

KONDISI LINGKUNGAN ANTARIKSA DI WILAYAH ORBIT SATELIT

Thomas Djamaluddin
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
tjJamal@bdg.lapan.go.id, t_dJamal@hotmail.com

RINGKASAN

Lingkungan antariksa adalah medium antarplanet di sekitar bumi, terutama di antara bumi dan matahari. Karenanya lingkungan antariksa sangat terkait dengan cuaca antariksa yang digerakkan oleh aktivitas matahari dan dinamika magnetosfer. Secara umum lingkungan antariksa dikelompokkan menjadi empat jenis: lingkungan netral, lingkungan plasma, lingkungan radiasi, dan lingkungan partikulat. Secara umum, orbit satelit berada di wilayah magnetosfer. Kondisi ekstrim di lingkungan antariksa tentu akan berpengaruh pada orbit dan operasional satelit. Kondisi di lingkungan orbit satelit mikro LAPAN-TUBSAT akan dibahas secara khusus.

1 PENDAHULUAN

Dalam tinjauan antariksa, bumi adalah suatu planet yang berada di tata surya bersama planet-planet dan benda tata surya lainnya. Lingkungan tata surya di sekitar bumi dinamakan lingkungan antariksa yang medium antarplanet di sekitar bumi, terutama ruang di antara bumi dan matahari. Karenanya lingkungan antariksa didominasi oleh fenomena yang terkait dengan cuaca antariksa yang digerakkan oleh aktivitas matahari dan dinamika magnetosfer. Kajian tentang lingkungan antariksa diperlukan untuk mengetahui kondisi yang akan dialami oleh satelit yang mengorbit bumi. Dinamika lingkungan antariksa berpengaruh pada operasional satelit dan juga kala hidup orbitnya bagi satelit-satelit orbit rendah. Hambatan atmosfer pada satelit orbit rendah akan menyebabkan ketinggian satelit melumh dan akhirnya jatuh.

Secara umum lingkungan antariksa dikelompokkan menjadi empat jenis: lingkungan netral, lingkungan plasma, lingkungan radiasi, dan lingkungan partikulat. Dengan kondisi yang beragam dan bersifat ekstrem satelit harus dirancang agar dapat bertahan setidaknya dalam rentang waktu misinya. Makalah ini membahas kondisi umum dan kondisi fisik di lingkungan antariksa tersebut pada orbit satelit. Untuk memberikan gambaran, secara khusus akan dibahas kondisi lingkungan antariksa yang

akan dijumpai satelit mikro LAPAN-TUBSAT yang diluncurkan awal 2007.

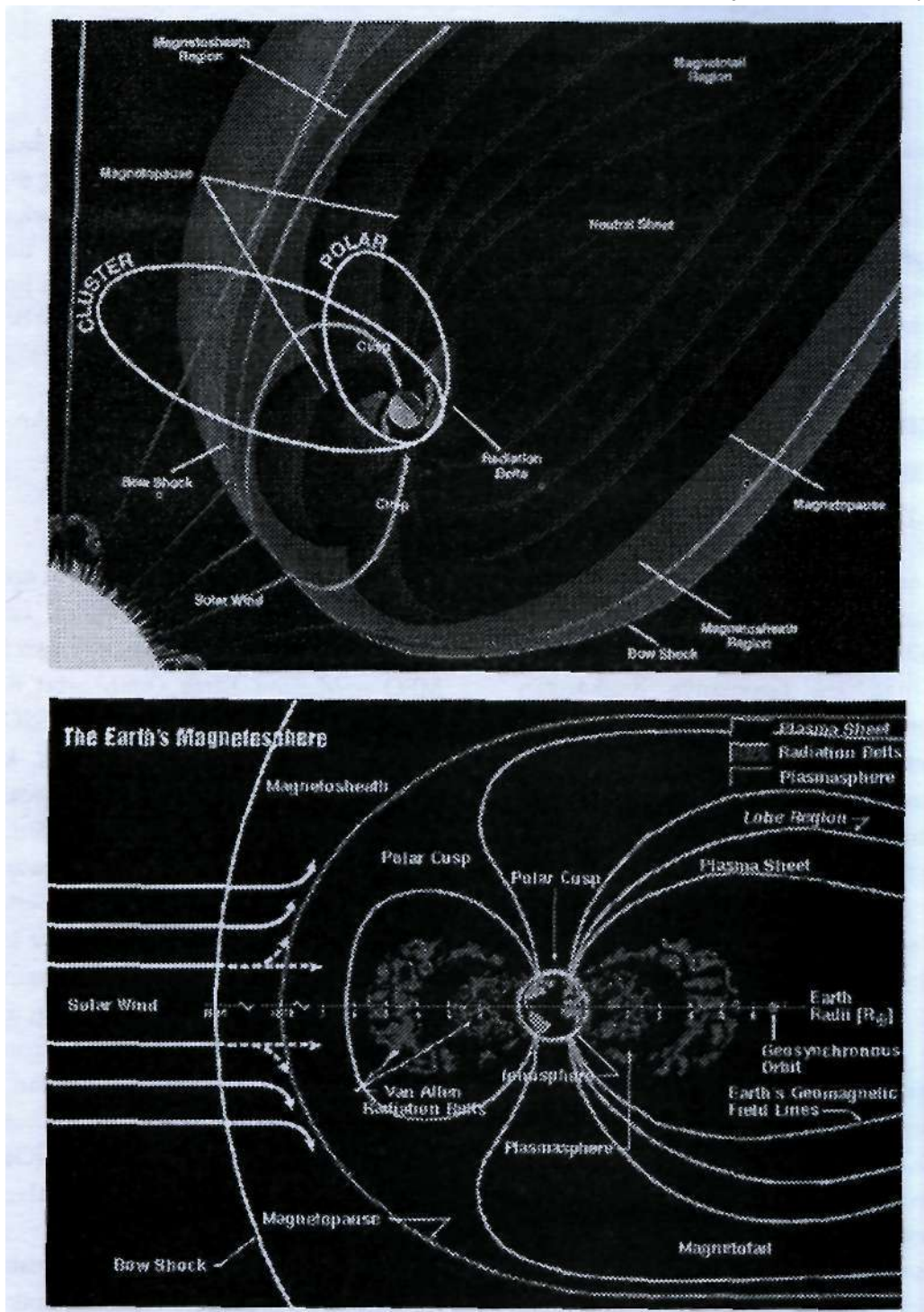
2 KONDISI UMUM

Kondisi umum lingkungan antariksa di wilayah orbit satelit (LEO - *Low Earth Orbit*, orbit rendah, ketinggian kurang dari 5.500 km; MEO - *Medium Earth Orbit*, orbit menengah, ketinggian 5.500 - 36.000 km; dan GSO - *Geostationary Orbit*, orbit geostasioner, ketinggian 36.000 km) dapat digambarkan secara umum dengan skematik ruang berikut ini. Wilayah orbit satelit umumnya berada pada lingkup magnetosfer (Gambar 2-1 dari Holbert, 2006 dan rujukan di dalamnya) yang polanya tergantung pada interaksi magnet bumi dan angin matahari yang membawa partikel bermuatan dan medan magnetik matahari. Proton dan elektron, terutama dari matahari, terperangkap medan magnetik bumi membentuk dua jenis sabuk radiasi yang dikenal sebagai sabuk van Allen (Gambar 2-2, dari NASA, 2006 dan rujukan di dalamnya).

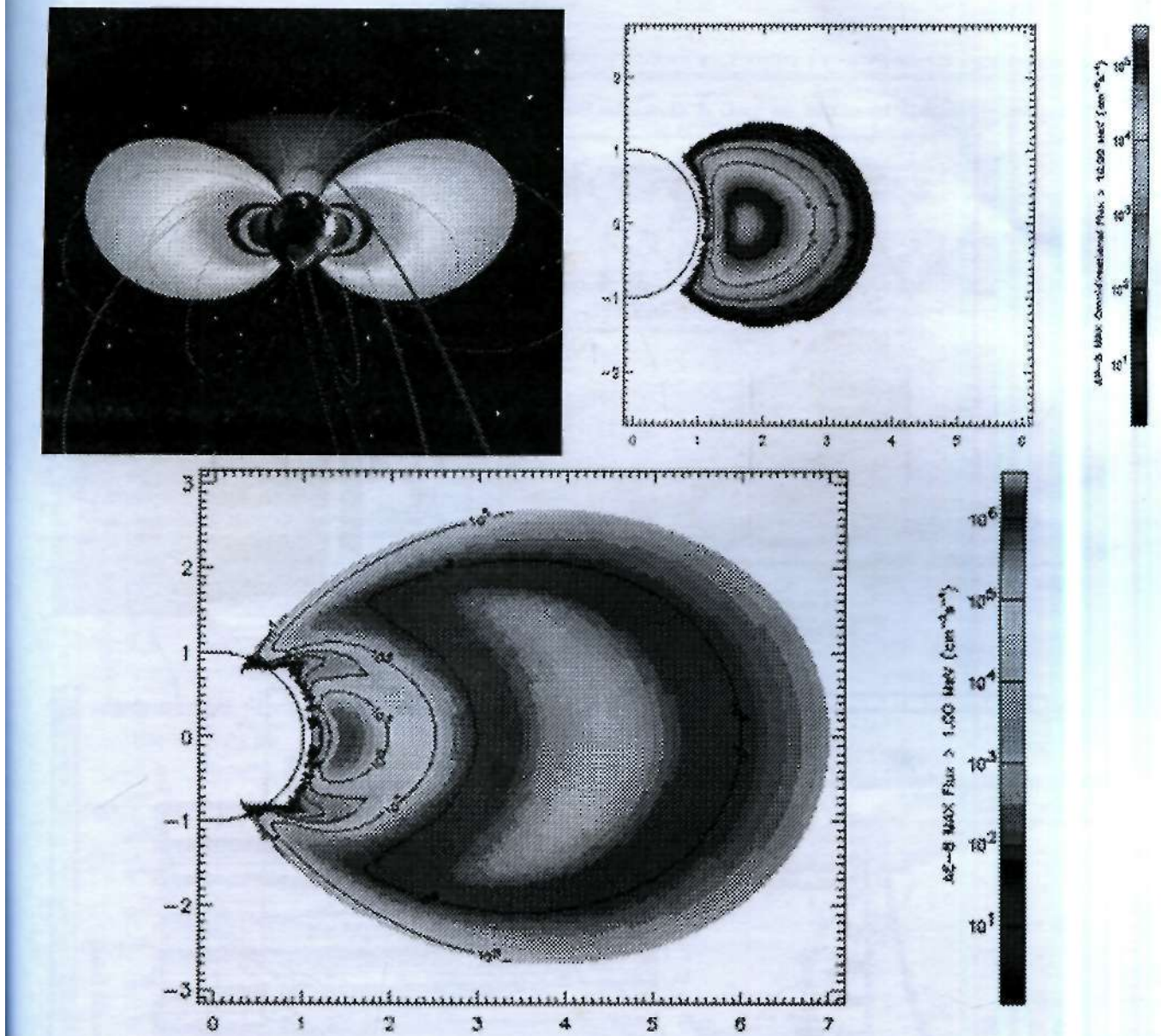
Sabuk dalam (ketinggian - 500 km - 13.000 km atau 2 radius bumi) terutama berisi proton berenergi dari sinar kosmik dan dari *flare* matahari. Pada sabuk ini juga terdapat wilayah sabuk elektron berenergi rendah. Sedangkan sabuk luar sampai jarak 7 radius bumi (ketinggian sampai kira-kira 38.000 km) terutama berisi elektron berenergi tinggi.

Satelit geostasioner pada ketinggian 36.000 km (5,7 radius bumi) berada di luar sabuk van Allen (Gambar 2-1, panel bawah). Karena sumbu rotasi bumi tidak berimpit dengan sumbu kurub magnetik dan pola sabuk radiasi mengikuti pola magnetik, maka ada suatu

daerah yang posisi sabuknya cukup rendah, yaitu di daerah Atlantik Selatan. Daerah yang kandungan partikel bermuatan cukup tinggi ini dinamakan daerah anomali Atlantik Selatan atau *Southern Atlantic Anomaly-ShA*.- (Gambar 2-3, NASA, 2006 dan rujukan di dalamnya).



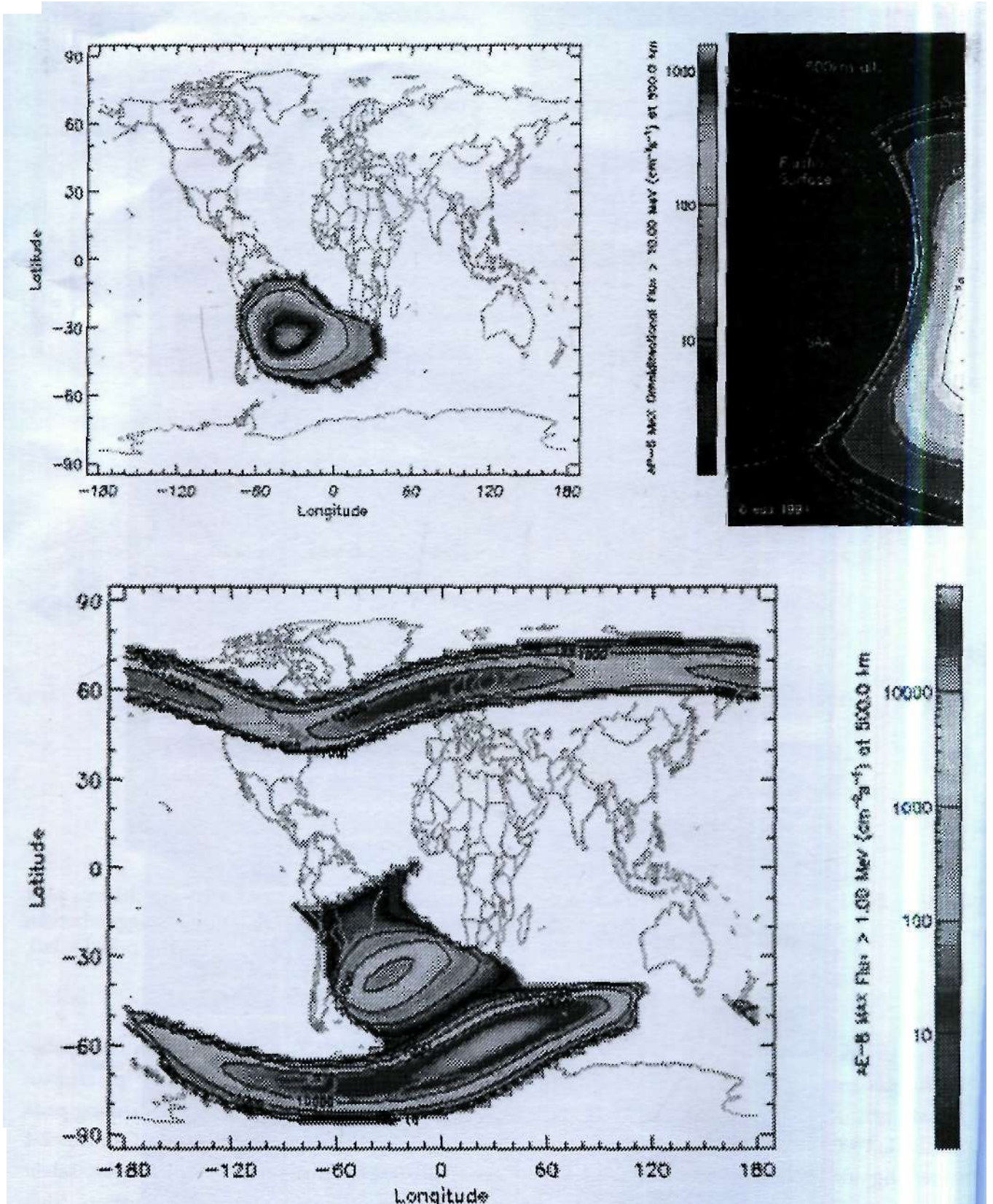
Gambar 2-1: Magnetosfer dalam kaitan dengan wilayah orbit satelit dan pengaruh angin matahari. Panel atas mengilustrasikan magnetosfer dan angin matahari serta contoh orbit satelit Cluster dan Polar. Panel bawah skematik magnetosfer dan sabuk van Allen dan jarak relatif posisi satelit geostasioner pada ketinggian 5,7 radius bumi (36.000 km).



Gambar 2-2: Panel atas adalah gambaran skematik model struktur sabuk radiasi yang dikenal juga sebagai sabuk van Allen. Panel tengah dan bawah masing-masing menggambarkan struktur sabuk proton dan elektron. Absis dan ordinat menyatakan rentang posisi sabuk radiasi dalam satuan radius bumi (6.300 km, setengah lingkaran kiri)

Untuk ketinggian kurang dari 1000 km, lingkungan antariksa lebih dominan dipengaruhi karakteristik atmosfer bumi (Gambar 2-4, dari Zombek, 1990, Wertz, 2001, JAXA, 2006). Aspek terpenting adalah faktor hambatan udara yang makin besar dengan makin rendahnya ketinggian karena makin besarnya kerapatan atmosfer. Besarnya hambatan atmosfer berpengaruh pada laju penurunan ketinggian orbit satelit. Faktor aktivitas matahari sangat mempengaruhi karakteristik pada wilayah orbit rendah ini (di atas ketinggian 100 km), terutama pada aspek

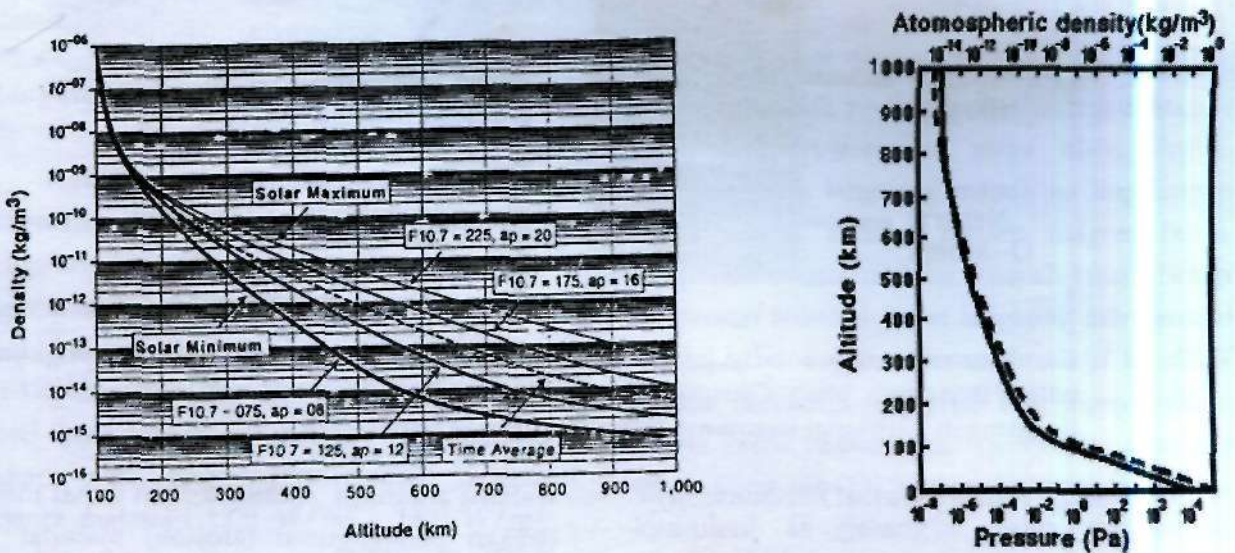
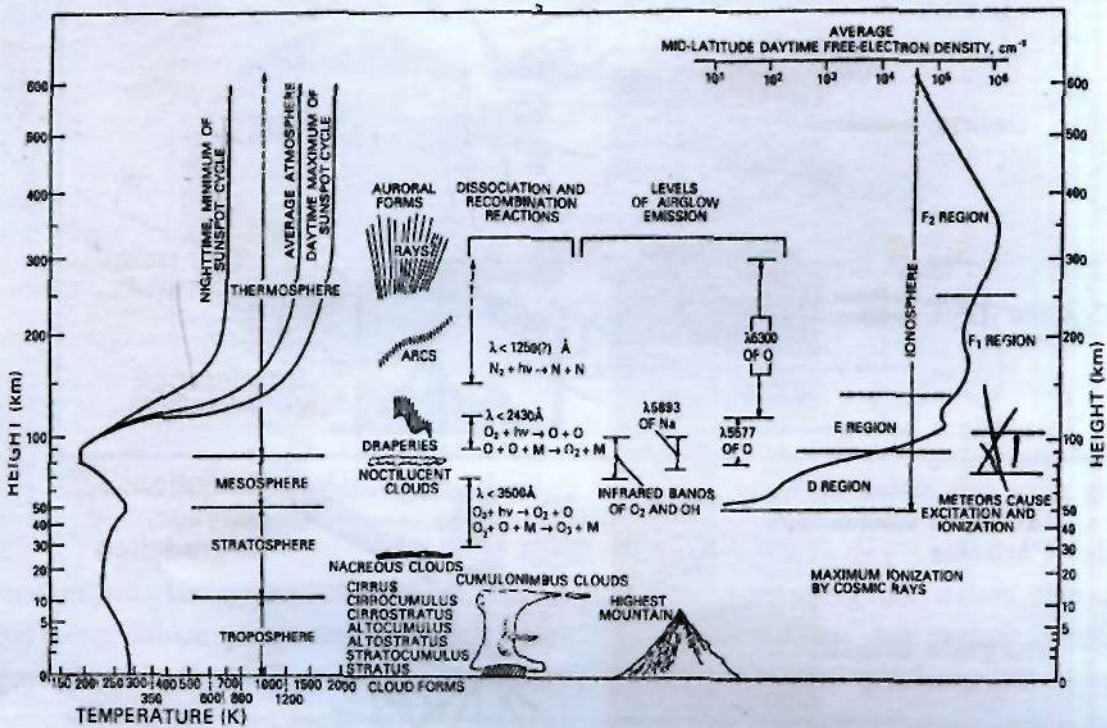
temperatur yang terkait dengan kerapatan atmosfer. Oleh karena itu laju penurunan ketinggian satelit orbit rendah tergantung pada tingkat aktivitas matahari. Dari Gambar 2-4 terlihat sangat beralasan wilayah orbit satelit umumnya ditetapkan pada ketinggian lebih dari 100 km, karena pada ketinggian kurang dari 100 km kerapatan atmosfer meningkat sangat cepat sehingga satelit yang berada pada ketinggian mendekati 100 km akan jatuh secara cepat.



Gambar 2-3: Daerah anomali Atlantik Selatan yang mengandung partikel bermuatan pada wilayah orbit LEO (ketinggian ~ 500 km). Fenomena anomali Atlantik Selatan (Southern Atlantic Anomaly - SAA) dijelaskan pada panel kanan

Structure of the upper atmosphere

(Adapted from Harris, M. F. in *American Institute of Physics Handbook*, D. E. Gray, ed., McGraw-Hill Book Company, 1972.)

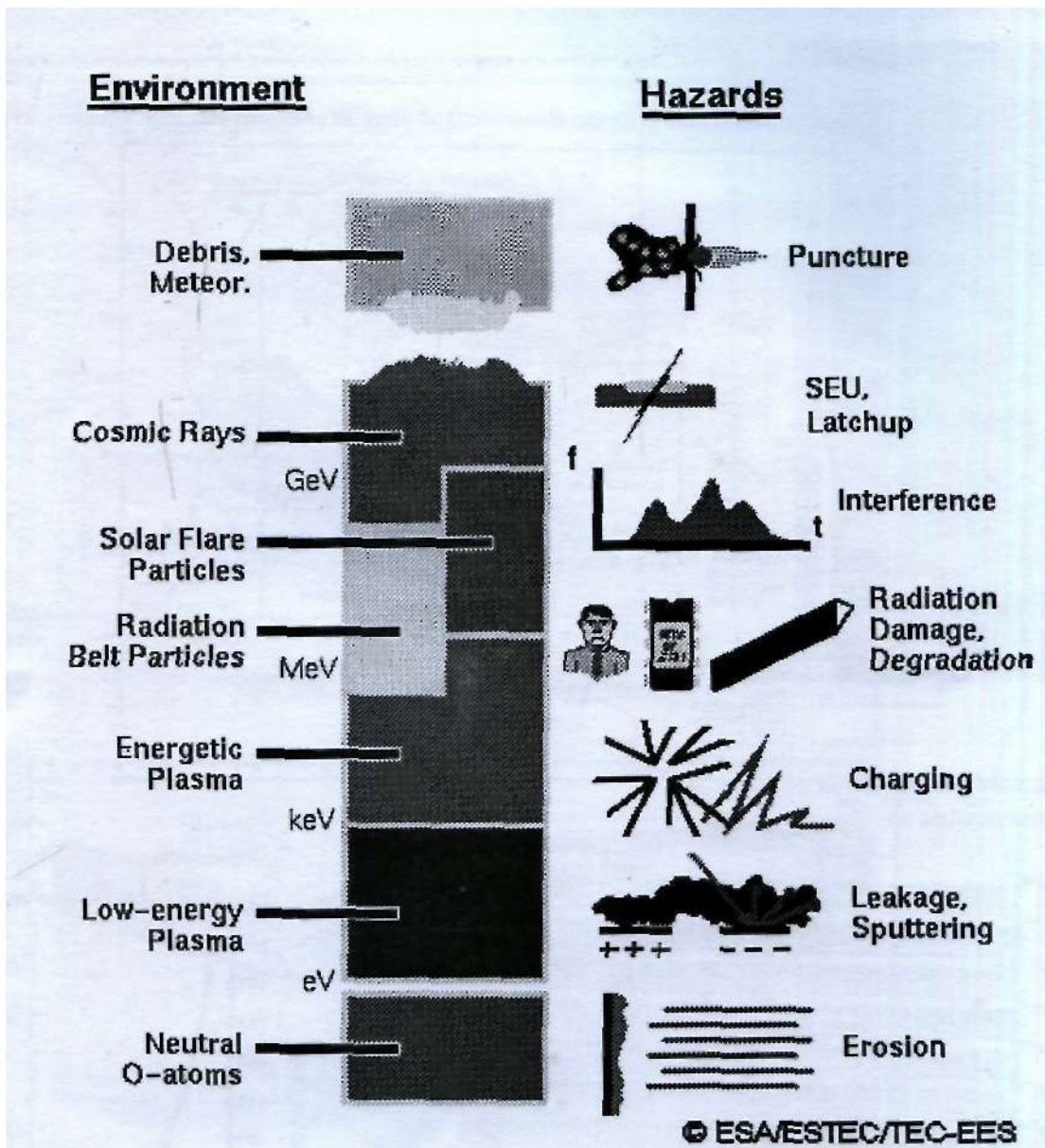


Gambar2-4: Karakteristik atmosfer yang dominan berpengaruh pada satelit orbit rendah pada ketinggian lebih dari 100 km. Panel atas menggambarkan fenomena dan struktur atmosfer atas. Panel bawah menggambarkan perubahan densitas (kerapatan) udara yang meningkat dengan berkurangnya ketinggian

3 KONDISIFISIK

Kondisi lingkungan antariksa secara fisik sangat bervariasi dan ini sangat berpengaruh terhadap satelit yang beroperasi. Gambar 3-1 (dari Holbert, 2006 dan rujukan di dalamnya)

memberikan rangkuman lingkungan antariksa dan dampak negatifnya. Lingkungan antariksa dikelompokkan dalam 4 komponen fisis sebagai berikut (ESA, 2006 dan JAXA, 2006):



Gambar 3-1: Gambaran skematik kondisi fisik lingkungan antariksa dan dampaknya, dari lingkungan netral (terutama atom Oksigen netral), lingkungan plasma, lingkungan radiasi, dan lingkungan partikulat (terutama sampah antariksa dan meteor)

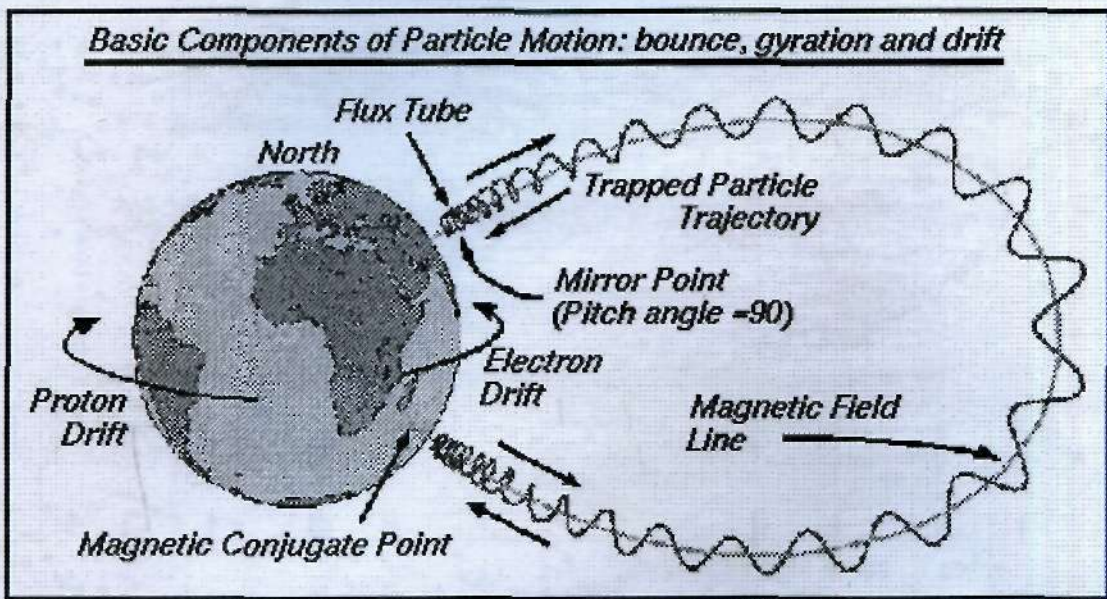
3.1 Lingkungan Netral (*Neutral Environment*)

Pada lingkungan atmosfer netral, kerapatannya terkait dengan variasi aktivitas matahari dan geomagnet. Kerapatan tersebut sangat tergantung dengan radiasi ultraviolet ekstrem (EUV) dari matahari yang berkorelasi dengan F10.7 yang diukur di bumi. Aktivitas geomagnet berpengaruh pada presipitasi partikel energetik yang terkait dengan pemanasan dan kerapatan atmosfer. Komposisi atmosfer netral adalah Oksigen, Nitrogen, Helium, dan Hidrogen, Hambatan aerodinamika dapat menyebabkan peluruhan orbit dan juga torka (*torque*) pada

wahana antariksa. Atom Oksigen dapat menyebabkan penggugusan (erosion) material luar wahana. Fenomena kilatan (*glow phenomenon*) yang mungkin disebabkan oleh tumbukan partikel atmosfer dengan molekul buangan wahana pada permukaan wahana dapat mengganggu misi wahana, misalnya eksperimen.

3.2. Lingkungan Plasma (*Plasma Environment*)

Plasma terutama terdiri dari O^+ , H^+ , He^+ , NO^+ , Oz^+ , N_2^+ , dan elektron. Plasma dihasilkan oleh radiasi matahari dan sinar kosmik. Kerapatan partikel bermuatan pada orde $10^{12}/m^3$ (sisi siang) pada puncak



Gambar 3-2: Partikel energetik di sabuk van Allen bergerak dalam tiga jenis gerak: pantulan, gerak spiral, dan drift

kerapatan pada ketinggian 250 - 300 km. Plasma dapat menyebabkan pemuatan listrik dan pengugusan badan satelit yang berakibat kerusakan permukaan wahana atau gangguan operasional peralatan.

3.3 Lingkungan Radiasi (*Radiation Environment*)

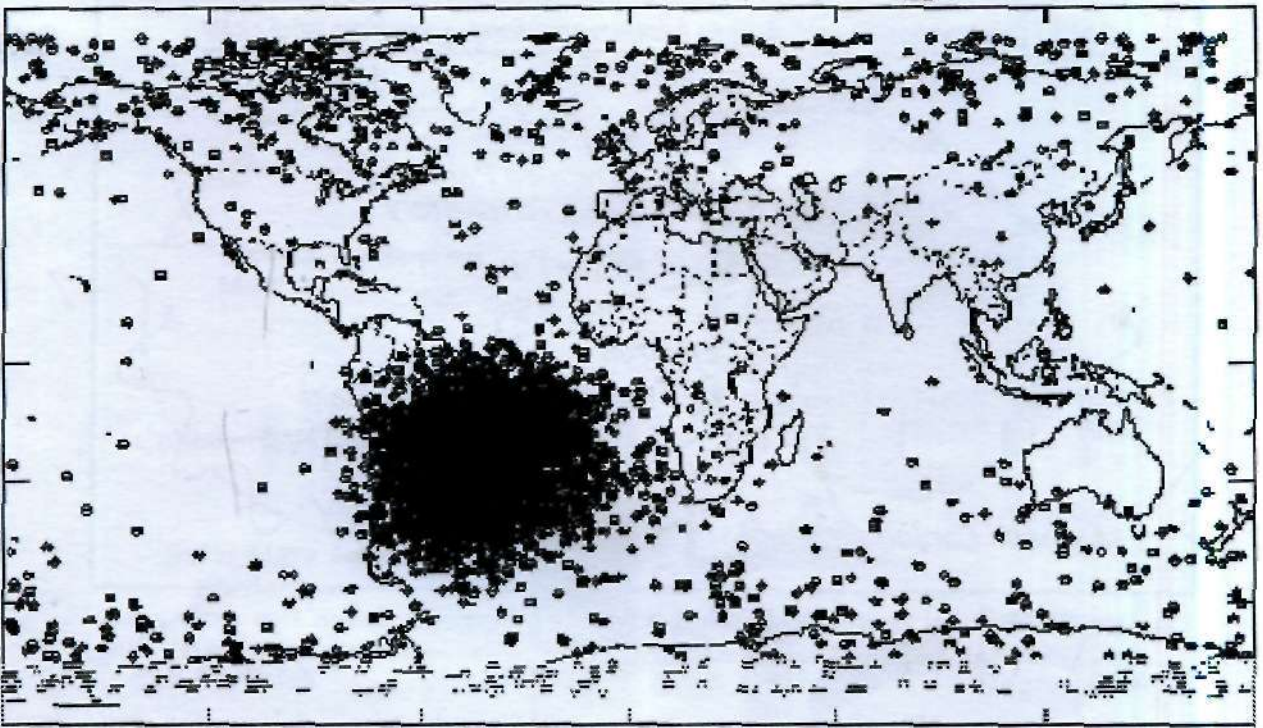
Terkait dengan lingkungan radiasi elektromagnetik, dikenal juga lingkungan termal. Ada tiga sumber radiasi termal: radiasi matahari, energi matahari yang dipantulkan (albedo), dan radiasi inframerah dari bumi dan atmosfer (*Outgoing Longwave Radiation, OLR*). ISS (*International Space Station*) dirancang untuk mampu bertahan dari lingkungan termal dengan konstanta matahari $1321 \text{ W/m}^2 - 1423 \text{ W/m}^2$, albedo 0.2 - 0.4 dari ketinggian 30 km, dan OLR $177 \text{ W/m}^2 - 307 \text{ W/m}^2$ dari ketinggian 30 km, serta suhu lingkungan antariksa 3 K (-270° C) yang merupakan "space cold sink temperature".

Lingkungan radiasi pengionisasi sumber partikelnya dari sabuk van Allen, flare, dan sinar kosmik yang dapat menyebabkan *single event phenomena* (SEP) atau *total dose effects* yang merusakkan instrumen. Partikel di sabuk van Allen terutama terdiri dari elektron berenergi sampai beberapa MeV dan proton berenergi sampai beberapa ratus MeV. Partikel di sabuk

van Allen bergerak dalam tiga jenis gerak: pantulan antara dua pemantul magnetik dekat kedua kutub, gerak spiral mengitari garis medan magnetik, dan *drift* ke timur (elektron) atau ke barat (proton) (Gambar 3-2)

Partikel energetik dari flare matahari terutama adalah proton dengan energi beberapa MeV sampai beberapa ratus MeV. Proton tersebut tidak langsung masuk ke lingkungan bumi karena adanya medan magnet bumi, tetapi bisa masuk melalui wilayah kutub. Selain itu proton tersebut dapat langsung mengancam satelit orbit tinggi, termasuk satelit di GSO. Proton berenergi tinggi ini bisa menyebabkan *single event phenomena* (SEP) atau *total dose effects* yang mengakibatkan kerusakan ionisasi kumulatif ke perangkat yang merusakkan peralatan semikonduktor.

Sinar kosmik galakrik terdiri dari banyak inti atom seperti proton, helium, karbon, dan besi. Energinya dari 10 MeV per partikel sampai 1.0×10^{16} MeV per partikel. Sinar kosmik juga dapat menyebabkan *single event phenomena* (SEP), yaitu tidak berfungsinya peralatan di wahana antariksa. Pada Gambar 3-3 ditunjukkan posisi pada orbit satelit UoSAT-3 saat terjadi gangguan akibat SEP, terutama saat berada di wilayah SAA (*Southern Atlantic Anomaly*).



Gambar 3-3: Posisi terjadinya gangguan pada satelit UoSAT-3 terkait dengan radiasi partikel energetik, terutama di wilayah SAA

3.4 Lingkungan Partikulat (*Particulate Environment*)

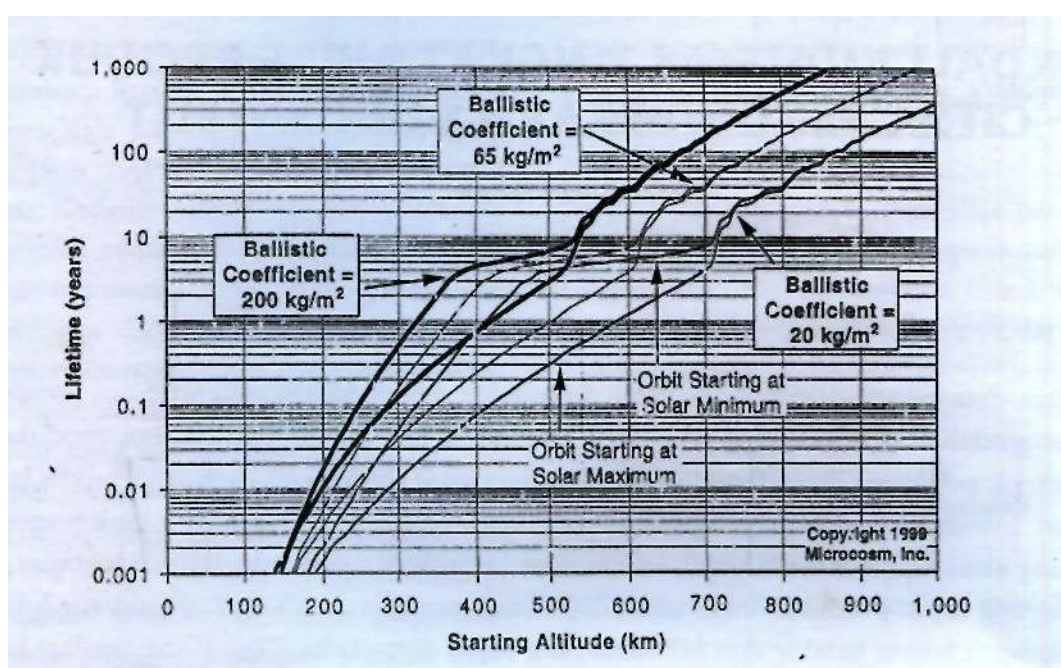
Lingkungan partikulat terdiri dari meteorit (meteoroid di sekitar bumi), sampah orbit (orbital debris), partikulat yang dilepaskan oleh wahana. Partikulat di lingkungan antariksa bisa merusak badan satelit dan panel suryanya dengan lubang-lubang kecil akibat tumbukannya. Untuk partikulat yang berukuran lebih besar, dampaknya bisa berupa kerusakan yang lebih parah.

4 KONDISILINGKUNGAN ORBIT LAPAN-TUBSAT

Sebagai contoh analisis kondisi lingkungan orbit satelit, dipilih contoh kasus lingkungan sekitar orbit satelit LAPAN-TUBSAT pada ketinggian 635 km dengan orbit Sunsynchronous (sinkron dengan matahari) berinklinasi 98°. LAPAN-TUBSAT akan mengalami suhu ekstrem 700-2000 K (Gambar 2-4). bila bertahan sampai aktivitas matahari maksimum. Pada tahun pertama 2006 - 2007 saat

matahari minimum rentang temperatur berkisar 600 - 1500 K. Gangguan rutin akibat peningkatan *flux* proton dan elektron yang mungkin dialami adalah saat mengorbit di atas SAA (*Southern Atlantic Anomaly*). Pada tahun-tahun pertama kemungkinan gangguan akibat aktivitas matahari relatif sedikit karena dalam kondisi matahari tenang.

Data fisik LAPAN-TUBSAT berukuran 45 x 45 x 27 cm dan bermassa $m = 56$ kg dan penampang pada arah gerakanya $A = 0.1225$ m². Untuk bentuk kotak, koefisien hambatan $C_D = 2-4$ (Wertz & Larson, 1990, p. 207). Sehingga diperoleh $B = C_D A/m = 0.004339 - 0.008679$ m²/kg atau koefisien balistik $1/B = 115.2263 - 230.4527$ kg/m². Dengan data fisik tersebut dapat diperkirakan satelit LAPAN-Tubsat akan bertahan pada orbitnya sekitar 50 tahun (Gambar 4-1). Tetapi, kala hidup instrumennya diperkirakan tidak lama, akibat kondisi ekstrem lingkungan antariksa. Dalam perkiraan perancangannya, operasional satelit LAPAN-TUBSAT diharapkan akan bertahan sekitar 3 tahun.



Satellite Lifetime as a Function of Altitude, Relationship to the Solar Cycle, and Representative Ballistic Coefficients. For each ballistic coefficient, the upper curve represents launch during solar minimum and the lower curve represents launch during solar maximum.

Gambar 4-1: Hubungan ketinggian awal dan kala hidup (*lifetime*) untuk berbagai nilai koefisien balistik (Dari Wertz, him 75)

5 KESIMPULAN

Kondisi ekstrem lingkungan antariksa harus diperhitungkan untuk suatu misi satelit. Untuk satelit orbit rendah, perhitungan juga mencakup hambatan udara yang berkaitan dengan gaya hambat yang berpengaruh pada umur orbitnya. Umur operasional suatu satelit ditentukan berdasarkan ketahanan perangkat dan sumber daya satelit pada kondisi lingkungan antariksa yang ekstrem. Contoh kasus analisis pada satelit LAPAN-TUBSAT menunjukkan bahwa kala hidup orbitnya bisa mencapai lebih dari 50 tahun, tetapi umur operasionalnya diperkirakan relatif singkat.

DAFTAR RUJUKAN

ESA, 2006. *Space Environments & Effects*, <http://space-env.esa.int/Background/backgnd.html>, download 2006.

Holbert, K. E., 2006. *Space Radiation Environmental* E_f5¹E_fc, <http://www.eas.asu.edu/holbert/eee460/spacerad.html>, Januari 2006.

JAXA, 2006. *Space Environment for JEM Exposed Facility Experiment Payload* <http://idb.exst.jaxa.jp/edata/02110/199810K02110030/199810K02110030.html>, download 2006.

NASA, 2006. *The Van Allen Belt*, <http://image.gsfc.nasa.gov/poetry/tour/vanallen.html>, download 2006.

Wertz, J. R., 2001. *Mission Geometry: Orbit and Constellation Design and Management*, Kluwer Academic Publisher.

Wertz, J. R. dan Larson, W. J., 1999. *Space Mission Analysis and Design*, Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers.

Zombeck, M. V., 1990 *Handbook of Space and Astrophysics* <http://ads.jiarvard.edu/books/h saa/tochtml>.