

# ANALISIS PENGARUH PERISTIWA MATAHARI YANG KUAT PADA PENURUNAN KETINGGIAN ORBIT STASIUN RUANG ANGKASA ISS

WILSON SINAMBELA, NIZAM AHMAD

Bidang Matahari dan Antariksa  
Pusat Pemanfaatan Sains dan Antariksa-LAPAN  
e-mail:wilson@bdg.lapan.go.id

**ABSTRAK.** Analisis pengaruh flare matahari yang kuat pada penurunan ketinggian orbit wahana antariksa (ISS) dilakukan dengan menghitung seberapa besar penurunan ketinggian orbit ISS pada tanggal 24 Juli 2000 dan kemudian menghitung besar pengaruh kerapatan proton serta indeks radiasi F10,7 terhadap orbit ISS selama bulan Juli 2000. Orbit ISS mengalami penurunan ketinggian sebesar 20 km. Analisis melalui fluks radiasi memperlihatkan peningkatan nilai indeks mencapai orde 220 dan berpengaruh langsung pada penurunan orbit ISS. Peningkatan kerapatan proton pada bulan Juli 2000 mencapai orde maksimum 38 N/cm<sup>3</sup> dan diperkirakan berpengaruh secara tidak langsung pada penurunan orbit ISS.

**ABSTRACT.** *The analysis of strong solar flare impact on International Space Station (ISS) orbit degradation was done by calculating how much that degradation on July 24, 2000 and then calculating the impact of proton density and radiation flux on ISS orbit during July 2000. ISS orbit lost its height until 20 km. The analysis on solar flux radiation gives information about its enhancement until magnitude 220 which directly indicate the cause of ISS orbit degradation. During July 2000 also can be seen that proton density was increased by magnitude 38 N/cm<sup>3</sup> and influenced the ISS orbit degradation indirectly.*

**KATA KUNCI:** Aktivitas matahari, kerapatan atmosfer, orbit ISS.

**KEY WORDS:** Solar activity, atmospheric density, ISS orbit.

## 1. Pendahuluan

Sejak permulaan 1959, para ahli ilmu pengetahuan mulai memperhatikan suatu hubungan antara aktivitas matahari yang kuat dan penambahan hambatan atmosfer pada satelit-satelit yang mengorbit. Beberapa para ahli ilmu pengetahuan mulai mengkaitkan hambatan (*drag*) yang meningkat pada penambahan kerapatan atmosfer di ketinggian yang tinggi (Jacchia, 1959). Sejak waktu itu, para fisikawan, teknisi, dan para ilmu pengetahuan lain dengan tekun berusaha untuk memahami dan memodelkan interaksi ini.

### 1.1. Dasar Fisis

Aktivitas matahari berupa *flare* dan lontaran massa korona (*coronal mass ejection/ CME*) menyemburkan sejumlah radiasi dan massa yang besar yang berasal dari partikel proton dan partikel bermuatan lainnya seperti elektron dengan kecepatan antara 300-400 km/det menuju Bumi. Pada kecepatan tersebut massa yang terhambur dari matahari tadi membutuhkan waktu 2 hingga 4 hari untuk mencapai orbit bumi. Jika partikel bermuatan tadi mencapai bumi, akan memulai serangkaian interaksi yang kompleks dengan magnetosfer bumi. Karena partikel proton matahari dan partikel bermuatan lainnya mempunyai muatan listrik, partikel tersebut akan dipengaruhi dan sekaligus diarahkan oleh medan magnet sekitar bumi. Sebagian dari partikel-partikel bermuatan terperangkap dalam medan magnet dan pada gilirannya diarahkan kembali menuju magnetosfer yang berlawanan dengan arah matahari (*anti-sunward*). Dalam lapisan magnetosfer yang disebut *magnetotail*, partikel-partikel terbawa sepanjang garis-garis gaya medan magnet dan kemudian dipercepat menuju bumi dan kemudian masuk ke atmosfer pada daerah sekitar kutub utara dan selatan bumi. Partikel-partikel bermuatan yang bergerak melintasi medan magnet menyebabkan medan listrik, yang pada gilirannya menciptakan pemanasan *Joule* (*Joule heating*) di atmosfer atas (Hedin and Mayr, 1987). Energi mulai tercipta di atmosfer pada daerah lintang tinggi yang dikenal sebagai *aurora*. Energi dari hasil pemanasan *Joule* ini lebih lanjut dapat merambat masuk hingga mencapai atmosfer di lintang rendah. Untuk peristiwa aktivitas matahari yang tinggi, energi yang tercipta di atmosfer atas dapat merambat ke suatu lintang yang biasa ditempati oleh satelit-satelit orbit rendah bumi.

Beberapa jenis gangguan akan terjadi selama infusi energi dan partikel-partikel bermuatan ke dalam atmosfer atas, tetapi salah satu yang terpenting dalam penyelidikan ini adalah ekspansi termosfer. Pemanasan Joule dan interaksi lain antara partikel-partikel bermuatan dan ionosfer bumi menyebabkan atmosfer atas berekspansi (Hedin and Mayr, 1987). Ekspansi atmosfer ini bisa terjadi secara tiba-tiba dan secara drastis sehingga menyebabkan penambahan kerapatan yang besarnya beberapa kali dari pada keadaan atmosfer biasa pada suatu ketinggian tertentu dalam hitungan jam. Ketika ekspansi atmosfer awal terjadi secara tiba-tiba, maka gangguan pada atmosfer bisa memakan waktu sekitar 1-4 hari (Jacchia, 1964).

## 1.2. Pemodelan Gangguan

Para ilmuwan telah berupaya memahami teori yang melatarbelakangi interaksi matahari-bumi selama 40 tahun termasuk kemampuan untuk membuat model komputasi efek langsung terhadap kerapatan atmosfer pada suatu ketinggian melalui data dari satelit. Salah satu dari model yang lebih populer yang mencoba menghitung kerapatan atmosfer pada suatu kondisi aktivitas matahari yang diberikan adalah Model *Mass Spectrometer Incoherent Scatter (MSIS)*. Model ini pertama kali diciptakan oleh Alan E. Hedin tahun 1977. Sejak tahun 1977 model telah beberapa kali mengalami revisi dan revisi model yang sangat menonjol adalah pada 1983, 1986, 1990, dan tahun 2000. Revisi yang terbaru yaitu NRLMSISE00 telah dikembangkan oleh Naval Research Laboratory dan masih mengalami pengujian dan verifikasi. Oleh sebab itu analisis ini masih menggunakan model MSISE 90 (<http://spot.colorado.edu/~forbes/msis.html>) yang digunakan untuk mengetahui kerapatan dan fluks radiasi F10,7 pada suatu waktu tertentu.

Besarnya nilai kerapatan dan fluks radiasi F10,7 dari model MSISE 90 ini digunakan sebagai masukan untuk menghitung besarnya laju penurunan ketinggian suatu wahana antariksa yang mengorbit di ketinggian orbit rendah bumi karena laju penurunan ketinggian ini terkait erat dengan besarnya gaya hambatan di atmosfer akibat ekspansi atmosfer (*atmospheric drag*).

Bila suatu wahana antariksa yang bergerak melalui atmosfer mengalami suatu gaya hambatan yang arahnya berlawanan dengan gerak orbitnya maka akan terjadi semacam hambatan pada gerak wahana tersebut. Besarnya gaya hambatan atmosfer pada satelit dapat dilihat melalui persamaan 1-1 (Montenbruck and Gill, 2001)

$$F_D = ma_s = \frac{1}{2} \rho C_D A_r V_s^2 \quad (1-1)$$

Dalam hal ini  $m$  adalah massa satelit,  $a_s$  adalah laju penurunan percepatan satelit akibat hambatan atmosfer,  $\rho$  adalah kerapatan atmosfer pada ketinggian orbit satelit,  $C_D$  adalah koefisien hambatan (tanpa dimensi),  $A_r$  adalah luas penampang efektif satelit, dan  $V_s$  adalah kecepatan satelit mengorbit relatif terhadap kecepatan atmosfer. Persamaan 1-1 menghasilkan persamaan laju penurunan percepatan satelit seperti yang terlihat pada persamaan 1-2 (Boden, 1991)

$$a_s = -\frac{1}{2} \rho \left( \frac{C_D A_r}{m} \right) (V_s)^2 \quad (1-2)$$

Adapun kecepatan wahana antariksa ( $V_s$ ) yang pada umumnya berbentuk lingkaran dapat dihitung melalui persamaan 1-3.

$$V_s = \frac{2\pi R}{T} \quad (1-3)$$

Dengan  $R$  adalah jarak satelit ke pusat Bumi dan  $T$  adalah perioda satelit.

Suku ke-2 dalam persamaan 1-2 disebut juga koefisien balistik  $B$  yang didefinisikan sebagai hasil perbandingan dari perkalian koefisien hambatan atmosfer ( $C_D$ ) dengan luas

penampang satelit ( $A_r$ ) terhadap masa satelit ( $m$ ) yang dinyatakan kembali melalui persamaan 1-4.

$$B = \frac{C_D A_r}{m} \tag{1-4}$$

Koefisien balistik ini kemudian diturunkan kembali menjadi koefisien balistik bintang ( $B^*$ ) yang didefinisikan sebagai setengah dari hasil perkalian koefisien balistik ( $B$ ) dan kerapatan atmosfer di atas permukaan laut ( $\rho_o$ ) yang dapat dilihat pada persamaan 1-5.

$$B^* = \frac{B \rho_o}{2} \tag{1-5}$$

Dengan demikian koefisien balistik dalam persamaan (1-4) dapat dimodifikasi menjadi persamaan koefisien balistik harian melalui persamaan 1-6.

$$B_i = \frac{2B_i^*}{\rho_o R_E} \tag{1-6}$$

Dengan  $i$  menyatakan hari ke 1, 2, 3 ..., 365,  $R_E$  adalah radius bumi (6378,136 km),  $\rho_o$  adalah kerapatan atmosfer diatas permukaan laut ( $1,22 \times 10^{-3}$  gr/cm<sup>3</sup>).

Telah diketahui dengan baik bahwa kerapatan atmosfer sangat dikendalikan oleh pemanasan atmosfer yang bersal dari radiasi EUV matahari dan pemanasan Joule ( $J \times B$ ) terkait dengan peningkatan arus geomagnetik lokal. Radiasi EUV matahari adalah kontributor terbesar terhadap pemanasan atmosfer atas. Dengan demikian variasi hambatan pada gerak satelit pada umumnya disebabkan oleh pengaruh aktivitas matahari. Meskipun demikian, selama interval gangguan geomagnetik kuat, pemanasan Joule memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemanasan atmosfer (Knipp *et al.*, 2004). Rhoden *et al.* (2000) mendapatkan bahwa kerapatan atmosfer bertambah sebesar 134% akibat peningkatan ekstrim aktivitas matahari yang menyebabkan hambatan atmosfer bertambah secara signifikan selama kondisi badai geomagnetik ekstrim.

**Tabel 2.1.** Data peluncuran wahana ISS

Catalog number	Common Name	Country	Launch Date	Launch Site	Period	Incl	Apogee	Perigee
25544	ISS (Zarya)	ISS	1998-11-20	TTMTR	91,37	51,64	346	338

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak aktivitas matahari yang kuat terhadap penurunan ketinggian orbit wahana antariksa internasional (*International Space Station – ISS*) yang merupakan laboratorium terbesar di angkasa saat ini dan merupakan kolaborasi penelitian multi bidang dalam kondisi gravitasi mikro dari banyak negara. Harapan penelitian ini adalah diperolehnya suatu analisis pengaruh langsung dan tidak langsung aktivitas matahari pada penurunan ketinggian orbit suatu wahana antariksa yang dalam hal ini diwakili oleh wahana ISS.

## 2. Data dan Metoda

### 2.1. Data

Data yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari data orbit ISS yang diperoleh melalui situs [www.space-track.org](http://www.space-track.org). Wahana ISS ditempatkan pada ketinggian orbit rendah (LEO) yaitu sekitar 340 km dari permukaan bumi dan mengelilingi bumi sebanyak 15 kali dalam sehari dengan periode 1 jam 30 menit. Secara umum, data peluncuran wahana ISS ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Wahana ISS ditempatkan pada kemiringan orbit  $51,4^\circ$  dari ekuator bumi dan memiliki ketinggian terdekat dan terjauh dari permukaan bumi sekitar 338 km dan 346 km secara berurutan. Selain data orbit wahana ISS, analisis ini juga menggunakan data parameter cuaca antariksa yang diperoleh dari situs <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> pada bulan Juli tahun 2000, yaitu pada saat terjadi peningkatan aktivitas matahari. Format data parameter cuaca antariksa ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Format data parameter cuaca antariksa

Waktu			Kerapatan Proton ( $N/cm^3$ )	Bilangan sunspot	F10,7
Tahun	Hari	Jam			
2000	182	0	2,8	114	165
2000	182	1	2,7	114	165
2000	182	2	2,8	114	165
2000	182	3	3	114	165
2000	182	4	3	114	165
2000	182	5	3	114	165
2000	182	6	3,1	114	165
2000	182	7	3,1	114	165
2000	182	8	3,1	114	165
2000	182	9	2,9	114	165
2000	182	10	3,1	114	165
2000	182	11	3,2	114	165
2000	182	12	3,3	114	165
2000	182	13	3,2	114	165
2000	182	14	3,4	114	165
2000	182	15	3,4	114	165
2000	182	16	3,1	114	165
...	...	...	...	...	...

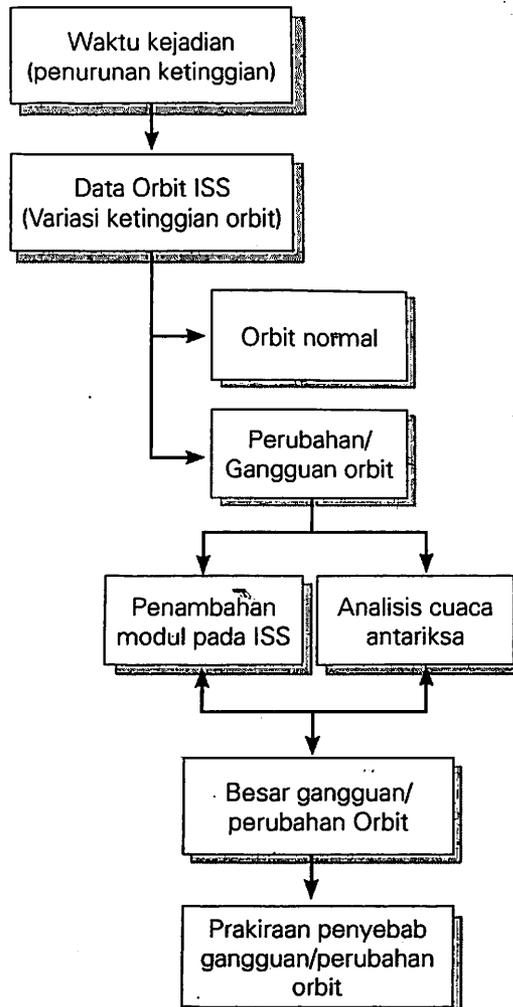
Pemilihan parameter seperti kerapatan proton bertujuan untuk menganalisis penurunan ketinggian orbit wahana ISS akibat hambatan atmosfer. Bilangan sunspot

dan indeks F10,7 digunakan untuk analisis tingkat aktivitas matahari pada suatu waktu tertentu.

## 2.2. Metoda

Pada bulan Juli tahun 2000, ISS mengalami penurunan ketinggian sekitar 15-22 km (Hammons, 2001). Untuk menganalisis penurunan ketinggian orbit wahana ISS pada saat peningkatan aktivitas matahari tinggi dilakukan dengan cara meninjau perubahan orbit ISS setelah penambahan modul Zvezda yang diluncurkan pada tanggal 12 Juli 2000 dan melakukan proses penyatuan dengan ISS Zarya (*docking*) pada tanggal 26 Juli 2000 ([http://en.wikipedia.org/wiki/Zvezda\\_\(ISS\\_module\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Zvezda_(ISS_module))). Selain meninjau dampak penambahan modul terhadap ketinggian ISS, dilakukan juga tinjauan kemungkinan dampak manuver orbit ISS beberapa kali dalam setahun. Orbit ISS mengalami penurunan ketinggian sekitar 2 km setiap bulannya. Melihat penurunan bulan Juli tahun 2000 sekitar 20 km, sangat kecil kemungkinan penurunan ini akibat manuver orbit. Selain itu manuver orbit yang dilakukan pada ISS biasanya untuk menambah ketinggian akibat hambatan atmosfer. Analisis kemudian meninjau profil ketinggian orbit wahana ISS pada saat terjadi peningkatan aktivitas matahari yaitu pada bulan Juli tahun 2000. Profil ketinggian orbit wahana pada bulan Juli nantinya akan memperlihatkan besar penurunan ketinggian dalam satuan km. Analisis parameter cuaca antariksa digunakan untuk melihat penyebab utama penurunan ketinggian orbit wahana ISS melalui profil masing-masing parameter tersebut. Dengan mengintegrasikan analisis profil penurunan ketinggian orbit wahana ISS dan variasi parameter cuaca antariksa, maka penyebab utama penurunan ketinggian orbit wahana ISS dapat diperkirakan dengan baik. Metoda analisis ini dapat digambarkan dalam diagram pada Gambar 2.1.

Diagram pada Gambar 2.1 menjelaskan bagaimana menganalisis penurunan ketinggian wahana ISS yang diperkirakan disebabkan oleh cuaca antariksa. Laporan penurunan ketinggian orbit wahana ISS merupakan titik acuan dalam menganalisis kejadian. Dari laporan ini akan dilihat profil ketinggian orbit ISS melalui data *Two Line Element* (TLE) yang berisi informasi beberapa parameter orbit wahana tersebut. Profil ini sekaligus memperlihatkan variasi ketinggian orbit ISS dalam selang waktu analisis, yaitu dari tanggal 1 hingga 31 Juli tahun 2000. Dalam selang waktu ini, profil ketinggian orbit akan memperlihatkan orbit ISS dalam keadaan normal dalam arti sebelum mengalami gangguan untuk kemudian dibandingkan dengan orbit ISS ketika mengalami gangguan. Perbedaan dua kondisi orbit tersebut secara langsung menyatakan besarnya gangguan berupa penurunan ketinggian orbit wahana ISS tersebut. Dalam metode ini, analisis parameter cuaca antariksa dilakukan untuk melihat sumber gangguan yang menyebabkan penurunan ketinggian orbit wahana ISS. Analisis parameter cuaca antariksa ini juga dilakukan pada selang waktu yang sama dengan melihat profil beberapa parameter cuaca antariksa pada saat orbit ISS sebelum dan sesudah mengalami gangguan. Dengan memadukan analisis besar gangguan orbit dan peningkatan nilai pada beberapa parameter cuaca antariksa dapat diperkirakan penyebab dan besar gangguan cuaca antariksa terhadap orbit wahana ISS tersebut.

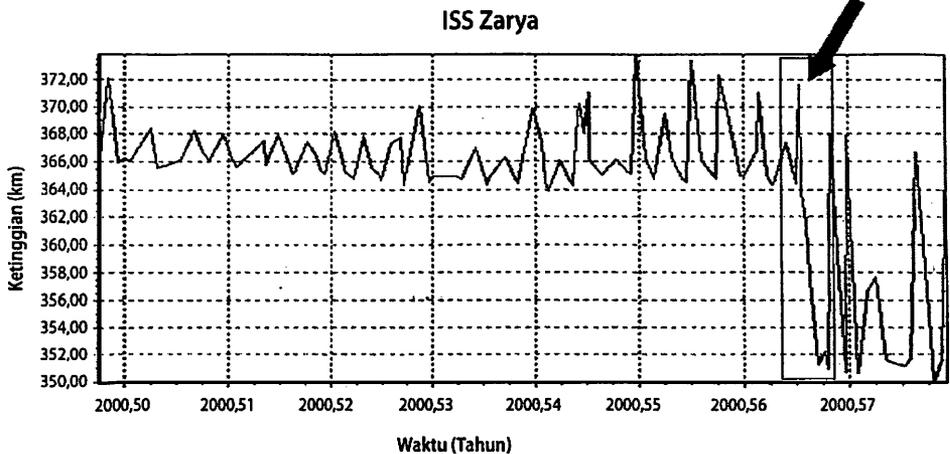


**Gambar 2.1.** Diagram metoda analisis penurunan ketinggian wahana ISS akibat cuaca antariksa.

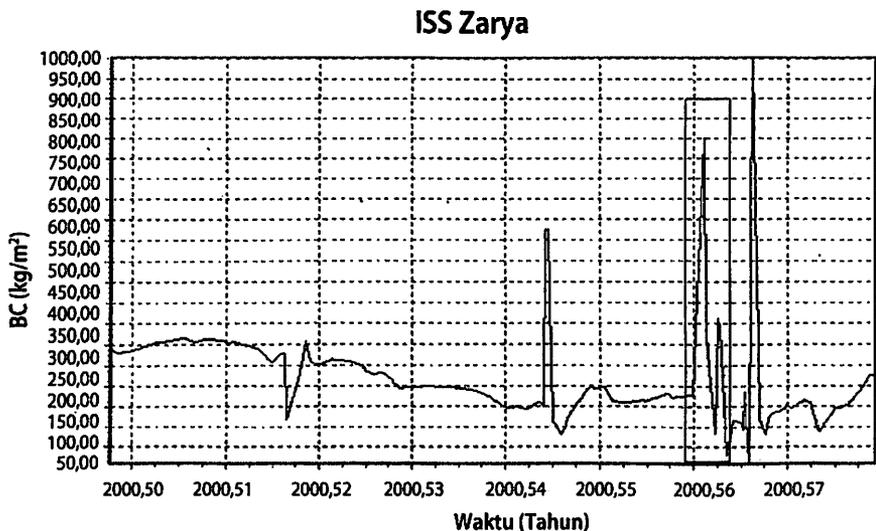
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada tanggal 14 dan 22 Juli tahun 2000 terjadi peningkatan aktivitas matahari melalui *flare* ([www.umbra.nascom.nasa.gov](http://www.umbra.nascom.nasa.gov)) yang diduga berpengaruh pada penurunan ketinggian orbit wahana ISS. Penurunan ini bukan disebabkan oleh adanya manuver orbit dan penambahan modul Zvezda pada ISS karena penyatuan modul (*docking*) ini terjadi setelah dua hari setelah ISS mengalami penurunan ketinggian, yaitu pada tanggal 26 Juli 2000. Analisis berikutnya menggunakan data TLE wahana ISS yang diperoleh dari situs [www.space-track.org](http://www.space-track.org) untuk melihat profil ketinggian selama bulan Juli 2000 seperti pada Gambar 3.1.

Pada Gambar 3.1 tanda panah memperlihatkan waktu ketika ISS mulai mengalami penurunan ketinggian orbit. Penurunan ini terjadi pada hari ke-24 di bulan Juli tahun 2000 sebesar sekitar 20 km. Pada hari berikutnya terlihat bahwa orbit ISS mengalami fluktuasi ketinggian orbit yang sangat tinggi yang mengindikasikan bahwa orbit ISS mengalami gangguan selama beberapa hari. Koefisien balistik yang menyatakan besar pengaruh fisik satelit yang terkena pengaruh langsung dari kenaikan kerapatan atmosfer akibat peningkatan aktivitas matahari mengalami lonjakan yang drastis pada saat tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



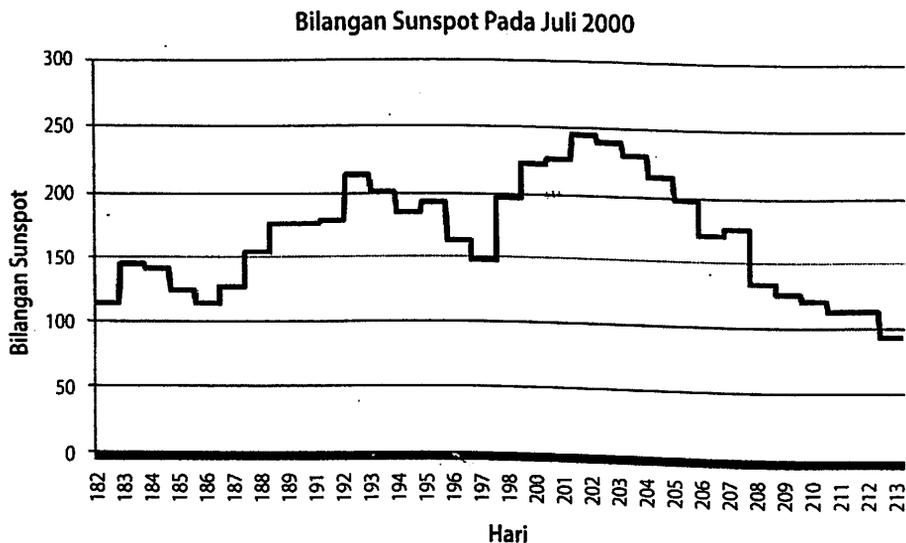
**Gambar 3.1.** Ketinggian orbit wahana ISS pada Juli 2000



**Gambar 3.2.** Peningkatan koefisien balistik wahana ISS pada Juli 2000

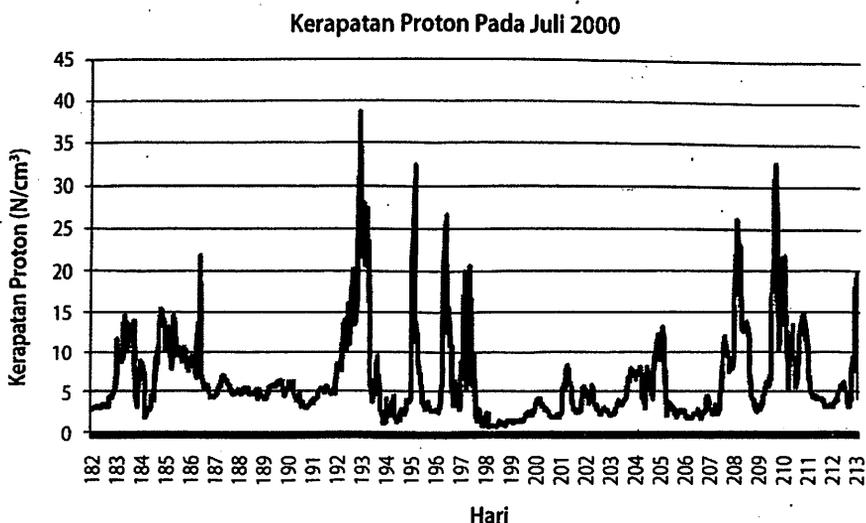
Lonjakan koefisien balistik ini juga terjadi dalam waktu beberapa hari setelah kejadian sehingga dapat diduga bahwa peningkatan kerapatan atmosfer pada ketinggian

wahana ISS juga berlangsung selama beberapa hari. Penurunan mendadak pada ketinggian orbit ISS ini juga akan melihat perubahan pada beberapa parameter seperti bilangan sunspot, kerapatan proton dan indeks fluks radiasi F10,7 yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 hingga Gambar 3.5.



**Gambar 3.3.** Variasi bilangan sunspot pada bulan Juli tahun 2000

Pada awal dan akhir bulan Juli bilangan sunspot rata-rata berkisar pada orde  $10^2$ . Nilai tertinggi pada bulan tersebut terjadi pada tanggal 20 Juli tahun 2000 (hari ke-201) dengan bilangan sunspot hampir mencapai 250. Bilangan sunspot menjadi indikator terhadap peningkatan aktivitas matahari yang dapat mempengaruhi kerapatan atmosfer bumi. Besarnya pengaruh ini salah satunya dilihat melalui nilai kerapatan proton di atmosfer seperti pada Gambar 3.4.

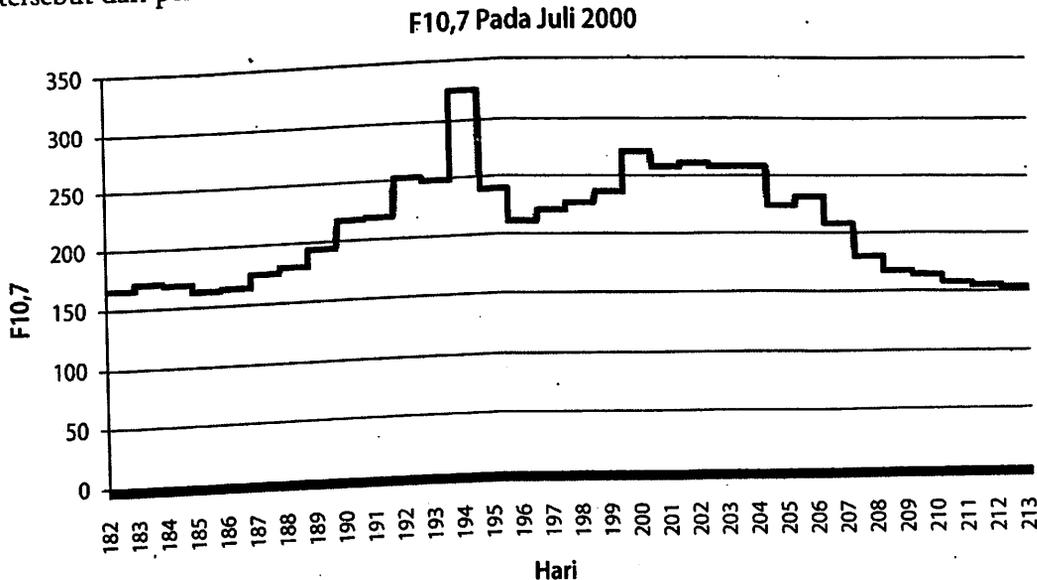


**Gambar 3.4.** Variasi kerapatan proton pada bulan Juli tahun 2000

Pada Gambar 3.4 peningkatan kerapatan proton telah terjadi bukan pada saat bilangan sunspot maksimum di bulan Juli melainkan terjadi pada hari ke-192 yaitu sekitar tanggal 11 Juli tahun 2000. Bila dilihat bilangan sunspot pada saat tersebut adalah sekitar 220. Pada tanggal 24 Juli 2000 yang bertepatan dengan penurunan ketinggian orbit wahana ISS bernilai rendah yaitu sekitar  $13 \text{ N/cm}^3$ . Bila dilihat nilai sebesar ini sangat kecil kemungkinan penurunan ketinggian disebabkan oleh kerapatan proton. Namun analisis lanjut perlu dilakukan pada parameter fluks radiasi F10,7 seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa rata-rata F10,7 pada bulan Juli bernilai tinggi dengan orde diatas 150. Pada tanggal 24 Juli 2000 (hari ke-205) nilai indeks F10,7 mencapai 230. Nilai indeks sebesar ini telah dapat menimbulkan pengaruh pada ketinggian orbit suatu wahana anatriksa yang ditempatkan pada ketinggian orbit rendah bumi (Hasting and Garret, 1996).

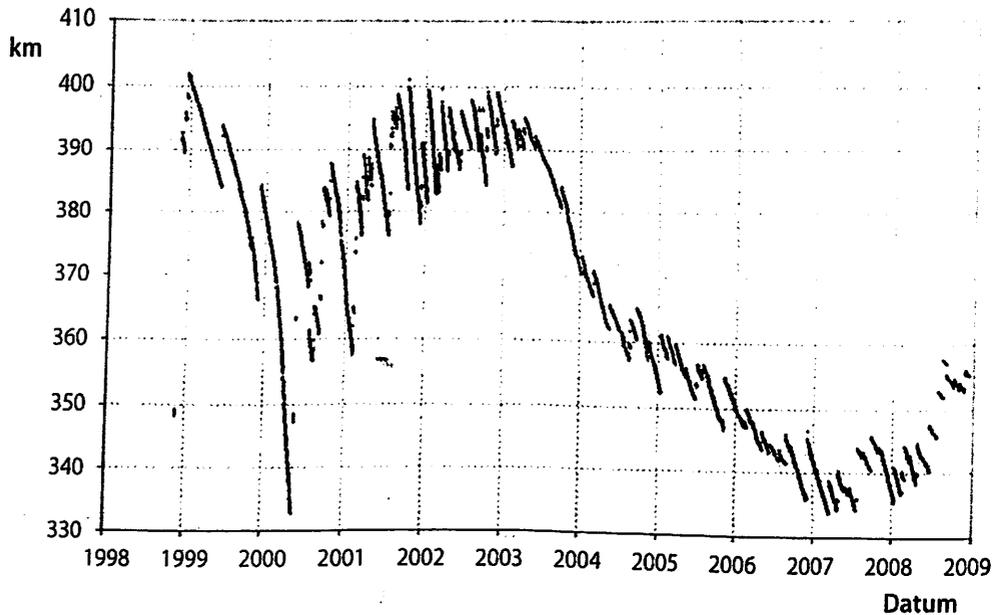
Pengaruh parameter cuaca antariksa seperti kerapatan proton dan indeks radiasi F10,7 terhadap penurunan ketinggian orbit dapat dilihat dalam persamaan 1-1 hingga persamaan 1-6 yang secara langsung berdampak pada komposisi kerapatan partikel (nilai  $\rho$  pada setiap persamaan) di ketinggian orbit. Peningkatan radiasi yang dapat dilihat melalui indeks F10,7 di wilayah orbit ISS menyebabkan peningkatan temperatur sehingga kerapatan partikel semakin tinggi yang berdampak pada penurunan laju wahana ISS di orbit. Penurunan laju wahana ISS mempengaruhi ketinggian orbit wahana tersebut karena laju wahana terkait langsung dengan ketinggian orbit wahana tersebut dari permukaan bumi.



**Gambar 3.5.** Variasi F10,7 pada bulan Juli tahun 2000.

Penurunan ketinggian orbit wahana antariksa ISS pada tanggal 24 Juli tahun 2000 (Gambar 3.1) diperkirakan disebabkan oleh adanya *flare* pada bulan Juli tersebut. Hanya saja di bulan Juli terdapat dua kejadian *flare* kuat yaitu pada tanggal 14 Juli 2000

dengan kelas X5/3B yang berasal dari daerah aktif NOAA 9077 dan *flare* pada tanggal 22 Juli 2000 dengan kelas M3/2N yang berasal dari daerah aktif NOAA 9085. Penurunan ketinggian ISS pada bulan Juli 2000 ini juga terlihat pada grafik perubahan ketinggian ISS dari tahun November tahun 1998 hingga Januari tahun 2009 yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 (<http://en.wikipedia.org/wiki/ISS>)



**Gambar 3.6.** Perubahan orbit wahana antariksa ISS.

## 4. Kesimpulan

Penurunan ketinggian orbit wahana ISS yang terjadi pada tanggal 24 Juli tahun 2000 bukan disebabkan oleh adanya penambahan modul Zvezda maupun manuver orbit ISS melainkan diduga kuat disebabkan oleh adanya aktivitas matahari yaitu *flare* pada tanggal 14 dan 22 Juli tahun 2000. Pengaruh peningkatan aktivitas matahari pada orbit ISS tidak terjadi secara spontan melainkan memerlukan waktu beberapa hari. Gangguan pada orbit ISS ini terlihat melalui besarnya penurunan ketinggian secara drastis hingga 20 km. Sumber gangguan ini ditelusuri melalui beberapa parameter cuaca antariksa seperti peningkatan kerapatan proton yang bila ditinjau pada saat kejadian (24 Juli 2000) kecil kemungkinan mempengaruhi penurunan ketinggian orbit satelit secara langsung. Namun bila dilihat beberapa waktu sebelum kejadian terjadi peningkatan kerapatan proton beberapa kali. Hal ini kemungkinan menimbulkan efek perlahan bagi penurunan ketinggian orbit ISS. Pengaruh terbesar peningkatan kerapatan proton ini diperkirakan berdampak pada sistem satelit. Analisis pada indeks F10,7 memperlihatkan terjadinya peningkatan fluks radiasi pada bulan Juli. Pada saat kejadian penurunan ketinggian orbit ISS, indeks F10,7 ini mencapai orde 230 dalam arti nilai ini sangat tinggi hingga dapat mempengaruhi ketinggian orbit wahana ISS tersebut. Dengan demikian penurunan

ketinggian orbit wahana antariksa ISS diperkirakan disebabkan oleh efek perlahan aktivitas matahari pada tanggal 14 dan 22 Juli tahun 2000 melalui analisis beberapa parameter cuaca antariksa yang memberikan pengaruh baik secara langsung maupun secara perlahan. Mengenai mekanisme fisis dampak *flare* terhadap kejadian penurunan ketinggian orbit ISS pada tanggal 24 Juli 2000 yang memerlukan waktu beberapa hari dalam arti tidak terjadi spontan pada saat kejadian *flare*, hal ini memerlukan kajian yang sangat mendalam. Bisa jadi penurunan ketinggian orbit ISS telah terjadi akibat *flare* tanggal 14 Juli dan kemudian semakin turun dengan adanya *flare* tanggal 22 Juli tahun 2000.

---

## Daftar Pustaka

---

- Hasting, D., Garret H (1996), *Spacecraft Environment Interaction*, Cambridge University Press.
- Hammons, C (2001), *A Study of the Effects of Large Solar Events on Atmospheric Drag of Low Earth Orbiting Satellites*, ASEN 5050 Spaceflight Dynamics.
- Hedin, A. E., Mayr, H. G (1987), *Solar EUV Induced Variations in the Thermosphere*, Journal of Geophysical Research 92, 869-875.
- Jacchia, L. G (1959), *Two atmospheric effects in the orbital acceleration of artificial satellites*, Nature, 183, 526-527.
- Jacchia, L. G (1964), *Influence of Solar Activity on the Earths Upper Atmosphere*, Planetary Space Science 12, 355-378.
- Knipp, D. J., W. K. Tobiska, and B. A. Emery (2004), *Direct and Indirect Thermospheric Heating Sources for Solar Cycles 21–23*, *Sol. Phys.*, **224**, 495.
- Montenbruck, O. and E. Gill (2001), *Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications*, Springer Press.
- Rhoden, E. A., J. M. Forbes, and F. A. Marcos (2000), *The Influence of Geomagnetic and Solar Variabilities on Lower Thermosphere Density*, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **62**, 999.