

PEMANTAUAN BENDA JATUH ANTARIKSA DAN ANALISISNYA

Abdul Rachman dan T. Djameluddin

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

Email: abdul@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

A procedure to monitor decaying space object by using data sources from internet and satellite orbit softwares has been developed. Techniques used in the procedure have been applied since the beginning of 2009 and now we can conclude that the procedure is effective with assumption that there are no troubles with the access to the data sources. One thing to remember when using this procedure is it's prediction for reentry time and location is not free from accuracy problem. Results from running the procedure shows that although based on special perturbation technique which is better than simplified general perturbation (SGP), reentry time resulted from the prediction can not be validated if the prediction is made prior to 100 hours before reentry time.

Keywords: *Monitoring procedure, Reentry space object, Special perturbation, Simplified general perturbation (SGP)*

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah prosedur pemantauan benda jatuh antariksa menggunakan sumber-sumber data dari internet dan perangkat-perangkat lunak orbit satelit. Teknik-teknik dalam prosedur ini telah digunakan sejak awal 2009 dan saat ini dapat disimpulkan bahwa prosedur tersebut efektif digunakan dengan asumsi akses ke sumber data tidak terganggu. Satu hal yang perlu diingat ketika memakai prosedur ini adalah prediksi waktu dan lokasi jatuh benda (*reentry time and location*) yang dipakainya tidak terbebas dari masalah akurasi. Hasil pemakaian prosedur menunjukkan bahwa sekalipun prediksi waktu jatuh yang dipakai menggunakan teknik *special perturbation* yang lebih akurat daripada SGP (*Simplified General Perturbation*), prediksi tersebut bisa memberikan hasil yang tidak valid jika dilakukan lebih awal dari 100 jam sebelum waktu jatuh.

Kata kunci: *Prosedur pemantauan, Benda jatuh antariksa, Special perturbation, Simplified general perturbation (SGP)*

1 PENDAHULUAN

Tidak semua benda antariksa yang jatuh ke bumi habis terbakar di atmosfer. Bukti tentang ini dapat dilihat di situs www.aero.org yang menampilkan 60 di antara benda langit tersebut yang sudah diidentifikasi. Data yang ditampilkan tersebut belum termasuk tiga benda yang jatuh di Indonesia dan telah diidentifikasi oleh LAPAN (Djamaluddin, 2004). Dua di antaranya diperlihatkan pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1: Benda antariksa buatan yang jatuh di Gorontalo (kiri) dan Lampung (kanan)

Benda buatan yang jatuh ke bumi mengandung potensi kerusakan. Potensi kerusakan ini bukan hanya timbul akibat tubrukannya dengan permukaan bumi tapi mungkin juga akibat dari zat beracun yang dikandungnya seperti pada kasus satelit Cosmos 954. Satelit milik Uni Soviet dengan berat 4.5 ton dan mengandung zat radioaktif ini jatuh di perairan Kanada pada tanggal 24 Januari 1978.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Space-Track (www.space-track.org), hingga saat ini tercatat lebih dari 15 ribu benda antariksa buatan berukuran minimal 10 cm yang mengitari bumi. Sekitar 70% dari total benda antariksa buatan ini berketinggian di bawah 2000 km dimana kerapatan atmosfer cukup besar. Atmosfer yang rapat ini akan senantiasa menghambat gerak benda sehingga mengakibatkan berkurangnya ketinggian benda hingga akhirnya jatuh ke bumi. Di antara lebih dari 20 ribu benda antariksa buatan yang jatuh ke bumi hingga saat ini, 33% di antaranya berukuran cukup besar untuk sampai ke permukaan bumi.

Terkait dengan fungsi Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa (Pusfatsainsa) LAPAN dalam memberikan informasi kedirgantaraan, perlu dibuat suatu prosedur pemantauan benda jatuh antariksa. Prosedur ini diharapkan mendukung upaya antisipasi dampak kerugian yang mungkin timbul akibat benda jatuh tersebut. Tulisan ini bertujuan menjelaskan bagaimana prosedur tersebut dibuat dan diterapkan dalam beberapa kasus pemantauan benda jatuh. Pembahasan dibatasi dengan asumsi benda yang akan jatuh adalah benda yang tidak dikontrol sehingga gerak benda hanya dipengaruhi oleh gaya-gaya alami sehingga yang terjadi adalah murni peluruhan orbit (*orbital decay*).

2 METODOLOGI

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat teknik pemantauan benda jatuh antariksa. Teknik ini akan memanfaatkan sumber-sumber data dan perangkat-perangkat lunak baik yang dikembangkan oleh pihak luar maupun oleh LAPAN. Untuk itu dilakukan identifikasi dan seleksi sumber data dan perangkat lunak. Kriteria seleksi adalah keandalan dan kemudahan pemakaian. Diupayakan menggunakan perangkat lunak yang sudah tersedia tapi jika tidak mencukupi maka dikembangkan perangkat lunak sendiri.

Langkah berikutnya adalah membuat prosedur pemantauan benda jatuh antariksa berdasarkan teknik yang telah dibuat. Prosedur ini kemudian digunakan pada beberapa kasus benda jatuh yang pernah ditangani oleh Pusfatsainsa. Hasil pemakaian prosedur kemudian dianalisis untuk mengetahui efektivitas dan akurasi.

3 SUMBER DATA DAN PERANGKAT LUNAK YANG DIGUNAKAN

Berikut ini sumber data dan perangkat lunak yang dipakai dalam penelitian ini:

- a. Situs Space-Track (www.space-track.org) untuk informasi perkiraan waktu jatuh (*predicted decay time*) dan perkiraan lokasi jatuh (*predicted decay location*) serta data orbit benda. Situs yang dimiliki oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat ini adalah sumber utama untuk memperoleh data orbit dalam format *two-line element* (TLE). Karena dinyatakan dalam format TLE maka data ini hanya cocok digunakan pada perangkat-perangkat lunak yang memakai model berbasis *simplified general perturbation* (SGP) (Kelso, 1988). Situs ini hanya dapat diakses oleh pengguna yang sudah terdaftar (*registered user*).
- b. Situs Heavens-Above (www.heavens-above.com) untuk data orbit satelit (dalam format TLE) yang tidak tersedia di Space-Track misalnya satelit mata-mata Amerika Serikat. Situs ini mendapatkan TLE benda yang tidak disediakan di Space-Track berdasarkan kontribusi dari pengamat-pengamat satelit amatir. Pengguna dapat memakai situs ini tanpa registrasi tapi

- disarankan untuk melakukan registrasi guna memaksimalkan manfaat dari situs ini. Informasi tentang benda jatuh antariksa terutama yang TLE-nya tidak diperoleh di Space-Track bisa dicari di milis SeeSat-L dalam situs Sat-Obs (www.satobs.org).
- c. Situs *Space Weather Prediction Center* (SWPC) (www.swpc.noaa.gov) untuk memperoleh prediksi aktivitas matahari. Dalam situs milik Departemen Perdagangan Amerika Serikat ini dapat diperoleh prediksi aktivitas matahari yang dinyatakan dalam bilangan *sunspot* dan fluks radio 10.7 cm (F10.7).
 - d. Perangkat lunak SatEvo untuk memprediksi waktu jatuh benda. Program yang memakai TLE dan F10.7 sebagai masukan ini akan menginformasikan waktu jatuh benda jika benda tersebut diperkirakan akan jatuh dalam rentang 1000 hari setelah epoch TLE-nya. Selain perkiraan waktu jatuh, SatEvo juga mampu menghasilkan TLE historis (*orbital evolution*) benda hingga jatuh (maksimal 30 hari ke depan). Pengguna dapat memasukan TLE beberapa benda sekaligus dalam sebuah file untuk diproses. SatEvo dapat diunduh secara bebas dari situs www.wingar.demon.co.uk/satevo/.
 - e. Perangkat lunak Orbitron untuk membuat jejak permukaan benda (*groundtrack*). Program yang memakai TLE sebagai masukan ini dapat diunduh secara bebas dari situs www.stoff.pl.
 - f. Perangkat lunak Track-It untuk menampilkan perkiraan lokasi jatuh benda di permukaan bumi. Program ini khusus dikembangkan dalam rangka pemantauan benda jatuh di Pusfatsainsa LAPAN. Dengan program ini dapat dengan mudah diperlihatkan jejak permukaan benda dalam rentang prediksi waktu jatuh dan pusat perkiraan lokasi jatuh benda (tidak dapat dilakukan di Orbitron). Plot jejak permukaan benda dibuat memakai model berbasis SGP berdasarkan informasi perkiraan waktu jatuh yang diperoleh dari Space-Track dan TLE benda sedang plot pusat perkiraan lokasi jatuh dibuat berdasarkan informasi perkiraan lokasi jatuh yang juga diperoleh dari Space-Track.

4 TEKNIK PEMANTAUAN BENDA JATUH ANTARIKSA

Pemantauan dibagi ke dalam dua skenario utama yaitu pemantauan terhadap benda yang dikabarkan akan segera jatuh (misalnya BeppoSax tahun 2003) dan pemantauan rutin terhadap benda-benda yang diperkirakan akan jatuh hingga 60 hari ke depan. Kedua skenario ini memanfaatkan layanan informasi prediksi dan TLE benda antariksa di situs Space-Track (www.space-track.org). Kenyataan bahwa tidak semua benda yang dikabarkan akan jatuh tersedia hasil prediksi dan TLE-nya di Space-Track mengakibatkan kedua skenario di atas harus dipecah lagi sehingga secara keseluruhan diperoleh 5 skenario sebagai berikut:

- a. Pemantauan benda yang dikabarkan akan jatuh yang informasi prediksi waktu dan lokasi jatuhnya (berikut TLE-nya) tersedia di Space-Track.

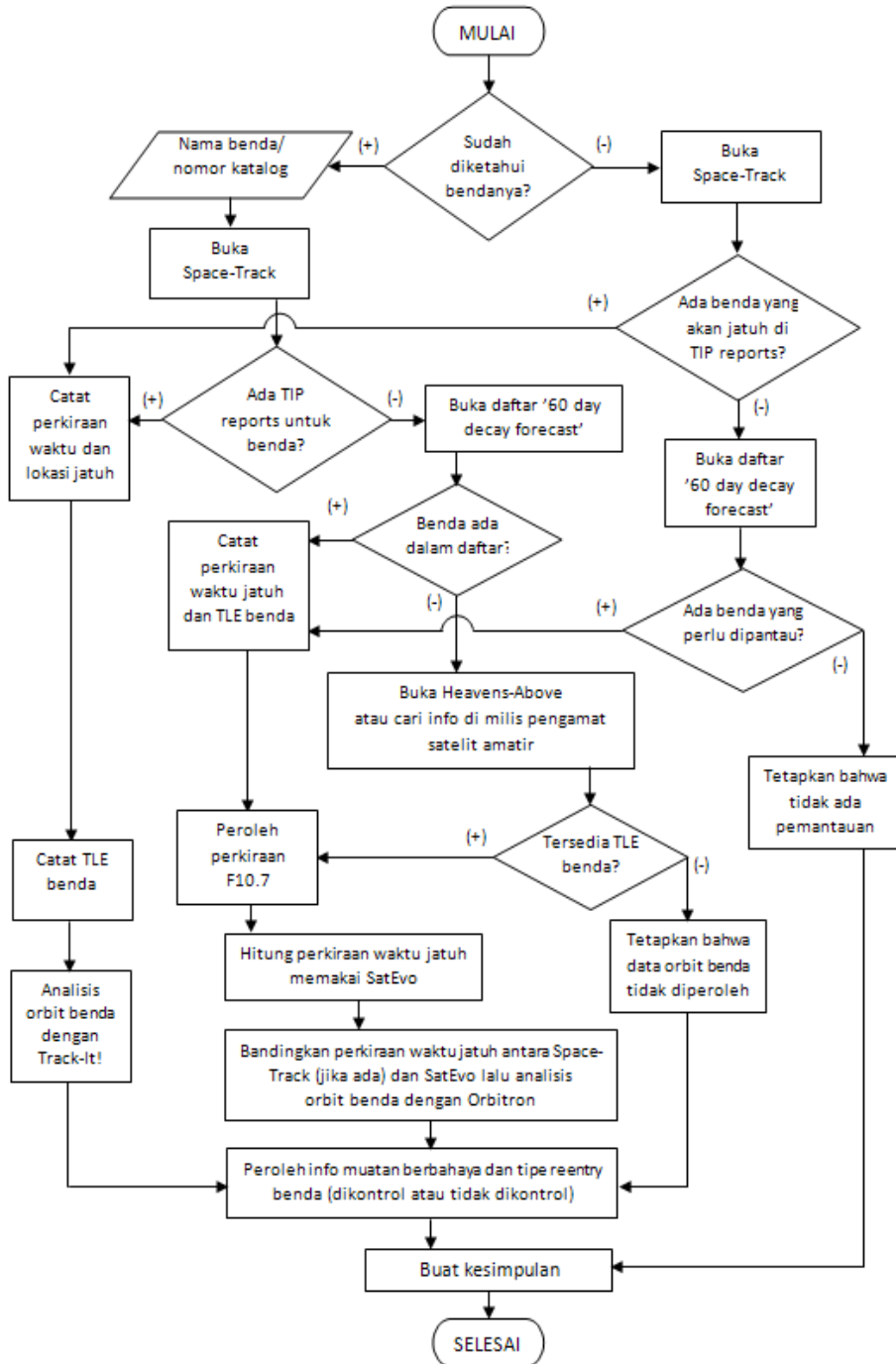
Informasi ini tersedia bagi benda yang diperkirakan akan jatuh kurang dari 100 jam lagi. Hasil prediksinya, yang dinamakan *Tracking and Impact Prediction report* (TIP *report*), mencakup waktu dan lokasi jatuh yang dikeluarkan 96 jam, 72 jam, 48 jam, 24 jam, 12 jam, 6 jam, dan 2 jam sebelum waktu jatuh yang diperkirakan (Anon. 2008). Prediksi terakhir sebagai *final report* dikeluarkan beberapa jam setelah benda dinyatakan jatuh. Hasil prediksi dan TLE benda digunakan untuk membuat plot perkiraan lokasi jatuh benda memakai Track-It. Warna merah dan oranye pada TIP *report* dapat digunakan untuk mengetahui secara cepat seberapa dekat waktu saat itu (*current time*) dengan perkiraan waktu jatuh benda.

- b. Pemantauan benda yang dikabarkan akan jatuh tapi hanya diperoleh prediksi waktu jatuhnya (berikut TLE-nya) di Space-Track. Pemantauan ini dilakukan terhadap benda yang tidak tersedia TIP *report*-nya dan diperkirakan akan jatuh hingga 60 hari ke depan terhitung sejak tanggal tertentu (biasanya diperbarui seminggu sekali). Prediksi waktu jatuh yang diperoleh dibandingkan dengan hasil prediksi SatEvo memakai prediksi F10.7 pada bulan yang bersesuaian dari SWPC.
- c. Pemantauan benda yang dikabarkan akan jatuh tapi TLE-nya tidak tersedia di Space-Track namun tersedia di sumber lain. Sumber lain yang dimaksud adalah Heavens-Above dan milis SeeSat-L. TLE yang didapatkan beserta prediksi F10.7 pada bulan yang bersesuaian dari SWPC dimasukkan pada SatEvo untuk memperoleh prediksi waktu jatuh.
- d. Pemantauan benda secara rutin yang informasi prediksi waktu dan lokasi jatuhnya (berikut TLE-nya) tersedia di Space-Track. Pemantauan ini rutin dilakukan setiap 3 hari sekali. Sama dengan skenario nomor 1, hasil prediksi dan TLE benda digunakan untuk membuat plot perkiraan lokasi jatuh benda memakai Track-It.
- e. Pemantauan benda secara rutin yang perlu untuk dipantau tapi hanya diperoleh prediksi waktu jatuhnya di Space-Track. Benda yang perlu dipantau adalah benda yang berpotensi tidak habis terbakar ketika memasuki atmosfer yakni yang *radar cross section* (RCS)-nya di atas 1 m² (Klinkrad, 2001). Data RCS ini diberikan di halaman benda yang diperkirakan akan jatuh hingga 60 hari ke depan (*60 day decay forecast*) di Space-Track. Sama dengan skenario nomor 2, prediksi waktu jatuh yang diperoleh dibandingkan dengan hasil prediksi SatEvo memakai prediksi F10.7 pada bulan yang bersesuaian dari SWPC.

5 PROSEDUR PEMANTAUAN BENDA JATUH ANTARIKSA

Berdasarkan teknik yang dijelaskan sebelumnya, disusun sebuah prosedur pemantauan benda jatuh antariksa. Prosedur ini dapat dijalankan oleh seorang peneliti orbit satelit yang mahir memakai situs Space-Track, Heavens-Above, dan SWPC, serta mahir mengoperasikan perangkat lunak Orbitron, Track-It, dan SatEvo. Peralatan/perengkapan yang dibutuhkan

adalah satu set komputer, perangkat lunak Orbitron, Track-It, dan SatEvo, serta jaringan internet. Gambar 5-1 menunjukkan diagram alir langkah-langkah dari prosedur pemantauan benda jatuh antariksa.



Gambar 5-1: Diagram alir prosedur pemantauan benda jatuh antariksa

- a. Jika dikabarkan bahwa ada benda buatan yang telah diketahui identitasnya akan segera jatuh maka lanjutkan ke langkah b. Jika tidak ada informasi maka lanjutkan ke langkah d (lakukan langkah d ini tiap 3 hari sekali).
- b. Catat nama dan/atau nomor katalog benda lalu cari perkiraan waktu dan lokasi jatuh benda di Space-Track. Jika ditemukan perkiraan waktu dan lokasi maka catat kedua nilai tersebut lalu melanjutkan ke langkah g. Jika hanya ditemukan perkiraan waktu maka peneliti mencatat nilai tersebut dan TLE benda lalu lanjutkan ke langkah nomor e.
- c. Jika data orbit tidak ditemukan di Space-Track maka cari di Heavens-Above dan di Sat-Obs. Jika ditemukan maka lanjutkan ke langkah e. Jika tidak maka simpulkan bahwa data orbit tidak diperoleh dan lanjutkan ke langkah j.
- d. Cari apakah ada benda yang akan segera jatuh di Space-Track. Jika ditemukan maka catat perkiraan waktu dan lokasi jatuh lalu lanjutkan ke langkah g. Jika tidak maka dari daftar benda yang akan jatuh hingga 60 hari ke depan, cari benda berupa satelit atau badan roket terutama yang berukuran besar (RCS di atas 1). Jika ditemukan maka unduh TLE terakhir benda yang paling perlu untuk dipantau (misalnya yang paling awal jatuh atau yang ukurannya paling besar) dan catat perkiraan waktu jatuh oleh Space-Track. Lanjutkan ke langkah e. Jika tidak ditemukan maka simpulkan bahwa tidak ada benda yang perlu dipantau. **Prosedur berakhir.**
- e. Peroleh perkiraan nilai F10.7 matahari dari SWPC dalam masa perkiraan waktu jatuh lalu gunakan pada SatEvo untuk memperkirakan waktu jatuh benda.
- f. Bandingkan hasil perkiraan SatEvo dengan perkiraan Space-Track lalu lanjutkan ke langkah h.
- g. Buat grafik perkiraan lokasi jatuh benda dengan Track-It lalu lanjutkan ke langkah i.
- h. Gunakan Orbitron untuk membuat jejak permukaan benda ketika melintasi Indonesia dan mencatat ketinggian, kemiringan, dan kelonjongan orbitnya.
- i. Cari informasi dari internet dan sumber lainnya tentang ada tidaknya muatan berbahaya yang dikandung benda yang akan jatuh.
- j. Buat kesimpulan berisi:
 - Identitas benda yang akan jatuh mencakup nama, nomor katalog, dan pemilikinya (jika diketahui),
 - Rangkuman hasil kegiatan (jika data orbit diperoleh) berisi:
 - perkiraan waktu dan lokasi jatuh (jika diperoleh),
 - gambar perkiraan lokasi jatuh benda (jika perkiraan lokasi jatuh diperoleh) atau jejak permukaan benda ketika melintasi Indonesia

berikut ketinggian, kemiringan, dan kelonjongan orbit benda (jika perkiraan lokasi jatuh tidak diperoleh), dan

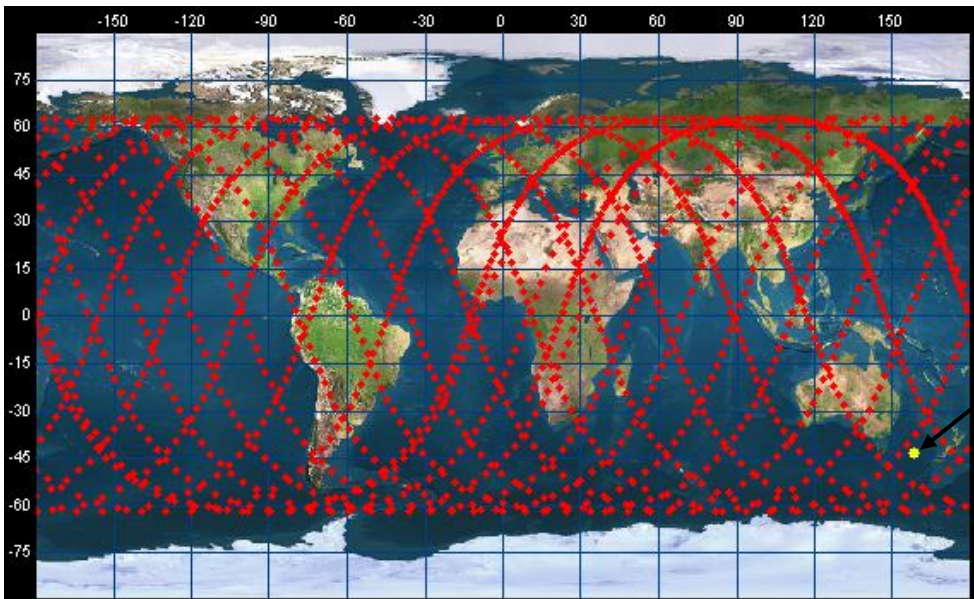
- ada tidaknya kandungan berbahaya yang dimuat benda.
- Keterangan bahwa pemantauan terhadap benda tidak dapat dilakukan karena kekurangan data (jika data orbit benda tidak diperoleh).

6 PEMAKAIAN PROSEDUR

Berikut ini beberapa contoh pemakaian prosedur pemantauan pada beberapa kasus benda jatuh antariksa yaitu jatuhnya satelit Molniya 3-39 milik Rusia, satelit USA 193 milik Amerika Serikat, dan badan roket Delta 2 R/B 1 milik Amerika Serikat.

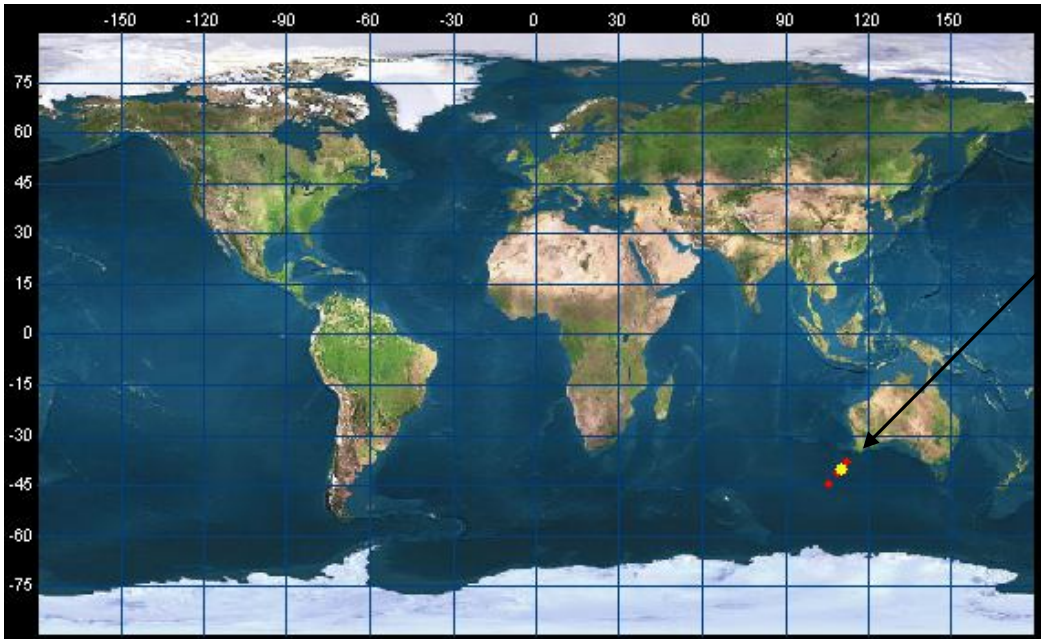
6.1 Satelit Molniya 3-39 (contoh pemantauan memakai skenario 1)

Pada tanggal 8 Juli 2009 diperoleh kabar bahwa satelit Molniya 3-39 milik Federasi Rusia akan jatuh ke bumi. Ini adalah kasus benda jatuh yang sudah diketahui identitasnya. Dari informasi yang didapatkan dari TIP reports di Space-Track diketahui bahwa benda ini memiliki nomor katalog 20813 dan diperkirakan (berdasarkan report terbaru 7 Juli 2009 pukul 21:35:00 GMT) akan jatuh pada 8 Juli 2009 pukul 19:18:00 GMT dengan rentang kesalahan +/- 13 jam. Dari TLE benda, orbit benda dianalisis dengan Track-It sehingga diketahui bahwa selama rentang tersebut Molniya 3-39 melintasi wilayah Indonesia sebanyak 3 kali (lihat Gambar 6-1).



Gambar 6-1: Perkiraan lokasi jatuh Molniya 3-39 berdasarkan perkiraan tanggal 7 Juli 2009 pukul 21:35:00 GMT (tanda panah menunjukkan pusat perkiraan lokasi jatuh)

Analisis orbit berikutnya dilakukan berdasarkan perkembangan *report* di Space-Track. Akhirnya diperoleh *report* terakhir pada 8 Juli 2009 pukul 23:54:00 GMT bahwa Molniya 3-39 telah jatuh pada tanggal 8 Juli 2009 pukul 22:42:00 GMT (9 Juli 2009 pukul 05:42:00 WIB) dengan rentang kesalahan +/- 1 menit di selatan Australia (lihat Gambar 6-2).



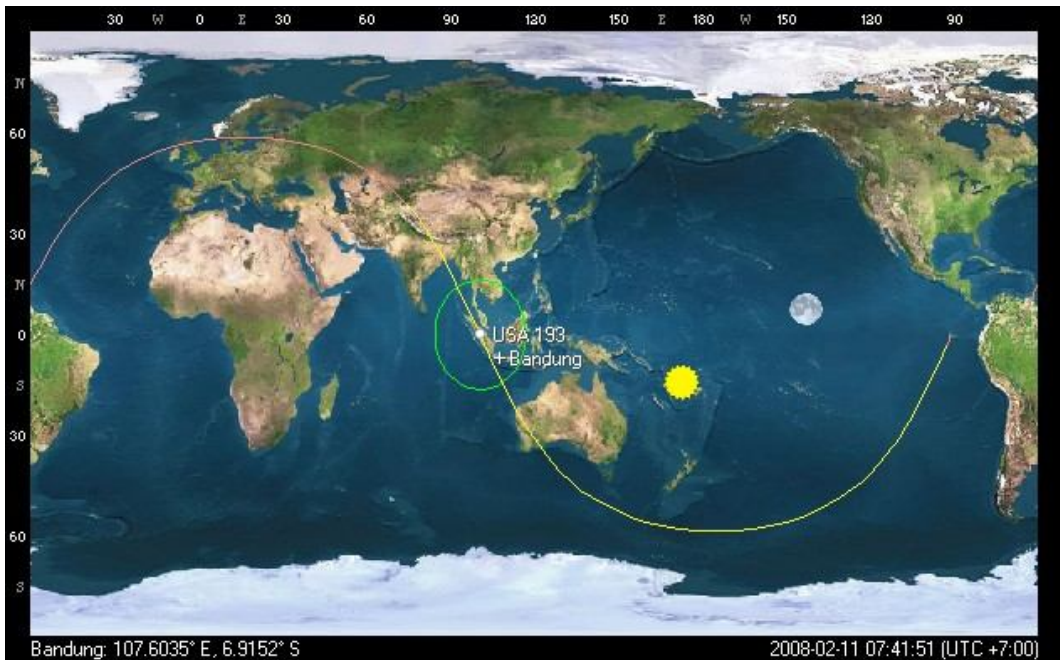
Gambar 6-2: Perkiraan lokasi jatuh Molniya 3-39 berdasarkan report terakhir tanggal 8 Juli 2009 pukul 23:54:00 GMT (tanda panah menunjukkan pusat perkiraan lokasi jatuh)

6.2 Satelit USA 193 (contoh pemantauan memakai skenario 3)

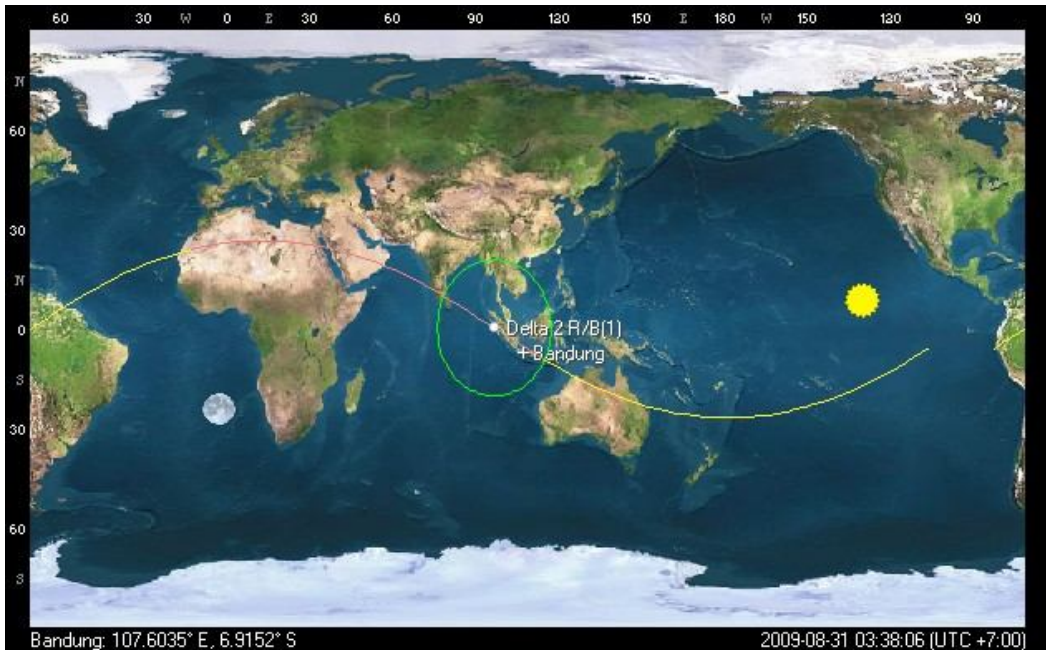
Pada tanggal 11 Februari 2008 diperoleh berita bahwa sebuah satelit mata-mata Amerika yang sudah tidak berfungsi akan jatuh ke bumi dalam beberapa minggu ke depan. Ini adalah kasus benda jatuh yang sudah diketahui identitasnya. Ternyata TLE benda tidak disediakan di Space-Track (karena sifatnya *classified*) tapi tersedia di Heavens-Above. TLE tersebut adalah hasil pengamatan tanggal 9 Februari 2008 pukul 04:34:03 UTC. Dari SWPC diketahui bahwa nilai F10.7 pada bulan Februari dan Maret 2008 adalah sekitar 70 sfu. Dengan masukan TLE dan F10.7 ke dalam SatEvo diperoleh perkiraan waktu jatuh USA 193 adalah sekitar tanggal 19 Maret 2008 (sekitar 38 hari lagi). Gambar 6-3 memperlihatkan lokasi satelit tersebut saat melintasi Bandung dari arah Utara ke Selatan.

6.3 Badan Roket Delta2R/B (1) (contoh pemantauan memakai skenario 5)

Dari pemantauan rutin yang dilakukan pada tanggal 30 Agustus 2009 terlihat dari daftar benda yang diperkirakan akan jatuh dalam 60 hari ke depan di Space-Track bahwa berdasarkan *report* tanggal 26 Agustus 2009 ada tiga benda dengan RCS di atas 1 yang akan jatuh. Benda yang paling awal jatuh adalah Delta 2 R/B(1) milik Amerika Serikat dengan RCS sebesar 9.21. Space-Track memperkirakan benda bernomor katalog 32251 ini akan jatuh pada tanggal 12 September 2009. Dari SWPC diketahui bahwa nilai F10.7 pada bulan Agustus dan September 2009 adalah sekitar 70 sfu. TLE yang diperoleh dari Space-Track adalah hasil pengamatan tanggal 30 Agustus 2009 pukul 23:03:46 UTC. Dengan masukan TLE tersebut dan F10.7 ke dalam SatEvo diperoleh perkiraan waktu jatuh Delta 2 R/B(1) adalah sekitar tanggal 15 September 2009 (sekitar 15 hari lagi). Gambar 6-4 memperlihatkan benda tersebut saat melintasi Bandung dari arah Barat ke Timur.



Gambar 6-3: Jejak permukaan USA 193 ketika melintasi Bandung pada tanggal 11 Februari 2008 pukul 07:42 WIB



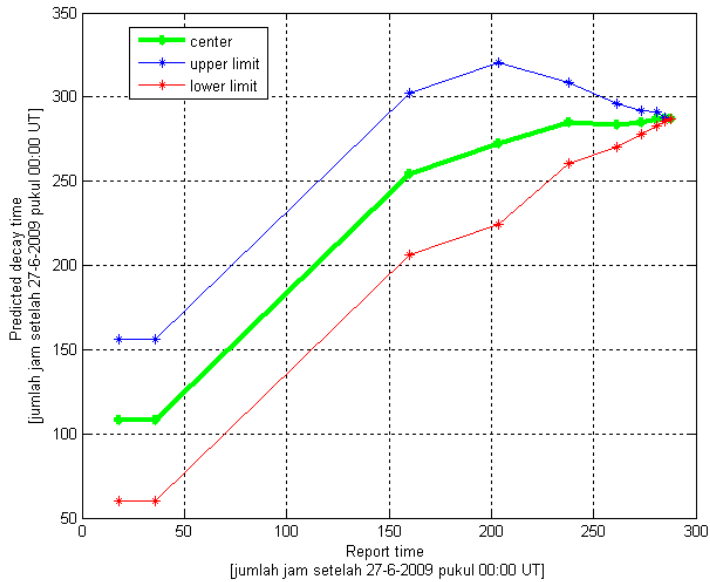
Gambar 6-4: Jejak permukaan Delta 2 R/B(1) ketika melintasi Bandung pada tanggal 31 Agustus 2009 pukul 03:38 WIB

7 PEMBAHASAN

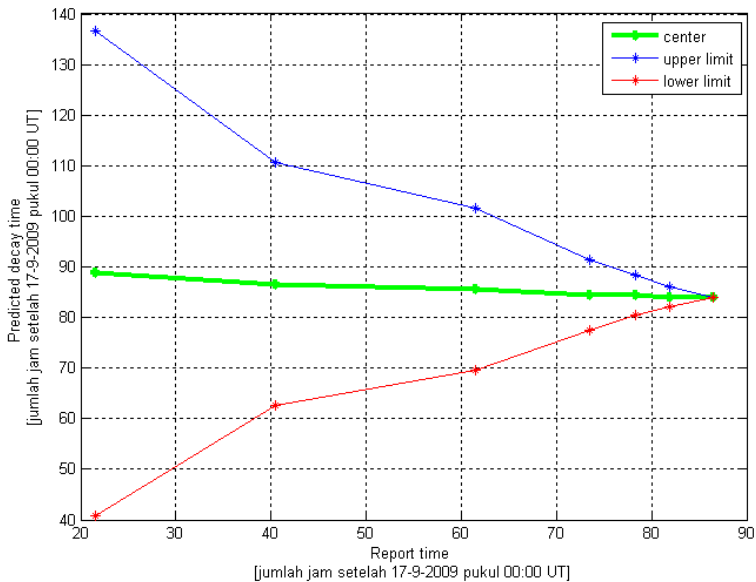
Tiga contoh pemakaian prosedur pada kasus benda jatuh yang diberikan sebelumnya hanyalah sebagian kecil dari keseluruhan pemakaian prosedur yang mulai dilakukan sejak awal tahun 2009. Pengalaman selama ini menunjukkan bahwa prosedur yang dibuat cukup efektif digunakan dengan asumsi akses ke sumber-sumber data yang dibutuhkan tidak terganggu.

Hal terpenting yang dicatat dari pemakaian prosedur pemantauan selama ini adalah adanya masalah akurasi prediksi. Contoh-contoh kasus pemantauan yang telah diberikan dapat memperlihatkan hal ini. Untuk kasus satelit Molniya 3-39 yang akhirnya dinyatakan jatuh pada tanggal 8 Juli 2009 pukul 22:42:00 GMT, prediksi yang dilakukan sekitar 25 jam sebelumnya (tanggal 7 Juli 2009 pukul 21:35:00 GMT) masih memiliki rentang ketidakpastian sebesar 13 jam. Dalam waktu selama itu satelit dapat mengitari bumi sebanyak 16 kali (lihat kembali Gambar 6-1). Dari profil perkiraan waktu jatuh satelit ini terhadap *report time*-nya tampak bahwa prediksi waktu jatuh yang dilakukan lebih awal dari 100 jam sebelum waktu jatuh bisa sangat berbeda hasilnya dengan prediksi terakhir sebagaimana terlihat pada Gambar 7-1. *Report* pertama yang dilakukan 11 hari sebelum waktu jatuh memprediksi satelit akan jatuh pada tanggal 1 Juli 2009 sedangkan *report* terakhir (setelah satelit diperkirakan jatuh) menyatakan satelit jatuh pada tanggal 8 Juli 2009. Oleh karena itu analisis profil hasil

prediksi terhadap *report time*-nya, dengan kata lain waktu prediksinya, perlu dilakukan sejak awal untuk mengetahui konsistensi hasil prediksi. Salah satu contoh prediksi waktu jatuh yang cukup konsisten diperlihatkan pada Gambar 7-2.



Gambar 7-1: Perkiraan waktu jatuh dan ketidakpastiannya untuk satelit Molniya 3-39 yang dinyatakan jatuh pada tanggal 8 Juli 2009



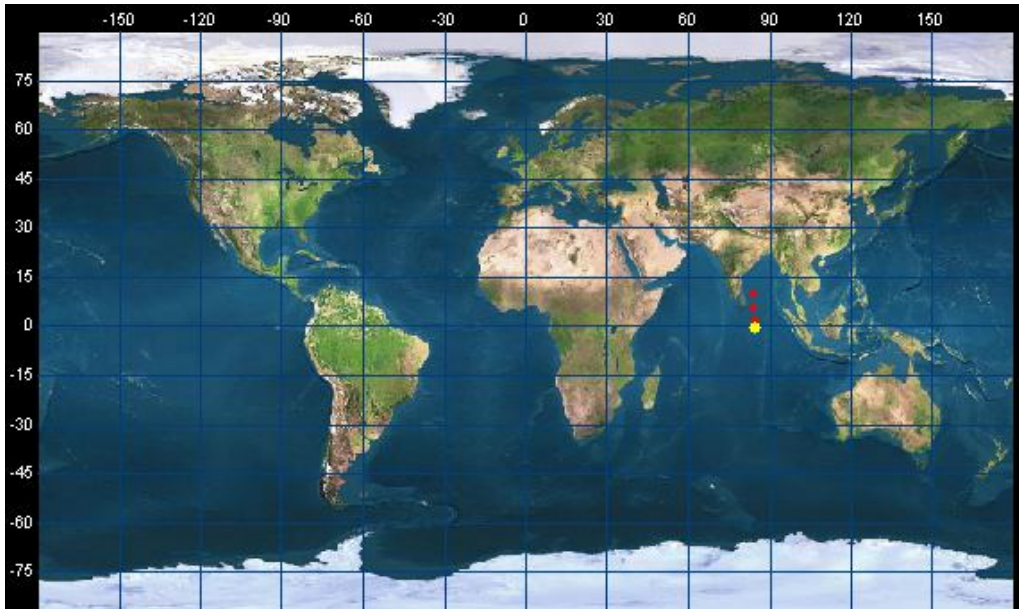
Gambar 7-2: Perkiraan waktu jatuh dan ketidakpastiannya untuk badan roket SL-4 R/B yang dinyatakan jatuh pada tanggal 20 September 2009

Perbedaan hasil prediksi waktu jatuh untuk badan roket Delta 2 R/B(1) versi Space-Track dan SatEvo tidak hanya terkait dengan masalah akurasi tapi juga dengan batasan akses terhadap sumber data yakni Space-Track. Waktu jatuh yang diperoleh dari Space-Track berdasarkan *report* tanggal 26 Agustus 2009 sedangkan prediksi SatEvo memakai TLE tanggal 30 Agustus 2009. Wajar sekali terjadi perbedaan hasil prediksi akibat data masukan yang berbeda *epoch* (waktu pengamatan).

Pada dasarnya akurasi prediksi adalah masalah yang paling krusial dalam pemantauan benda jatuh antariksa. Sangat sulit memprediksi waktu dan lokasi jatuh dengan akurasi tinggi karena banyak sekali faktor yang harus diperhitungkan. Permasalahan diperparah dengan ketidakpastian yang inheren pada setiap faktor tersebut. Dikatakan bahwa meskipun sebagian besar faktor diketahui nilainya, kesalahan prediksi waktu jatuh tidak bisa kurang dari 10% dari sisa usia benda (Kennewell, 1996). Prediksi lokasi jatuh sangat ditentukan oleh akurasi prediksi waktu jatuh karena dengan kecepatan orbit menjelang jatuh yang mendekati 8 km/dtk, selisih satu detik saja menandakan beda posisi sekitar 8 km. Dengan kata lain, ketidakpastian +/- 1 menit pada prediksi waktu jatuh akan mengakibatkan ketidakpastian sebesar +/- 480 km pada prediksi lokasi jatuh benda. Perhitungan ini dilakukan dengan asumsi bahwa benda dikatakan jatuh (*reentry*) jika ketinggiannya telah mencapai 122 km (Anon. 2008).

Perbedaan akurasi Space-Track dan SatEvo bisa terjadi akibat perbedaan model prediksi yang digunakan. Perkiraan waktu jatuh dan perkiraan lokasi jatuh di Space-Track dibuat memakai *special perturbation* (Anon, 2008) sedang SatEvo kemungkinan menggunakan model berbasis SGP (*simplified general perturbation*) karena memakai TLE sebagai masukan. *Special perturbation* adalah teknik prediksi orbit benda antariksa yang mengintegrasikan secara numerik persamaan gerak benda dengan memperhitungkan semua gaya pengganggu yang perlu diperhitungkan sedang SGP adalah teknik prediksi yang berdasarkan metode analitik (Vallado, 2001). *Special perturbation* lebih akurat daripada SGP tapi membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama.

Perbedaan hasil prediksi *special perturbation* dan SGP jelas terlihat pada kasus jatuhnya badan roket SL-14 R/B pada tanggal 14 Juli 2009. Plot pusat perkiraan lokasi jatuh benda (berdasarkan informasi lintang dan bujur yang tersedia di TIP *report* yang dihitung memakai *special perturbation*) tidak berada tepat di tengah plot jejak permukaan benda (berdasarkan informasi perkiraan waktu jatuh yang dihitung memakai *special perturbation* tapi lokasinya di-plot memakai SGP) seperti diperlihatkan pada Gambar 7-3.



Gambar 7-3: Perkiraan lokasi jatuh badan roket SL-14 R/B (titik kuning menunjukkan pusat perkiraan lokasi jatuh sedang titik-titik merah menunjukkan jejak permukaan benda dalam perkiraan waktu jatuh)

Pengalaman pemantauan selama ini juga menunjukkan bahwa rata-rata benda dinyatakan jatuh dalam *TIP report* ketika ketinggiannya mencapai 130 km. Perlu dicatat bahwa nilai ini dihitung memakai model SGP dengan masukan prediksi waktu jatuh dari *TIP report* (yang dihitung dengan *special perturbation*). Nilai rata-rata di atas cukup dekat dengan asumsi ketinggian benda jatuh yakni 122 km. Benda mulai pecah pada ketinggian antara 84 hingga 72 km (Anon. 2008)

8 KESIMPULAN

Sekitar 70% dari 15 ribuan benda antariksa yang mengitari bumi berpotensi untuk jatuh ke bumi. Fakta menunjukkan bahwa dari 20 ribuan benda yang telah jatuh ke permukaan bumi, 33% di antaranya berukuran cukup besar untuk jatuh hingga ke permukaan bumi sehingga mengakibatkan kerusakan. Pemantauan benda jatuh antariksa perlu dilakukan untuk mengantisipasi kerusakan yang mungkin terjadi.

Dalam penelitian ini telah dikembangkan sebuah prosedur pemantauan benda jatuh antariksa menggunakan sumber-sumber data dari internet dan perangkat-perangkat lunak yang dibuat oleh pihak luar atau dikembangkan sendiri. Dari pemakaian teknik-teknik yang digunakan selama ini (sejak awal 2009) dapat disimpulkan bahwa prosedur ini cukup efektif mencapai

tujuannya. Hal yang mungkin menjadi kendala hanyalah koneksi internet yang harus terus tersedia untuk mengakses sumber-sumber informasi dari luar negeri.

Meski dapat dikatakan efektif untuk digunakan bukan berarti prosedur pemantauan yang dibuat dalam penelitian ini bebas dari masalah. Masalah ini terkait dengan akurasi prediksi yang pasti terjadi pada setiap prediksi benda jatuh. Dari pemakaian prosedur diketahui bahwa sangat sulit diperoleh prediksi waktu jatuh apalagi lokasi jatuh dengan akurasi tinggi. Inspeksi terhadap profil perkiraan waktu jatuh benda terhadap waktu prediksinya perlu dilakukan untuk mengetahui konsistensi prediksi tersebut. Telah diperlihatkan bahwa sekalipun memakai teknik *special perturbation* yang lebih akurat daripada SGP, prediksi Space-Track bisa memberikan hasil yang tidak valid jika prediksinya dilakukan lebih awal dari 100 jam sebelum waktu jatuh. Prediksi lokasi jatuh sangat ditentukan oleh akurasi prediksi waktu jatuh. Ketidakpastian ± 1 menit pada prediksi waktu jatuh akan mengakibatkan ketidakpastian ± 480 km pada prediksi lokasi jatuh benda.

DAFTAR RUJUKAN

- Anon, 2008. *Handbook for Limiting Orbital Debris*. NASA Handbook.
- Djamaluddin, T. 2004, *Analisis Orbit dan Identifikasi Benda Jatuh Antariksa di Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Sains Antariksa II, hlm. 297 – 301, 2004, ISBN 979-8554-79-5.
- Kelso, T.S. 1988. *Models for Propagation of NORAD Element Sets*, Spacetrack Report no. 3, www.celestrak.com download 17 April 2006.
- Kennewell, J. 1999. *Satellite Orbital Decay Calculations*. IPS Radio & Space Services, The Australian Space Weather Agency, Sidney-Australia.
- Klinkrad, H, 2001, *Assessment of the On-Ground Risk During Re-Entries*, Prosiding *Third European Conferences on Space Debris*. ESA.
- Klinkrad, Heiner, 2006. *Space Debris: Models and Risks Analysis*. Praxis Publishing.
- Rachman, Abdul, 2008. *Perangkat Lunak untuk Identifikasi Benda Jatuh Antariksa*, Proceeding Seminar Nasional Sains Antariksa IV, Nop. 2008, hal. 204–210, ISBN: 978-979-1458-23-8.
- Vallado, David A. 2001. *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*. Space Technology Library, Microcosm Press, El Segundo, CA.