. 12, Issue 2, hlm 1.
- NASA, 2008. *Handbook for Limiting Orbital Debris*, NASA-Handbook 8719.14. NASA.
- NASA, 2009. *Satellite Collision Leaves Significant Debris Clouds*, ODQN, NASA JSC, Vol. 13, Issue 2.
- NASA, 2010. *Unusual Satellite Fragmentation*, ODQN, NASA JSC, Vol. 14, Issue 4.
- NASA, 2011. *New Satellite Fragmentations Add to Debris Population*, ODQN, NASA JSC, Vol. 15, Issue 1.
- NASA, 2012. *Monthly Number of Objects in Earth Orbit by Object Type*, ODQN, NASA JSC, Vol. 16, Issue 1.
- NASA, 2012. *Increase in ISS Debris Avoidance Maneuvers*, ODQN, NASA JSC, Vol. 16, Issue 2.
- NASA, 2012. *New Russian Launch Failure Raises Breakup Concern*, ODQN, NASA JSC, Vol. 16, Issue 4.
- NRC, 2011. *Limiting Future Collision Risk to Spacecraft: an Assessment of NASA's Meteoroid and Orbital Debris Programs*, The National Academic Press, Washington, D.C.
- Rachman, A., 2010. *Upgrading Sistem Diseminasi Informasi Benda Jatuh Antariksa dari Temporer menjadi Mingguan*, laporan kegiatan bulan Juni 2010, Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN.
- Rachman, A. dan N. Ahmad, 2009. *Analisis Potensi Tumbukan Satelit LAPAN-TUBSAT*, Prosiding Siptekgan XIII-2009, 02-14: 466-475.
- Schatten, K., 2005. *Fair Space Weather for Solar Cycle 24*, Geophysical Research Letter, Vol. 32, L21106.
- Space Safety Magazine, 2012. *Update: Breeze-M explodes in orbit creating debris cloud*, www.spacesafetymagazine.com, diunduh pada Nop.
- Union of Concern Scientists, 2012. *UCS Satellite Database*, <http://www.ucsusa.org>, diunduh pada Desember.