

ANALISIS PERILAKU HAMBATAN ATMOSFER DARI MODEL ATMOSFER DAN DATA SATELIT

Neflia dan Santi Sulistiani

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

ABSTRACTS

Atmospheric drag's behaviour can be shown by atmospheric drag's parameter B^* . By assuming that ballistic coefficient for each satellite is constant, according to atmospheric drag's model SGP-4, B^* depends only on atmospheric density. For each altitudes, B^* , according to satellite data and atmospheric models, has a different behaviour. B^* 's behaviour will resemble the atmospheric density behaviour with the increase of altitudes.

ABSTRAK

Perilaku hambatan atmosfer dapat ditunjukkan dengan salah satu parameter hambatan atmosfer, yaitu B^* . Dengan mengasumsikan bahwa koefisien balistik pada tiap satelit konstan, maka berdasarkan model gangguan atmosfer SGP-4, B^* hanya bergantung pada kerapatan atmosfer. Pada tiap ketinggian, berdasarkan data satelit dan model atmosfer, B^* memiliki perilaku yang berbeda. Perilaku B^* akan menyerupai perilaku kerapatan atmosfer dengan bertambahnya ketinggian.

Kata kunci : *Hambatan atmosfer, B^* , Model atmosfer*

1 PENDAHULUAN

Kajian tentang orbit satelit, khususnya satelit orbit rendah, tidak mungkin terpisah dari kajian tentang gangguan orbit akibat hambatan atmosfer. Berbagai model telah dibuat untuk merepresentasikan hambatan atmosfer. Komponen hambatan atmosfer juga termasuk pada data elemen orbit yang didasarkan pada data pengamatan orbit dan model gangguan orbit SGP-4 (*Simplified General Perturbation* - versi 4). Data pengamatan dalam bentuk TLE (*Two Line Element*) ini akan dikaji dalam menggambarkan perilaku hambatan atmosfer pada berbagai ketinggian.

Penyebab utama dari hambatan atmosfer adalah kerapatan atmosfer. Kerapatan atmosfer atas berubah-ubah akibat interaksi antara struktur molekul atmosfer, radiasi matahari dan geomagnet. Komponen hambatan atmosfer pada model SGP-4 dinyatakan dengan

dengan C_D (koefisien balistik) adalah suatu konstanta, C_D koefisien hambatan, A penampang satelit dan m massa satelit dan p kerapatan atmosfer. Harga B^* terdapat pada TLE yang nilainya tergantung pada ketinggian, aktivitas matahari dan geomagnet. Sementara itu kerapatan atmosfer dapat juga diperoleh dari model, antara lain model Jacchia dan MSIS. Dari model kerapatan atmosfer, p akan dapat juga dihitung B^* pada suatu ketinggian. Untuk memahami perilaku hambatan atmosfer pada berbagai ketinggian data B^* dari pengamatan atmosfer ini akan dibandingkan dengan B^* yang diturunkan dari model. Anomali yang terjadi akan dianalisa untuk memahami kondisi nyata yang tidak terungkap pada model.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku hambatan atmosfer dengan menggunakan parameter hambatan atmosfer (B^*) berdasarkan data TLE satelit dan model kerapatan atmosfer.

$$I \ 2m \ \sqrt{p} \quad (1-1)$$

2 MODEL ATMOSFER

Model atmosfer yang digunakan dalam analisa perilaku hambatan atmosfer ini adalah model Jacchia77 dan model MSIS90. Model Jacchia dan MSIS dibangun berdasarkan perhitungan kerapatan dari pengamatan pada rentang parameter model dan *fitting* akar kuadrat nonlinier pada data kerapatan untuk memperoleh kerapatan.

2.1 Jacchia 77

Model Jacchia merupakan *fitting* dari nilai kerapatan yang diperoleh data orbit satelit sepanjang periode 1961-1970. Semua profil temperatur Jacchia dimulai pada nilai konstan $T_{\infty}=188K$ pada ketinggian $z_{\infty}=90km$ dengan gradien $G_{\infty}=(d^{\circ}/)$, kemudian meningkat pada titik balik matahari pada ketinggian $z_{\infty}=125 km$, dan menjadi asimptotik pada temperatur T_{∞} (sering disebut dengan temperatur exosferik). Baik temperatur T_{∞} , dan gradien temperatur $G_{\infty}=(d^{\circ}/z)$

pada titik balik matahari merupakan fungsi dari T_c . Profil temperatur terbagi menjadi dua daerah ketinggian, yaitu di bawah 125 km dan di atas 125 km:

$$z > z_x$$

$$T = T_x + \frac{(T_x - T_0)}{\pi^2} \tan^{-1} \left\{ \frac{G_x}{(T_x - T_0) \pi^2} (z - z_x) \left[1 + 1.7 \left(\frac{z - z_x}{z - z_0} \right)^2 \right] \right\} \quad (2-1)$$

$$z > z_x$$

$$T = T_x + \frac{(T_w - T_x)}{\pi^2} \tan^{-1} \left\{ \frac{G_x}{(T_x - T_0) \pi^2} (z - z_x) \left[1 + 1.55 \times 10^4 (z - z_x)^2 \right] \right\} \quad (2-2)$$

Atmosfer diasumsikan disusun hanya oleh nitrogen, Oksigen, argon, helium dan hydrogen. Untuk menentukan massa molekular rata-rata pada ketinggian permukaan laut digunakan asumsi komposisi pada ketinggian permukaan laut dari atmosfer standar US, 1962 (COESA, 1962).

Komposisi atmosfer pada model Jacchia 77 terbagi menjadi dua daerah ketinggian, yaitu kondisi bercampur pada ketinggian di bawah 100 km dan kondisi difusi pada ketinggian di atas 100 km.

Kerapatan tlap unsur pada ketinggian di bawah 100 km untuk unsur N₂, Ar dan He ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$n(i) = q_0(i) \frac{\bar{M}'}{M_0} \quad (2-3)$$

Dan untuk unsur O dan O₂ menggunakan persamaan:

$$n(O) = 2N \left(1 - \frac{\bar{M}'}{M_0} \right) \log^{-1} \left\{ -0.24 \left[-0.009 \exp(z - 97.7) \right] \right\} \quad (2-4)$$

$$n(O) = N \left\{ \frac{\bar{M}'}{M_0} \left[1 + q_0(O_2) \right] - 1 \right\} \log^{-1} \left\{ -0.07 \left[1 + \tanh(0.18(z - 97.7)) \right] \right\} \quad (2-5)$$

sedangkan kerapatan unsur atmosfer pada ketinggian di atas 100 km ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{dn(i)}{n(i)} + \frac{dT}{T} (1 + \alpha_i) + \frac{dz}{H_i} + \frac{\Phi_i dz}{D n(i)} = 0 \quad (2-6)$$

Dengan $q_0(i)$ volume fraksi unsur, M massa molekular rata-rata, M_a massa molekular pada ketinggian permukaan laut, a , koefisien difusi termal, Φ , fluks vertikal unsur i dan D koefisien difusi mutual.

Pada model ini juga mencakup beberapa tipe variasi yang dikenali pada daerah atmosfer. Variasi ini merupakan penyebab semua ketidakberaturan yang terjadi di atmosfer. Variasi ini dapat dikelompokkan sebagai (Jacchia, 1977); variasi dengan aktivitas matahari

- variasi harian atau diurnal;
- variasi dengan aktivitas geomagnet;
- variasi seasonal-latitudinal;
- variasi semiannual.

2.2 MSIS90

Pada termosfer, model MSIS merupakan *fitting* akar kuadrat nonlinier dari kumpulan data yang terutama terdiri dari nilai kerapatan unsur dan data temperatur, yang diperoleh dari data satelit dan stasiun bumi. Periode data yang digunakan yaitu sepanjang dua siklus matahari yang diawali pada tahun 1983.

Tabel 2-1: SATELIT YANG DIGUNAKAN DALAM ANALISIS [iWWW.SPACETRACK.ORG](http://www.SPACETRACK.ORG)

Catalog Number	Common Name	International Designator	Country Key	Launch Date	Launch Site Key	Decay Date	Inclination	Apogee	Perigee
21987	EUVE	1992-031A	US	07/06/1992	AFETR	31/01/2002	28,43	141	137
23857	Reposax	1986-027A	IT	30/04/1986	AFETR	29/4/2003	3,95	169	169

Seperti halnya pada model Jacchia, model MSiS mengasumsikan atmosfer disusun atas nitrogen, oksigen, argon, helium dan hydrogen yang diambil berdasarkan model atmosfer standar US. Kondisi atmosfer pada model ini dibagi menjadi dua daerah ketinggian, yaitu di bawah 116,5 km (dalam keadaan bercampur) dan di atas 116,5 km (dalam keadaan difusi). Nilai batas 116,5 km ini diperoleh dari hasil *fitting* data pengamatan.

Kerapatan atmosfer dan number density pada model MSIS ditentukan menggunakan fasilitas program *online* yang telah tersedia (www.modelweb.gsfc.nasa.com).

3 DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam menentukan kerapatan atmosfer seperti indeks aktivitas matahari, F10.7 dan indeks aktivitas geomagnetic, Ap diperoleh dari www.celestrak.com. Sedangkan data TLE satelit diperoleh dari www.space-track.org. Dari data TLE dapat diketahui perilaku B* selama satelit tersebut mengorbit.

Analisis data yang digunakan yaitu dengan analisis grafis B* yang diperoleh dengan menggunakan data TLE satelit dan B* yang diperoleh dengan menggunakan persamaan berdasarkan model SGP-4 dengan menggunakan kerapatan atmosfer dari model atmosfer dan koefisien yang diasumsikan.

Data yang digunakan

- Model atmosfer
 - o $F_{10.7}$ harian dari tahun 1990 - 2005
 - o A_p harian dari tahun 1990 - 2005
 - o $F_{10.7ct}$ -harian dari tahun 1990 - 2005
 - o Lintang geografis :0
 - o Bujur geografis :109

oUT : 5

- Data TLE

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perilaku hambatan atmosfer ditunjukkan dengan plot data B* dan kerapatan atmosfer yang dihitung dengan menggunakan model Jacchia77 dan MSIS90 B* merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam data TLE. Biasanya B* digunakan untuk analisis hambatan atmosfer berdasarkan model SGP-4. Dengan mengasumsikan bahwa nilai koefisien balistik konstan dan berdasarkan persamaan model gangguan SGP-4 (persamaan 1-1) diperoleh bahwa perilaku B* hanya dipengaruhi oleh kerapatan atmosfer. Data yang digunakan dalam penentuan B* pada suatu ketinggian disesuaikan dengan data TLE satelit pada rentang ketinggian yang diinginkan. Jumlah data TLE yang digunakan pada setiap ketinggian bervariasi. Hal ini disebabkan oleh lamanya satelit itu berada pada ketinggian tersebut. Kerapatan atmosfer yang dihitung dengan menggunakan model atmosfer diperoleh dengan menggunakan data *fluks* matahari dan indeks aktivitas geomagnet. Perhitungan kerapatan atmosfer ini dilakukan harian.

Perilaku B* dan kerapatan atmosfer dapat ditunjukkan pada Gambar 4-1 s.d 4-4 pada ketinggian 200 km, 300 km, 400 km dan 500 km untuk melihat korelasi antara data TLE (B*) dan kerapatan atmosfer model.

Pada Gambar 4-1 terlihat bahwa tidak ada korelasi antara kerapatan atmosfer model dengan B*. Bahkan pada ketinggian ini profil dari kerapatan atmosfer model Jacchia memiliki perbedaan dengan kerapatan atmosfer MSIS90. Pada ketinggian ini, satelit sangat

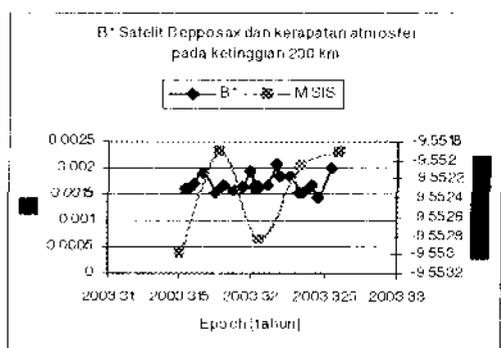
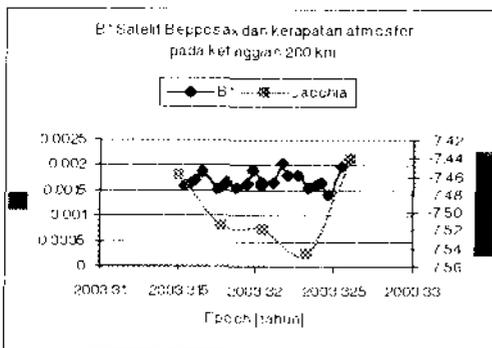
cepat meluruh. Satelit berada pada ketinggian ini tidak lama, hanya merentang dalam beberapa hari. Bahkan pada satelit Bepposax, satelit berada pada ketinggian ini hanya selama 5 hari, sedangkan pada satelit EUVE, satelit berada pada ketinggian ini selama 10 hari. Selain itu jumlah data baik data satelit maupun data kerapatan atmosfer yang digunakan dalam analisis ini berbeda. Jumlah data profil B* lebih banyak dibandingkan data kerapatan atmosfer model. Perhitungan kerapatan atmosfer dilakukan dengan menggunakan data harian, sedangkan data TLE satelit diperoleh 2 hingga 3 data dalam sehari. Hal ini juga menyebabkan perbedaan yang terjadi pada profil kerapatan atmosfer dan B*.

Pada Gambar 4-2 terlihat bahwa profil kerapatan atmosfer model sudah hampir menyerupai profil B*, walaupun perubahan yang terjadi pada profil B* dan kerapatan atmosfer model tidak sama. Pada ketinggian ini profil kerapatan atmosfer model MSIS90 lebih menyerupai

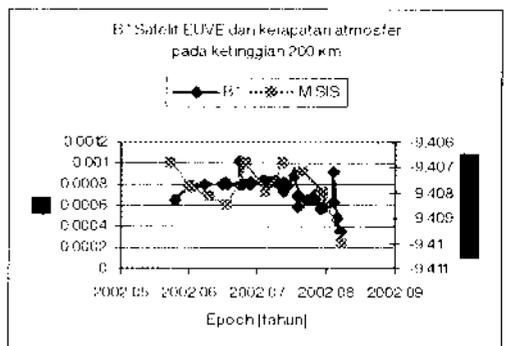
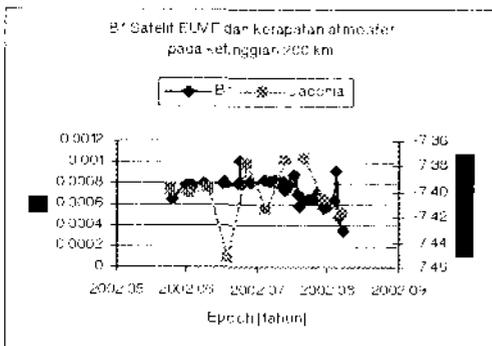
profil B*, sedangkan profil kerapatan atmosfer Jacchia memiliki fluktuasi yang lebih besar antara satu waktu ke waktu yang lainnya. Perbedaan fluktuasi pada kerapatan atmosfer model mungkin disebabkan oleh keterbatasan masing-masing model.

Profil perilaku B* menyerupai kerapatan atmosfer model, baik yang menggunakan model Jacchia dan MSIS90 terlihat pada Gambar 4-3 dan 4-4, yaitu pada ketinggian 400 km dan 500 km, terutama pada ketinggian 500 km. Pada ketinggian 400 km masih terlihat adanya perbedaan akibat terjadinya penurunan kerapatan atmosfer model yang lebih besar dibandingkan dengan penurunan B* pada satelit Bepposax, walaupun pola perubahannya sama. Sedangkan pada ketinggian 500 km, baik pola perubahan B* maupun pola perubahan kerapatan atmosfer model hampir sama. Secara keseluruhan, pola perubahan B* akan menyerupai pola perubahan kerapatan atmosfer dengan bertambahnya ketinggian.

Satelit Bepposax pada ketinggian 200 km

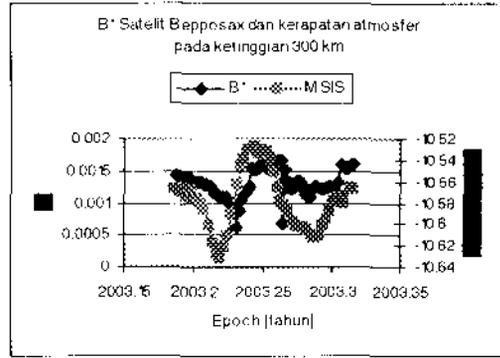
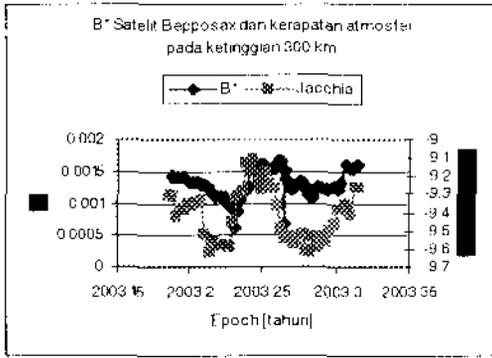


Satelit Euve pada ketinggian 200 km

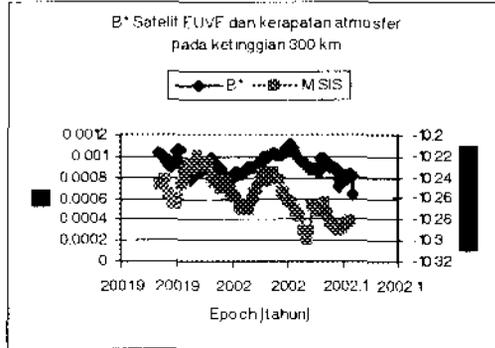
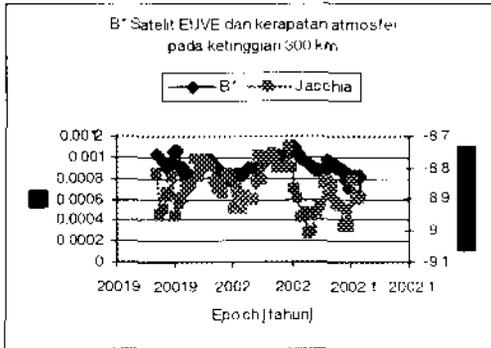


Gambar 4-1:1 lubuni<an antara B* dengan model almoslcr pada ki.'ting^ian 200 km untuk satelit Bepposax dan Euvc

Satelit Bepposax pada ketinggian 300 km

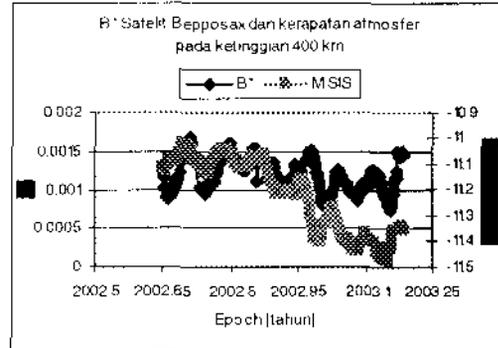
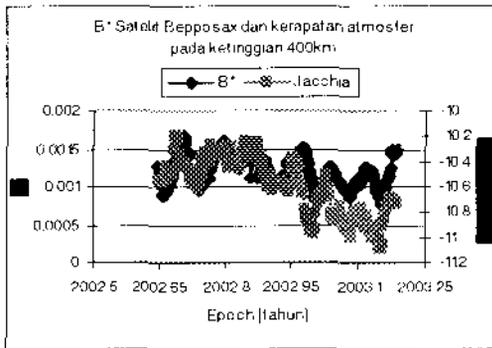


Satelit Euvé pada ketinggian 300 km

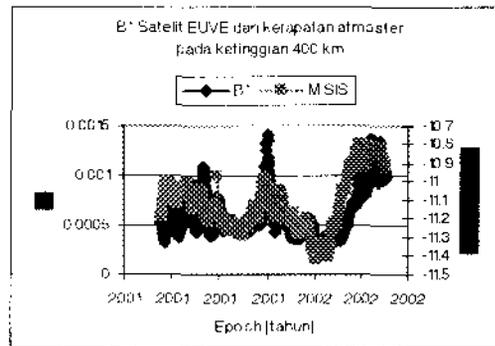
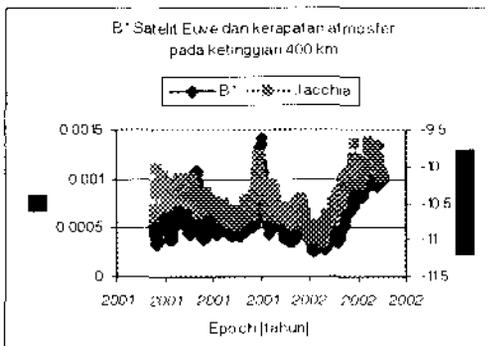


Gambar 4-2: Hubungan antara B* dengan model atmosfer pada ketinggian 300 km untuk satelit Bepposax dan Euvé

Satelit Bepposax pada ketinggian 400 km

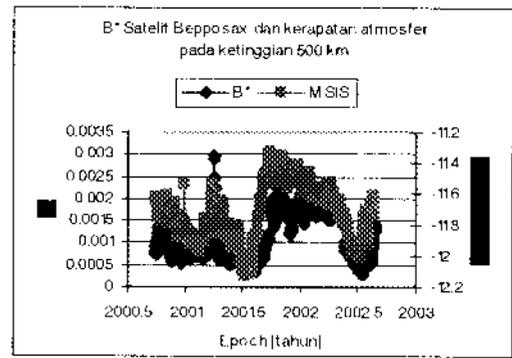
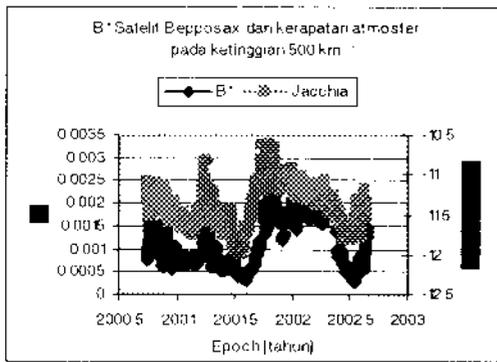


Satelit Euvé pada ketinggian 400 km

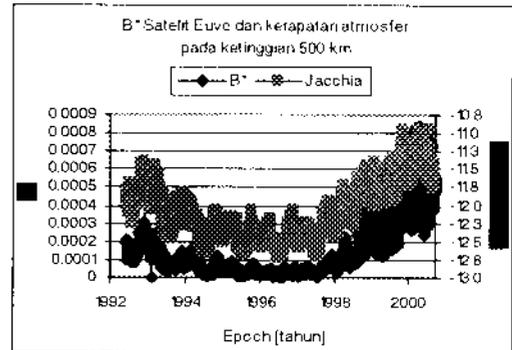
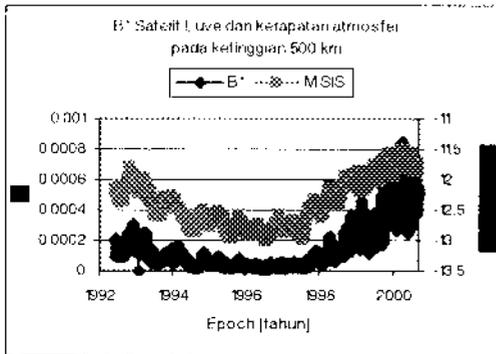


Gambar 4-3: Hubungan antara B* dengan model atmosfer pada ketinggian 400 km untuk satelit Bepposax dan Euvé

Satelit BeppoSax pada ketinggian 500 krrri



Satelit Euve pada ketinggian 500 km



Gambar 4-4: Hubungan antara B* dengan model atmosfer pada ketinggian 500 km untuk satelit BeppoSax dan Euve

5 KESIMPULAN

Perilaku hambatan atmosfer terhadap ketinggian yang diperoleh dari hasil analisis graiik B* dan kerapatan atmosfer menunjukkan bahwa pada ketinggian rendah, terutama di bawah 300 km, kedua parameter tersebut tidak memiliki korelasi yang baik. Akan tetapi dengan pertambahan ketinggian perilaku B* akan menyerupai perilaku kerapatan atmosfer.

DAFTAR RUJUKAN

- Jacchia, L. G., 1977. *Thermospheric Temperature, Density, and Composition: New Models*, Smithsonian Astrophysical Observatory, provided by NASA Astrophysical Data System.
- www.celestrak.com
- <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/models/msis.html>
- www.space-track.com