

DISTRIBUSI ANOMALI SATELIT SELAMA SIKLUS MATAHARI KE-23 BERDASARKAN ORBITNYA

NEFLIA

Pusat Sains Antariksa – LAPAN
e-mail: neflia@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Lingkungan antariksa memiliki efek yang bervariasi bergantung pada orbit satelit tersebut. Bila dilihat dari ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas, satelit geosynchronous, satelit ekuator dan satelit dengan bentuk orbit lingkaran memiliki frekuensi kejadian anomaly paling tinggi secara berurutan. Jika kejadian anomaly ini dibandingkan dengan jumlah peluncuran pada ketinggian, inklinasi atau eksentrisitas tertentu, satelit super-synchronous, satelit ekuatorial dan satelit dengan orbit elips memiliki prosentase anomaly paling tinggi. Namun bila dilihat berdasarkan parameter orbit secara keseluruhan, maka satelit orbit tinggi pada inklinasi menengah dan orbit elips memiliki prosentase anomaly paling tinggi. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa satelit orbit tinggi dengan inklinasi rendah (ekuator) serta memiliki bentuk orbit lingkaran memiliki frekuensi anomaly yang paling besar.

Kata kunci: Anomali satelit, ketinggian, inklinasi, eksentrisitas

Abstract. Space environment effects on satellite vary depending on the satellite orbit. According to the height, inclination and eccentricity, some satellites such as geosynchronous satellites, equator satellites and satellites in circular orbit frequently experienced anomaly phenomenas respectively. If the anomaly events was compared to the number of launched satellite related to the height, inclination and eccentricity, The super-synchronous, equatorial and elliptical satellites have the highest percentage of anomaly respectively, but if it's seen from some orbital parameters such as height, inclination and eccentricity, the high orbit satellites at middle inclination and elliptical orbit have the highest percentage of anomaly. The results of this study also showed that high-orbit satellites with low inclination (equatorial) and circular orbit have the highest frequency of anomaly.

Keywords: Satellite anomalies, height, inclination, eccentricity

1. Pendahuluan

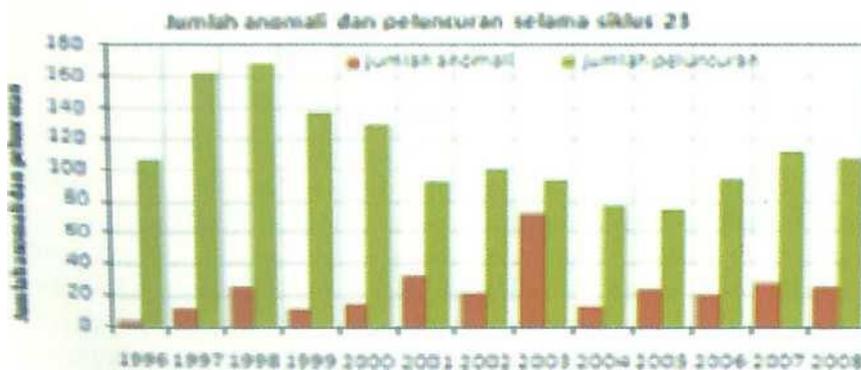
Selama masa orbitnya dalam beberapa tahun di antariksa, satelit akan dipengaruhi oleh kondisi antariksa. Efek lingkungan antariksa ini dapat mengakibatkan kerusakan minor yang tidak akan mempengaruhi kinerja satelit tersebut, tetapi dapat pula mengakibatkan kegagalan total pada satelit yang berarti bahwa masa operasi satelit itu berakhir. Pengaruh lingkungan antariksa pada bumi sangatlah rumit dan bervariasi. Selain itu besar kecilnya pengaruh cuaca antariksa dan kemungkinan kerusakan yang ditimbulkannya pada satelit bergantung pada orbit satelit, posisi relatif satelit pada suatu daerah tertentu di antariksa, tingkat aktivitas matahari, tingkat aktivitas geomagnet dan karakteristik material yang digunakan pada struktur satelit (Ahmad, 2007, Wertz, 2001). Telah diketahui bahwa sinar kosmik berenergi tinggi dapat menyebabkan SEU pada

peralatan mikroelektronik; elektron berenergi rendah dapat mengakibatkan pemuatan pada permukaan satelit dan menyebabkan gangguan pada baterai matahari. Dan elektron berenergi tinggi dapat menyebabkan pemuatan di dalam satelit dan merusak peralatan elektronik. Selain itu badai geomagnetik dapat menyebabkan terjadinya perubahan partikel energetik pada orbit tertentu. (Belov, A, 2004).

Parameter orbit satelit, dalam hal ini adalah ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas satelit menunjukkan posisi satelit itu di lingkungan antariksa. Berdasarkan parameter orbit ini, dapat diketahui lingkungan antariksa yang mempengaruhi satelit selama masa operasinya. Setiap satelit dengan orbit tertentu akan memiliki efek lingkungan antariksa yang berbeda pula (Wertz, 1999). Makalah ini akan membahas distribusi satelit yang mengalami anomali berdasarkan parameter orbit selama siklus 23 beserta gambaran singkat mengenai lingkungan antariksa pada orbit tersebut. Selain itu juga dilakukan analisis kejadian anomali terhadap jumlah peluncuran pada rentang waktu yang sama, untuk mengetahui prosentase kejadian anomali terhadap jumlah peluncuran.

2. Data dan metode

Data satelit yang digunakan dalam analisis ini adalah satelit yang mengalami anomali selama siklus matahari ke-23 yaitu dari tahun 1996 hingga 2008. Data ini diperoleh dari situs www.Sat-nd.com (www.sat-nd.com/failures/). Pada rentang waktu ini, satelit yang mengalami anomali sebanyak 307 kejadian anomali pada sekitar 236 satelit. Banyaknya kejadian anomali tiap tahunnya selama siklus matahari ke-23 ditunjukkan pada Gambar 2-1. Selain itu juga digunakan data satelit yang diluncurkan dari tahun 1996 hingga 2008 dari situs [space-track](http://www.space-track.org) (www.space-track.org)



Gambar 2-1. Kejadian anomali dan jumlah peluncuran tiap tahun pada siklus 23.

Gambar 2-1 menunjukkan jumlah anomali dan jumlah peluncuran selama siklus matahari ke-23. Jumlah anomali terbesar terjadi pada tahun 2003, yaitu 70 kasus anomali pada 37 satelit. Sedangkan jumlah peluncuran terbesar terjadi pada tahun 1998. Presentase satelit yang mengalami anomali terhadap jumlah peluncuran secara keseluruhan selama siklus matahari ke-23 hanya sekitar 15,9%. Pada rentang waktu tersebut, satelit yang diluncurkan sebanyak 1456 satelit, yang sebagian besar pada orbit rendah.

Dalam analisis ini satelit yang mengalami anomali akan dikelompokkan berdasarkan ketinggian (rendah, menengah dan tinggi), inklinasi (tinggi, menengah dan rendah) dan eksentrisitas (rendah dan tinggi). Pengelompokan berdasarkan ketinggian ini menggunakan ketinggian rata-rata yang diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$h = (h_a + h_p)/2, \quad (2.1)$$

h_a menunjukkan ketinggian apogee dan h_p menunjukkan ketinggian perigee. Sedangkan untuk satelit yang terletak pada titik langrange, lunar dan planetary tidak akan dimasukkan dalam analisis ini.

Untuk mengetahui eksentrisitas satelit digunakan persamaan

$$e = 1 - (r_a/a), \quad (2.2)$$

dengan r_a adalah jarak apogee yang diperoleh dengan menambahkan ketinggian apogee dengan jari-jari bumi dan a adalah sumbu semi-utama yang diperoleh dengan menambahkan ketinggian rata-rata dengan jari-jari bumi (6378,14 km). Pengelompokan satelit ini dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1.
Pengelompokan satelit berdasarkan ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas

Pengelompokan berdasarkan ketinggian	Ketinggian (km)	Pengelompokan berdasarkan inklinasi	Inklinasi (derajat)	Pengelompokan berdasarkan eksentrisitas	Eksentrisitas
Rendah	$h < 3000$	Rendah	$0 < i < 30$; $150 < i < 180$	Rendah	$e < 0.05$
Menengah	$3000 < h < 30000$	Menengah	$30 < i < 60$; $120 < i < 150$	Tinggi	$e > 0.05$
Tinggi	$h > 30000$	Tinggi	$60 < i < 120$		

Selain itu juga dihitung frekuensi anomali (kejadian anomali pada orbit tertentu dibandingkan dengan kejadian anomali total selama siklus matahari ke-23) dan prosentasi anomali terhadap peluncuran satelit.

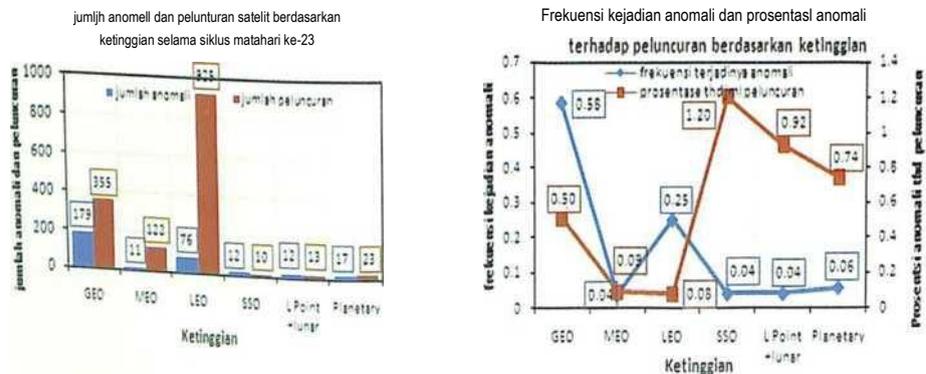
3. Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) dan pengelompokkan dengan menggunakan Tabel 2-1 diperoleh ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas yang akan dibahas dalam subbab yang berbeda.

3.1 Klasifikasi berdasarkan ketinggian

Pada umumnya satelit terletak pada orbit rendah atau *geosynchronous*. Satelit pada orbit rendah atau biasa disebut LEO (*Low Earth Orbit*) terletak pada ketinggian dibawah ketinggian 3000 km, sedangkan satelit GEO terletak pada ketinggian sekitar 35786 km. Satelit yang berada pada ketinggian diantara LEO dan GEO biasanya disebut satelit MEO (*Medium Earth Orbit*). Pada ketinggian ini biasanya jumlah satelit yang ada relatif sedikit. Selain itu ada juga satelit bumi yang terletak pada titik Langrange (L1, L2, L3, L4 dan L5) dan satelit yang diletakkan dalam tata surya, yang disebut satelit planetary, seperti *Mars Explorer* yang digunakan untuk mengamati Mars. Klasifikasi kejadian anomali satelit berdasarkan ketinggian dapat dilihat pada Gambar 3-1.

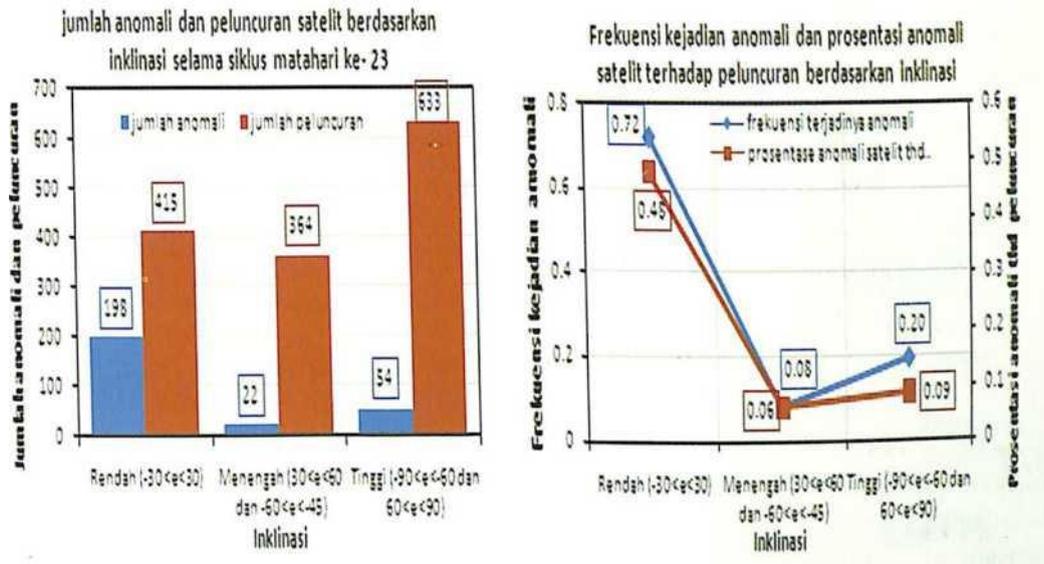
Banyaknya kejadian anomali pada ketinggian tertentu kemungkinan berhubungan dengan jumlah peluncuran yang dilakukan pada ketinggian tersebut dan posisi satelit di ruang antariksa. Pada Gambar 3-1 terlihat bahwa anomali satelit paling banyak terjadi pada satelit dengan ketinggian *geosynchronous*, dan paling sedikit dialami oleh satelit MEO (frekuensi anomali satelit pada tiap ketinggian selama siklus matahari ke-23 dapat dilihat pada Gambar 3-1 kanan, biru). Akan tetapi jika membandingkan dengan jumlah peluncuran pada ketinggian yang sama, satelit SSO paling banyak mengalami anomali, yaitu sekitar 120% (pada Gambar 3-1 kanan, merah). Hal ini menunjukkan bahwa kecenderungan satelit SSO (orbit tinggi) untuk mengalami anomali lebih besar dibandingkan dengan satelit pada ketinggian lainnya.



Gam a t 3 1. Jumlah kejadian anomali dan jumlah peluncuran (kiri) serta frekuensi kejadian anomali Hnn ucm piosentasi anomali terhadap peluncuran berdasarkan ketinggian (kanan).

3.2 Klasifikasi berdasarkan inklinasi

Berdasarkan inklinasi, satelit dikelompokkan menjadi 3 kategori. Satelit dengan inklinasi rendah ($0 < i < 30$ dan $150 < i < 180$), inklinasi menengah ($30 < i < 60$ dan $120 < i < 150$) dan inklinasi tinggi ($60 < i < 120$) Pada klasifikasi ini, satelit yang berada pada titik langrangian dan satelit planetary tidak dimasukkan. Distribusi kejadian anomali berdasarkan inklinasi terlihat pada Gambar 3-2.

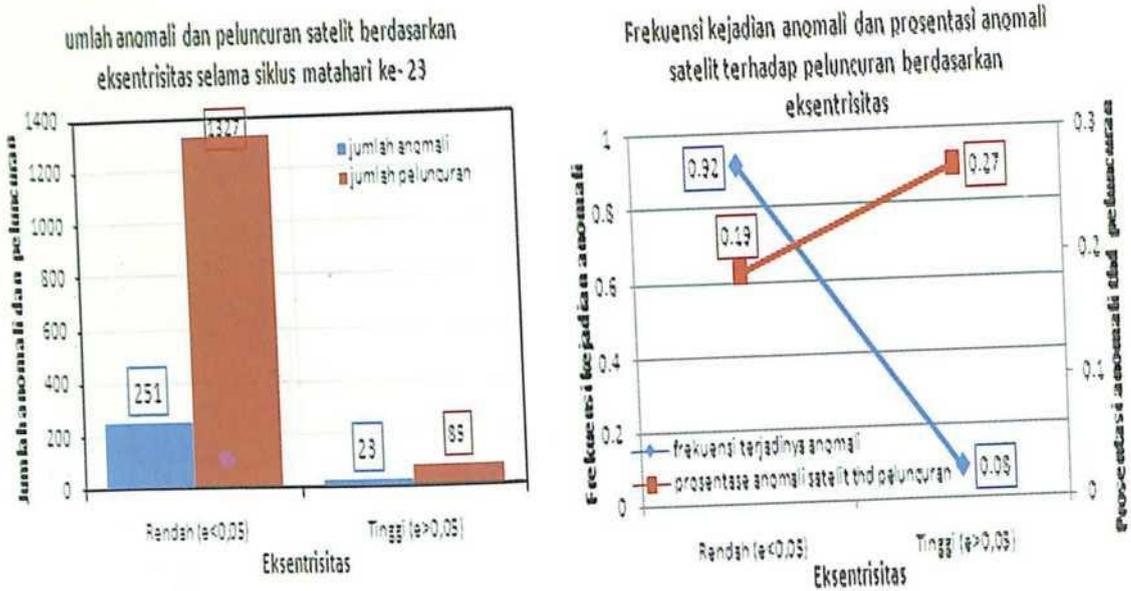


Gambar 3-2. Jumlah kejadian anomali dan jumlah peluncuran (kiri) serta frekuensi kejadian anomali dan prosentasi anomali terhadap peluncuran berdasarkan inklinasi (kanan).

Pada Gambar 3-2 terlihat bahwa satelit dengan inklinasi rendah memiliki jumlah anomali paling banyak (Gambar 3-2, kiri). Jika dibandingkan dengan jumlah peluncuran, satelit dengan inklinasi rendah juga memiliki prosentasi paling besar jika dibandingkan dengan satelit lainnya (Gambar 3-2, kanan), walaupun satelit dengan inklinasi tinggi memiliki jumlah peluncuran terbesar.

3.3 Klasifikasi berdasarkan eksentrisitas

Eksentrisitas menunjukkan bentuk dari orbit suatu satelit. Semakin eksentrisitas orbit suatu satelit bentuk orbitnya semakin ellips. Jumlah satelit yang mengalami anomali dan jumlah peluncuran satelit dengan tipe yang sama dapat dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3. Jumlah kejadian anomali dan jumlah peluncuran (kiri) serta frekuensi kejadian anomali dan prosentasi anomali terhadap peluncuran berdasarkan eksentrisitas (kanan).

Pada Gambar 3-3 terlihat bahwa frekuensi anomali pada satelit dengan eksentrisitas tinggi jauh lebih besar dibandingkan dengan anomali pada satelit dengan eksentrisitas rendah. Akan tetapi jika dibandingkan dengan jumlah peluncuran satelit, prosentasi anomali pada satelit dengan eksentrisitas rendah lebih kecil dibandingkan dengan satelit dengan eksentrisitas tinggi. Frekuensi anomali ini sekitar 0.19.

3.4 Klasifikasi anomali berdasarkan ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas.

Pengelompokan satelit pada 3.1, 3.2 dan 3.3 hanya meninjau pada satu sisi saja, yaitu ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas. Untuk melihat distribusi satelit yang mengalami anomali yang lebih terinci, satelit-satelit ini dikelompokkan kembali berdasarkan ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas. Pengelompokan dengan menggabungkan tiga parameter orbit ini beserta jumlah kejadian anomali dan jumlah peluncurannya dapat dilihat pada Tabel 3-1.

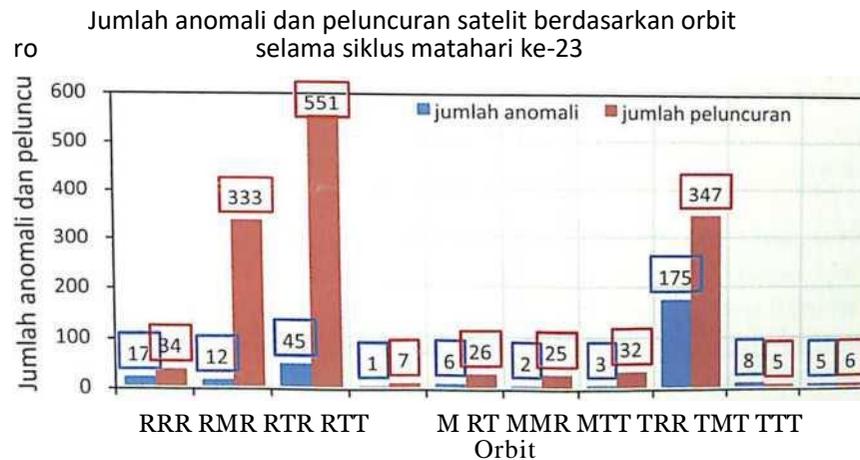
Tabel 3-1.

Klasifikasi satelit yang mengalami anomali berdasarkan ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas.

klasifikasi	jumlah anomali	klasifikasi	jumlah anomali	klasifikasi	jumlah anomali
RRR	17	MRR	0	TRR	175
R RT	0	M RT	6	T RT	0
RMR	12	MMR	2	TMR	0
RMT	0	MMT	0	TMT	8
RTR	45	MTR	0	TTR	0
RTT	1	MTT	3	TTT	5

Ket: R = rendah, M = menengah, T = tinggi

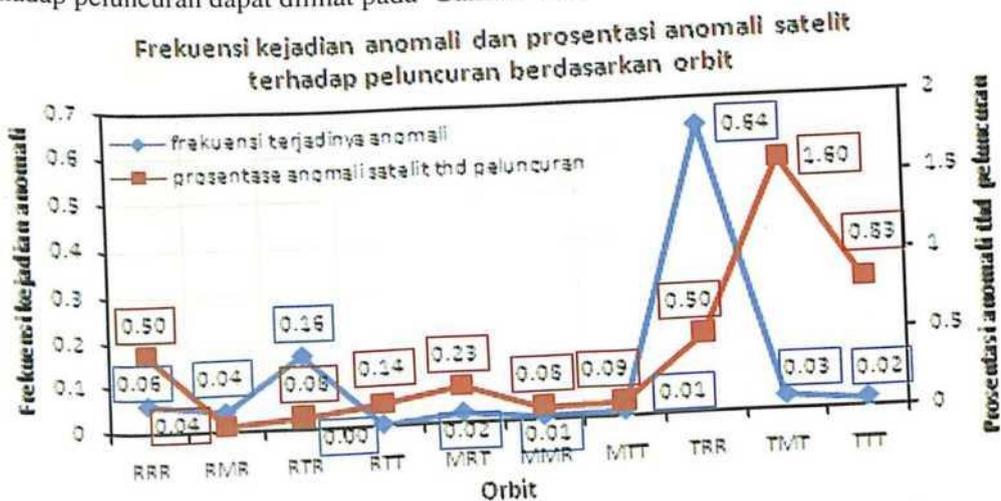
RRR = orbit rendah, inklinasi rendah, eksentrisitas rendah



Gambar 3-4. Jumlah kejadian anomali dan jumlah peluncuran pada siklus 23.

Berdasarkan table 3-1 dan Gambar 3-4 terlihat bahwa anomali satelit paling banyak terjadi pada orbit tinggi dengan inklinasi dan eksentrisitas rendah, yaitu sebanyak 175 kejadian anomali. Umumnya satelit dengan kategori ini adalah satelit geostationary yang digunakan untuk komunikasi. Kategori kedua yang banyak mengalami anomali adalah satelit dengan orbit dan eksentrisitas rendah serta inklinasi tinggi, yaitu sebanyak 45 kejadian anomali. Satelit yang mengalami anomali paling sedikit adalah satelit dengan ketinggian rendah serta inklinasi dan eksentrisitas yang tinggi. Jika dibandingkan dengan jumlah peluncuran dengan kategori orbit yang sama, satelit yang memiliki orbit dan eksentrisitas tinggi serta inklinasi menengah memiliki prosentase anomali paling besar, yang diikuti oleh satelit yang memiliki orbit.

inklinasi dan eksentrisitas tinggi. Walaupun satelit geostationer memiliki jumlah anomali terbesar, tetapi dengan jumlah peluncuran yang besar pula mengakibatkan prosentasi kejadian anomali pada kategori orbit ini lebih kecil. Prosentasi kejadian anomali terhadap peluncuran dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5. Frekuensi kejadian anomali dan prosentasi anomali terhadap peluncuran

Distribusi satelit yang mengalami anomali yang dilakukan dengan menganalisis orbit satelit tersebut dapat dilihat berdasarkan frekuensi kejadian anomali dan prosentase anomali terhadap ketinggian. Frekuensi terjadinya anomali pada satelit yang besar pada suatu parameter orbit tidak bisa lepas dari jumlah peluncuran satelit. Frekuensi anomali satelit yang besar dapat disebabkan oleh banyaknya peluncuran satelit dan pengaruh kondisi lingkungan antariksa pada satelit tersebut.

Lingkungan antariksa sebagai faktor gangguan pada satelit memiliki karakteristik yang berbeda bergantung pada ketinggiannya dari permukaan bumi (Weitz, 1999). Lingkungan antariksa ini dipenuhi dengan partikel energetik mulai dari tingkat energi rendah (eV) hingga tingkat energi tinggi (MeV) yang dapat mengakibatkan kerusakan pada satelit. Populasi partikel terbanyak berada pada daerah yang disebut sabuk radiasi Van Allen. Daerah ini terbagi menjadi dua sabuk radiasi, yaitu sabuk radiasi dalam (*inner belt*) yang membentang dari ketinggian 400 - 10.000 km dan sabuk radiasi luar (*outer belt*) yang membentang pada ketinggian 13.000 - 60.000 km. Hampir semua satelit akan melewati daerah ini, baik pada ketinggian rendah (LEO), menengah (MEO), maupun tinggi (GEO). Satelit yang melewati sabuk ini biasanya akan mengalami gangguan, baik gangguan kecil yang tidak berpengaruh pada kinerja satelit ataupun kegagalan sistem komando pada satelit dan merusak komponen elektronik hingga tidak dapat berfungsi. Selain itu satelit orbit rendah (LEO) akan melintasi daerah SAA (*south*

Atlantic Anomali). SAA terletak di -90 hingga 40 bujur geografis dan -50 hingga 0 lintang geografis pada ketinggian sekitar 500 km. Pada SAA terdapat banyak proton dan elektron berenergi tinggi yang dapat membahayakan satelit yang melintasinya. Luas daerah SAA ini akan berubah sesuai dengan kondisi geomagnet dan matahari. Semua satelit LEO (orbit rendah), baik yang memiliki inklinasi tinggi (orbit polar), menengah, maupun rendah (equatorial) akan melewati daerah ini, walaupun frekuensi satelit polar melewati SAA lebih sedikit dibandingkan dengan satelit equatorial dan satelit dengan inklinasi menengah.

Perubahan intensitas partikel energetik juga membahayakan satelit. Perubahan intensitas ini paling sering dialami satelit orbit tinggi (GEO) dan satelit yang memiliki eksentrisitas tinggi (biasanya satelit SSO) yang dapat menyebabkan terjadinya pemuatan pada satelit. Perubahan intensitas partikel energetik pada satelit GEO terutama terjadi pada siang dan malam waktu lokal satelit. Hal ini disebabkan oleh proses ionisasi akibat radiasi matahari pada waktu siang dan proses rekombinasi pada waktu malam. Pada satelit dengan eksentrisitas tinggi, perubahan intensitas partikel energetik terjadi karena selama masa orbitnya satelit ini akan melewati lingkungan antariksa yang berbeda. Satelit ini akan melewati kedua sabuk radiasi dan jika ketinggian apogeennya di atas GEO satelit ini akan mengalami radiasi secara langsung dari matahari ataupun sinar kosmik, yang sangat berbahaya bagi instrumen yang dipasang di satelit. Oleh karena itu biasanya satelit dengan tipe ini tidak banyak diluncurkan, mengingat resiko kerusakan yang sangat tinggi.

4. Kesimpulan

Satelit *geosynchronous* memiliki frekuensi kejadian anomali paling besar dibandingkan dengan satelit pada ketinggian lainnya, sedangkan jika dibandingkan dengan prosentase terhadap peluncuran, prosentase paling besar untuk mengalami anomali terjadi pada satelit dengan orbit *super synchronous* (SSO). Jika berdasarkan inklinasi, satelit dengan inklinasi rendah memiliki frekuensi dan prosentase lebih besar dibandingkan dengan inklinasi menengah dan tinggi. Jika berdasarkan eksentrisitas, satelit dengan eksentrisitas rendah memiliki frekuensi anomali lebih besar dibandingkan eksentrisitas tinggi. Akan tetapi jika dibandingkan dengan jumlah peluncuran, prosentase anomali pada eksentrisitas tinggi lebih banyak. Jika berdasarkan ketinggian, inklinasi dan eksentrisitas, satelit yang memiliki orbit tinggi, inklinasi menengah dan eksentrisitas tinggi memiliki prosentase anomali paling besar sedangkan satelit dengan orbit tinggi, inklinasi rendah dan eksentrisitas rendah memiliki frekuensi anomali paling besar. Besarnya frekuensi dan jumlah anomali sangat erat hubungannya dengan jumlah peluncuran dan kondisi antariksa satelit tersebut selama misinya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Nizam Ahmad untuk diskusinya mengenai orbit satelit.

Daftar Rujukan

- Ahmad, N. 2009, *Analisis Penyebab Anomaly Satelit Akibat Aktivitas Geomagnet*, Jurnal Sains Dirgantara, Vol 6, No. 2, hal. 133-148.
- Belov, A. et. al., 2004, *Effect of Space Weather on Technology Infrastructare ; The Relation of High and Low Orbit satellite anomalies to dijferent Geophysical parameters*, Nato Science Series, vol 176, hal 147-163. DOI: 10.1007/1-4020-2754-0_8
- Wertz, J.R and Larson, W. J. 1999, *Space Mission Analysis and Design*, Kluwer Academic Publisher
- Wertz, J. R. 2001, *Mission Geometry; Orbit and Constellation Design and Management*, Kluwer Academic Publisher.