

Penentuan Koefisien Balistik Satelit LAPAN-TUBSAT dari *Two-Line Elements* (TLE)

Oleh:
Abdul Rachman*
Tiar Dani*

Abstrak

Salah satu faktor yang menentukan lamanya usia satelit orbit rendah adalah koefisien balistiknya. Studi ini membandingkan kerapatan atmosfer total yang didapatkan dari pengolahan data *two-line elements* (TLE) satelit LAPAN-TUBSAT dengan kerapatan berdasarkan model empiris standar MSISE-90. Caranya dengan memvariasikan nilai invers ballistic coefficient yang digunakan sebagai masukan dalam perhitungan kerapatan atmosfer dari data TLE. Iterasi dilakukan hingga didapatkan nilai kerapatan atmosfer dari data TLE yang dianggap paling mendekati nilai kerapatan berdasarkan MSISE-90. Dengan taksiran awal adalah nilai invers ballistic coefficient yang didapatkan dari studi sebelumnya, diperoleh rentang koefisien balistik dari 71.4 hingga 100 kg/m². Nilai ini jauh lebih kecil dibanding hasil studi sebelumnya yakni 115.2263 – 230.4527 kg/m².
Kata kunci: koefisien balistik, satelit LAPAN-TUBSAT, *two-line elements* (TLE)

Abstract

One of the factors that determines the lifetime of low-earth orbit satellites is their ballistic coefficient. This study compared the total atmospheric density obtained from data processing of *two-line elements* (TLE) for LAPAN-TUBSAT satellite with the density based on a standard empirical model MSISE-90. This is accomplished by varying the value of invers ballistic coefficient which is used as an input in calculating the atmospheric density from TLE. Iteration is performed until the atmospheric density value obtained from TLE is considered similar with the value based on MSISE-90. Starting with the inverse ballistic coefficient value obtained from a previous study, we find the range of value of the ballistic coefficient is 71.4 until 100 kg/m². This value is much smaller than the result of the previous study which is 115.2263 - 230.4527 kg/m².
Keywords: ballistic coefficient, LAPAN-TUBSAT satellite, *two-line elements* (TLE)

1. PENDAHULUAN

Satelit orbit rendah senantiasa mengalami gangguan orbit akibat hambatan atmosfer. Arahnya yang berlawanan dengan gerak satelit mengakibatkan perlambatan pada gerak benda sehingga ketinggiannya semakin berkurang. Efek terbesar dialami titik terjauh (*apogee*) satelit. Ini mengakibatkan bentuk orbit semakin sirkular dengan setengah sumbu panjang yang semakin kecil. Menjelang jatuhnya ke Bumi, hambatan atmosfer bisa menjadi faktor pengganggu terbesar dibanding gangguan-gangguan alamiah lainnya termasuk kecepatan bentuk Bumi (Vallado, 2001).

Koefisien balistik adalah besaran yang menyatakan seberapa kuat benda mengatasi hambatan atmosfer. Benda dengan koefisien balistik yang besar akan lebih lama mengorbit dibanding benda dengan koefisien balistik yang kecil. Nilai koefisien balistik antara lain ditentukan oleh koefisien hambatan C_D yang menyatakan interaksi atmosfer dengan material permukaan satelit (Montenbruck dan Gill, 2001). Nilai C_D biasanya berkisar dari 1.5 hingga 3.0 (Montenbruck dan Gill, 2001) dengan tipikal nilainya 2.2 (Wertz, 2001). Untuk benda berbentuk bola, C_D berkisar dari ~2.0 – 2.1 (Vallado, 2001).

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa koefisien balistik LAPAN-TUBSAT berkisar dari 115.2263 – 230.4527 kg/m² (Djamaluddin, 2006). Nilai ini diperoleh dari taksiran secara teoritis dengan mengasumsikan C_D bernilai 2 – 4 (benda berbentuk kotak), ukuran satelit 45×45×27 cm, dan massa 56 kg. Dengan koefisien balistik yang diperoleh ini, diperkirakan LAPAN-TUBSAT akan bertahan di orbitnya sekitar 50 tahun (Djamaluddin, 2006).

LAPAN-TUBSAT telah berada di orbit selama lebih dari 5 tahun. Data orbitnya dapat digunakan untuk menentukan koefisien balistiknya secara empiris. Tulisan ini bermaksud menentukan koefisien balistik LAPAN-TUBSAT berdasarkan kerapatan atmosfer yang dialaminya selama mengorbit.

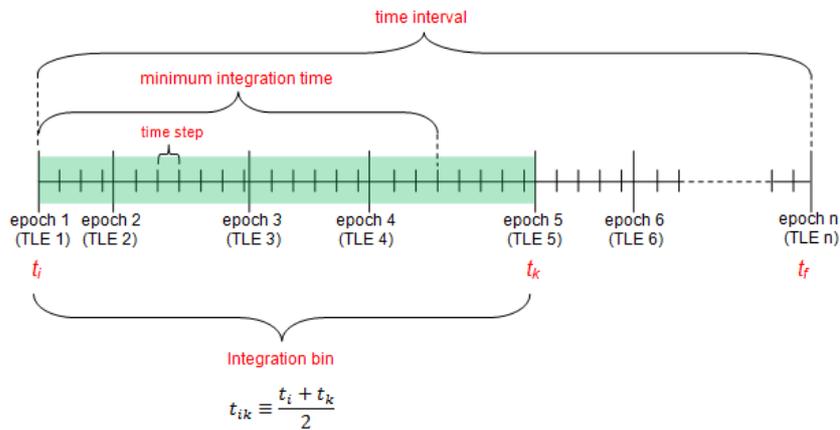
* Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, Pusat Sains Antariksa, LAPAN

2. DATA DAN PERANGKAT LUNAK YANG DIGUNAKAN

Data orbit LAPAN-TUBSAT dalam format TLE diperoleh dari Space-Track (www.space-track.org). Untuk memperoleh kerapatan atmosfer total berdasarkan masukan data TLE, digunakan perangkat lunak AtmosDensity yang dikembangkan di Pusat Sains Antariksa LAPAN. Perangkat lunak ini menghitung kerapatan massa total atmosfer berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Picone dkk. (2005). Data kerapatan atmosfer total berdasarkan model MSISE-90 (*Mass Spectrometer Incoherent Scatter Radar*) diperoleh dari *Virtual Ionosphere, Thermosphere, Mesosphere Observatory* (VITMO) yang beralamat di http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html. Data aktivitas Matahari dalam F10.7 dan aktivitas geomagnet dalam Dst diperoleh dari OMNIWeb-NASA yang beralamat di <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>.

3. METODOLOGI

Data TLE historis (dalam selang waktu tertentu) digunakan untuk menghitung kerapatan atmosfer efektif berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Picone dkk. (2005). Pada metode ini selang waktu TLE (*time interval*) dari t_i sampai t_f dibagi menjadi beberapa *integration bin* (dari t_i hingga t_k) yang ditentukan oleh *minimum integration time* yang dipilih (Gambar 3.1). Jumlah *epoch* TLE yang dikandung dalam sebuah *integration bin* bervariasi bergantung pada jarak antar masing-masing *epoch* tersebut.



Gambar 3.1 Prinsip penentuan *integration bin* dan *time step* dalam studi ini.

Kerapatan yang dihitung dalam metode ini adalah kerapatan efektif yang teramati $\rho_{\Delta t}^O(t_{ik})$ yang tidak bergantung secara eksplisit pada model atmosfer tertentu berdasarkan persamaan

$$\rho_{\Delta t}^O(t_{ik}) \cong \frac{\frac{2}{3}\mu^{2/3}[n_M(t_{ik})]^{-1/3}\Delta_{ik}n_M}{B_{\Delta t}^{T*}(t_{ik})\phi_{(t_i,t_k)}v^3Fdt} \quad (3.1)$$

dengan

$$\begin{aligned} \Delta t &= t_k - t_i \\ t_{ik} &\equiv (t_i + t_k)/2 \\ n_M(t_{ik}) &\approx [n_M(t_i) + n_M(t_k)]/2 \\ \Delta_{ik}n_M &= n_M(t_k) - n_M(t_i) \\ F &\cong \left(1 - \frac{rW}{v} \cos i\right)^2 \end{aligned}$$

di mana μ adalah konstanta parameter gravitasi Bumi bernilai $3.986008 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$, keempat parameter (*mean motion* n_M , inklinasi i , jarak dari pusat Bumi r , dan laju v) diperoleh dari data TLE yang diproses dengan model SGP4 (Hoots dan Roehrich, 1980). *Mean motion* langsung diambil dari TLE (tidak melalui SGP4). F adalah *wind factor* dan w adalah kecepatan sudut rotasi Bumi yang nilainya adalah $7.2921 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$. $B_{\Delta t}^{T*}(t_{ik})$ adalah *true invers ballistic coefficient* yang nilainya bisa dihipotesiskan dengan persamaan

$$B \approx \frac{C_D A}{m} \quad (3.2)$$

di mana C_D adalah koefisien hambatan, A adalah penampang lintang efektif, dan m adalah massa satelit.

Teknik yang dipakai untuk menentukan koefisien balistik LAPAN-TUBSAT adalah mencari $B_{\Delta t}^{T*}$ yang memberikan nilai $\rho_{\Delta t}^O$ yang mendekati nilai kerapatan atmosfer total yang diberikan oleh model MSISE-90. Caranya dengan menghitung rasio kedua kerapatan ($\rho_r = \rho_{\Delta t}^O / \rho_{MSISE}$) memakai nilai awal B tertentu. Perbandingan dilakukan tiap rentang 1 tahun sejak awal LAPAN-TUBSAT diluncurkan sehingga diperoleh rata-rata rasio kedua kerapatan dalam setahun $\bar{\rho}_r$. Iterasi dilakukan hingga $0.9 < \bar{\rho}_r < 1.1$.

Sebagai taksiran awal digunakan $B = 0.0065 \text{ m}^2/\text{kg}$ yang didapatkan dengan mengasumsikan C_D bernilai 3 (*diffuse box*), penampang lintang efektif $A = 0.1215 \text{ m}^2$ (berdasarkan studi sebelumnya oleh Djamaluddin (2006)), dan massa $m = 56 \text{ kg}$. Untuk semua tahun digunakan *minimum integration time* = 5 hari dan *time step* = 5 menit. Untuk MSISE-90 digunakan ketinggian 630 km (ketinggian rata-rata LAPAN-TUBSAT), lintang = 0° , dan bujur = 0° .

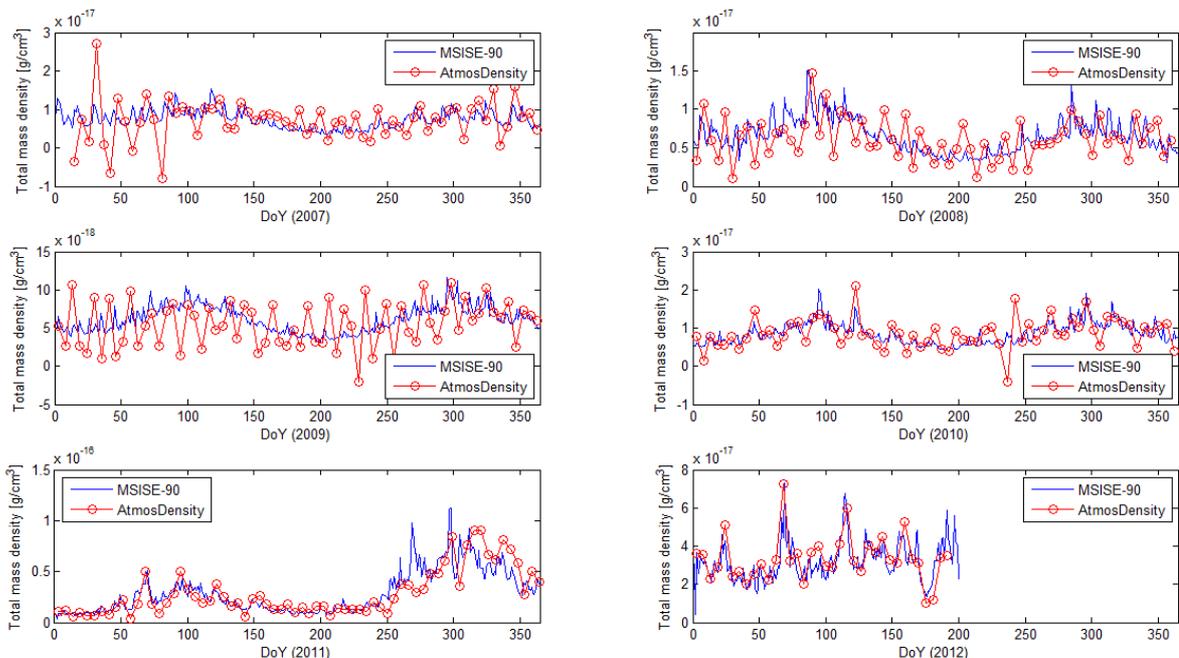
Data rata-rata harian aktivitas Matahari dan geomagnet digunakan untuk melihat kaitan kondisi cuaca antariksa dengan kerapatan atmosfer yang diperoleh. Aktivitas Matahari dinyatakan dalam indeks F10.7 sedang aktivitas geomagnet dalam indeks Dst.

4. HASIL

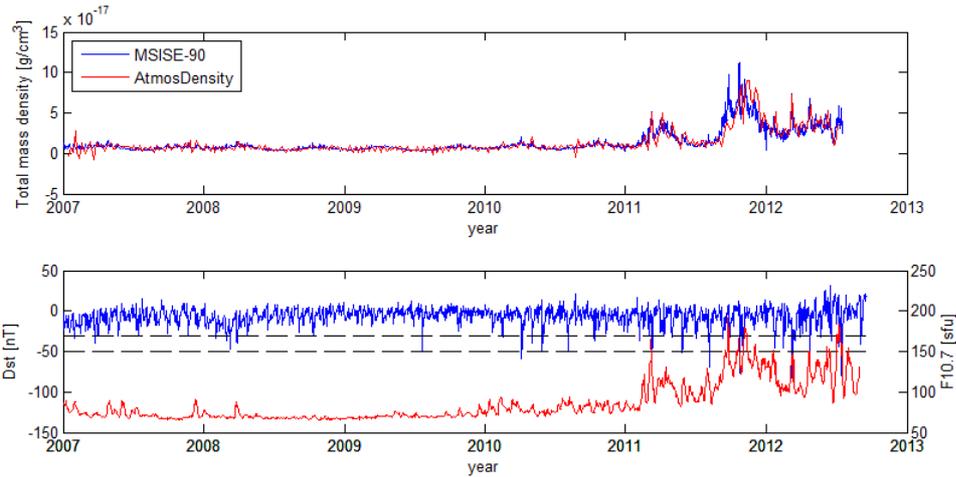
Tabel 4.1 memperlihatkan nilai invers koefisien balistik LAPAN-TUBSAT sejak awal LAPAN-TUBSAT mengorbit hingga batas tanggal yang diakomodasi oleh VITMO (Januari 2007 hingga Juli 2012). Gambar 4.1 memperlihatkan perbandingan kerapatan atmosfer hasil AtmosDensity dengan MSISE-90 untuk masing-masing tahun. Gambar 4.2 memperlihatkan perbandingan kerapatan atmosfer hasil AtmosDensity dengan MSISE-90 sepanjang tahun dan kaitannya dengan aktivitas Matahari dan geomagnet.

Tabel 4.1 Nilai invers koefisien balistik LAPAN-TUBSAT sejak 2007 hingga Juli 2012.

Tahun	$B \text{ (m}^2/\text{kg)}$
2007	0.010
2008	0.012
2009	0.012
2010	0.014
2011	0.013
2012	0.013



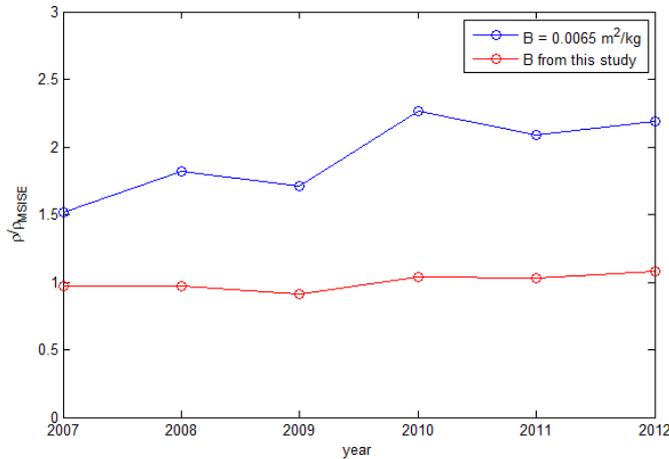
Gambar 4.1 Perbandingan hasil AtmosDensity dengan MSISE-90 sejak 2007 hingga Juli 2012.



Gambar 4.2 Perbandingan hasil AtmosDensity dan MSISE-90 sejak 2007 hingga Juli 2012 (atas) dan kaitannya dengan aktivitas geomagnet (bawah, grafik warna biru, sumbu sebelah kiri) dan Matahari (bawah, grafik warna merah, sumbu sebelah kanan).

5. PEMBAHASAN

Kesesuaian untuk nilai-nilai B yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 sangat baik dibanding $B = 0.0065 \text{ m}^2/\text{kg}$ yang digunakan pada studi sebelumnya (Djameluddin, 2006). Selama LAPAN-TUBSAT mengorbit, rata-rata kerapatan atmosfer dengan $B = 0.0065 \text{ m}^2/\text{kg}$ mencapai hampir 2 kali nilai MSISE-90. Nilai $\bar{\rho}_r$ terbesar untuk $B = 0.0065 \text{ m}^2/\text{kg}$ didapatkan pada tahun 2010 (Gambar 5.1).



Gambar 5.1 Perbandingan hasil AtmosDensity dengan MSISE-90 untuk $B = 0.0065 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan B hasil studi ini.

Perbandingan hasil AtmosDensity dengan MSISE-90 terpaksa penulis lakukan kendati telah tersedia perbaikannya yakni NRLMSISE-00 (Picone dkk., 2002). Alasannya semata karena penulis tidak berhasil menemukan fasilitas semacam VITMO untuk NRLMSISE-00. Fasilitas yang dimiliki VITMO sangat memudahkan pengguna untuk mengakses model MSISE-90 di dalamnya. Terlepas dari itu, MSISE-90 memberikan nilai yang serupa dengan NRLMSISE-00 saat aktivitas Matahari dan geomagnet minimum (Picone dkk., 2002; Park dkk., 2008). Hasil studi ini (Gambar 4.2) telah menunjukkan bahwa kerapatan atmosfer yang diperoleh menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan MSISE-90 di seluruh periode rendahnya aktivitas Matahari dan geomagnet (tahun 2007 hingga 2009).

Nilai *invers ballistic coefficient* B yang dihasilkan dari studi ini memberikan rentang koefisien balistik dari $71.4 - 100 \text{ kg/m}^2$. Nilai ini jauh lebih kecil dibanding yang didapatkan sebelumnya

yakni $115.2263 - 230.4527 \text{ kg/m}^2$ (Djamaluddin, 2006). Jika diasumsikan LAPAN-TUBSAT mengalami *tumbling* selama mengorbit maka penampang lintang efektifnya adalah sebuah lingkaran dengan jari-jari $r = 0.32 \text{ cm}$. Dengan memakai rata-rata *invers ballistic coefficient* selama LAPAN-TUBSAT mengorbit yang diperoleh dari studi ini yakni $0.012 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan berat satelit 56 kg , pers. 3.2 memberikan nilai koefisien hambatan $C_D = 2.15$. Nilai ini mendekati tipikal nilai C_D yakni 2.2 (Wertz, 2001).

6. KESIMPULAN

Koefisien balistik satelit LAPAN-TUBSAT dapat diketahui secara empiris dengan menggunakan data TLE (*two-line elements*). Caranya dengan membandingkan kerapatan atmosfer total yang dihasilkan melalui pengolahan data TLE tersebut dengan kerapatan atmosfer yang dihasilkan oleh model empiris standar. Berawal dari taksiran awal *invers coefficient ballistic*, dapat diperoleh nilai akhir yang paling sesuai.

Studi ini telah membandingkan kerapatan atmosfer total yang dihasilkan melalui pengolahan TLE satelit LAPAN-TUBSAT dengan kerapatan atmosfer total versi MSISE-90. Hasilnya diperoleh rentang koefisien balistik dari $71.4 - 100 \text{ kg/m}^2$ yang berarti jauh lebih kecil dibanding hasil sebelumnya oleh Djamaluddin (2006) yakni $115.2263 - 230.4527 \text{ kg/m}^2$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada USSPACECOM atas data elemen orbit di Space-Track dan NOAA atas data cuaca antariksanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Djamaluddin, T., *Kondisi lingkungan antariksa di wilayah orbit satelit*, Berita Dirgantara, vol. 7, No. 2, Juni 2006.
- Hoots, F. R., dan R. L. Roehrich, 1980, *Models for propagation of the NORAD element sets*, Project Spacetrack Report No. 3, Aerospace Defense Center, Peterson AFB, CO, 1980.
- Montenbruck, O. dan E. Gill, *Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- Park, J., Y.-J. Moon, K.-H. Kim, K.-S. Cho, H.-D. Kim, Y.-S. Kwak, Y.-H. Kim, Y.-D. Park, dan Y. Yi, *Comparison between the KOMPSAT-1 drag derived density and the MSISE model density during strong solar and/or geomagnetic activities*, Earth Planets Space, 60, 601–606, 2008.
- Picone, J. M., A. E. Hedin, dan D. P. Drob, *NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues*, J. Geophys. Res, 107 (A12), 1468, doi:10.1029/2002JA009430, 2002.
- Picone, J. M., J. T. Emmert, dan J. L. Lean, *Thermospheric densities derived from spacecraft orbits: Accurate processing of two-line element sets*, J. Geophys. Res., 110, A03301, doi:10.1029/2004JA010585, 2005.
- Vallado, D. A., *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*. Space Technology Library, Microcosm Press, El Segundo, CA., 2001.
- Wertz, J. R., *Mission Geometry; Orbit and Constellation Design and Management*. Space Technology Library, Microcosm Press, El Segundo, CA, 2001.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Abdul Rachman, M.Si
Tempat & Tgl. Lahir : Makassar / 29 Nopember 1974
Jenis Kelamin : Pria
Instansi Pekerjaan : Pusat Sains Antariksa LAPAN
NIP. / NIM. : 19741129.200501.1.003
Pangkat / Gol. Ruang : Penata - III/c
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Muda Bidang Matahari dan Antariksa
Agama : Islam
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 5, Makassar Tahun: 1990 - 1993
STRATA 1 (S.1) : Astronomi ITB Tahun: 1993 - 2000
STRATA 2 (S.2) : Astronomi ITB Tahun: 2010 – 2012

ALAMAT

Alamat Rumah : Jl. Cipedes Tengah Gg. Cipedes VI No. 125A, Bandung
HP. : 081321634214
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Dr. Djunjunan 133, Bandung
Telp. : 022-6012602
Email: abdul@bdg.lapan.go.id, rachmanabd@yahoo.com

HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR

Pertanyaan :

1. Apakah analisis koefisien balistik ini juga sudah dibandingkan dengan yang berbasis b-star? (Mukhayadi)
2. Dapatkah diperkirakan berapa tahun lagi LAPAN Tubsat akan memasuki atmosfer menurut perhitungan anda? (Adi. F)

Jawaban:

1. B-star (B^*) yang bisa didapatkan dari TLE bukanlah parameter yang tepat digunakan untuk menghitung koefisien balistik. Nilainya sangat bervariasi bahkan kadang negatif. Koefisien balistik Lapan-Tubsat yang dihitung dari B^* bernilai puluhan kg/m^2 hingga ratusan ribu kg/m^2 . Karena itu pada dasarnya tidak relevan membandingkan hasil studi ini dengan koefisien balistik berdasarkan B^* .
2. Dengan rata-rata nilai koefisien balistik yang diperoleh dari studi ini yakni 81 kg/m^2 , diperkirakan usia orbit Lapan-Tubsat adalah 25 tahun. Dengan demikian satelit tersebut diperkirakan akan jatuh (reentry) sekitar 20 tahun lagi. Perkiraan ini lebih singkat 25 tahun dibanding studi sebelumnya oleh Djameluddin (2006).