

ANALISIS PENYEBAB ANOMALI SATELIT AKIBAT AKTIVITAS GEOMAGNET

Nizam Ahmad

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

Email : nizam@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The Analysis of satellite anomaly data and geomagnetic activities by using Kp indices during the period of 1990-2001 gives some information about estimation of the cause and impact of geomagnetic activity effects on satellite operation. This analysis shows that 58 percent of satellite anomaly events in the period of 1990-2001 probably caused by geomagnetic activities. It can be seen through Kp index values at anomaly time and time interval of 3 days before and after anomaly event. Variation on geomagnetic activity caused different effects on satellite system from small failure that can be recovered from ground station to total loss mission of satellite. This analysis also shows that many anomalies occurred in the instrumentation of GN&C system (*Guidance, Navigation and Control*) such as satellite attitude control system (ACS), satellite pointing system and sensors on satellite.

ABSTRAK

Analisis terhadap data anomali satelit dan aktivitas geomagnet melalui indeks Kp dari tahun 1990-2001 memberikan informasi prakiraan penyebab dan dampak pengaruh aktivitas geomagnet ini pada operasional satelit. Analisis ini menunjukkan bahwa 58 persen kejadian anomali satelit dalam kurun waktu 1990-2001 kemungkinan disebabkan oleh aktivitas geomagnet. Hal ini dapat dilihat melalui besarnya indeks Kp pada saat kejadian dan rentang waktu 3 hari sebelum dan sesudah kejadian anomali dilaporkan. Variasi aktivitas geomagnet ini menimbulkan dampak yang berbeda pada sistem satelit, mulai dari kerusakan yang bisa langsung dipulihkan (*recovery*) dari stasiun bumi maupun kegagalan misi satelit secara total (*total loss*). Analisis ini juga memperlihatkan bahwa kebanyakan anomali satelit dialami oleh instrumen yang terdapat dalam sistem GN&C (*Guidance, Navigation and Control*) satelit seperti sistem kontrol sikap satelit (ACS), sistem pengarah (*pointing system*) dan sensor pada satelit.

Kata kunci: *Satelit, Anomali satelit, Indeks Kp.*

1 PENDAHULUAN

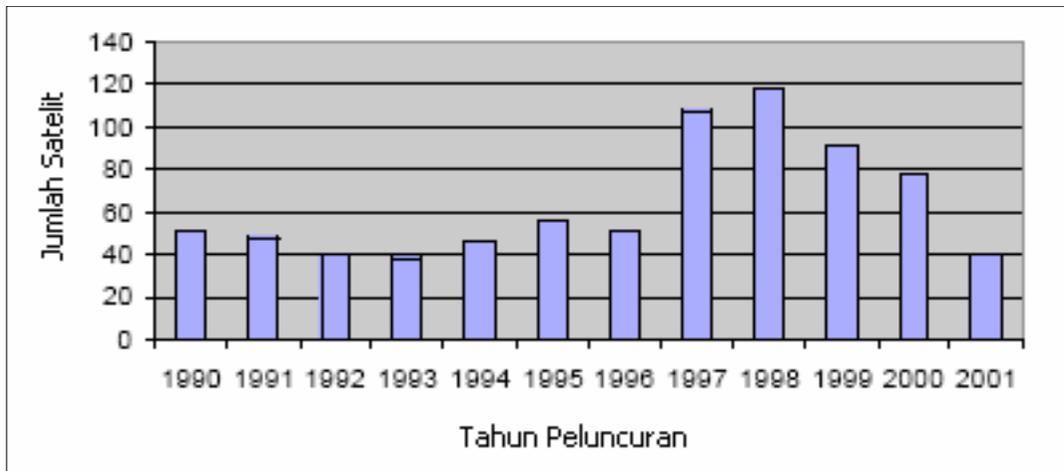
Penempatan satelit di ketinggian tertentu di atas permukaan bumi (orbit) akan selalu dipengaruhi oleh cuaca antariksa (Koons et al., 2000). Tidak ada satupun satelit, baik satelit yang ditempatkan di ketinggian orbit rendah (LEO) ataupun di orbit yang lebih tinggi (GEO) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca antariksa. Hanya saja masalahnya adalah seberapa besar cuaca antariksa ini berpengaruh pada satelit hingga dapat memberikan informasi mengenai keberlangsungan misi suatu satelit. Besarnya pengaruh cuaca antariksa ini berbeda pada setiap satelit dan ini tergantung pada orbit satelit, posisi satelit relatif pada suatu daerah tertentu di antariksa yang dalam hal ini diambil ketinggian terdekat satelit dari permukaan bumi (*perigee height*), waktu lokal satelit, tingkat aktivitas matahari dan jenis material (bahan) yang digunakan pada struktur satelit (<http://www.swpc.noaa.gov/info/Satellites.html>). Hal terakhir ini terkait dengan interaksi lingkungan antariksa terhadap satelit.

Dampak cuaca antariksa pada satelit sering disebut dengan anomali. Besar anomali ini bervariasi, mulai dari kegagalan sistem yang dapat dipulihkan (*recovery*) dalam selang waktu tertentu hingga kerusakan serius yang berimbas pada kegagalan misi satelit secara total. Peristiwa anomali satelit yang terjadi dalam selang tahun 1990 – 2001 cukup memberikan beberapa informasi mengenai bagian satelit yang kerap mengalami anomali, tingkat kerusakan yang dialami serta penyebab terjadinya anomali.

Indonesia memiliki beberapa satelit seperti Palapa C2, Telkom 1, Telkom 2 dan sebagainya yang ditempatkan pada ketinggian GSO serta satelit LAPAN TUBSAT pada ketinggian LEO. Semua satelit yang dimiliki Indonesia memiliki resiko terkena pengaruh cuaca antariksa. Oleh karena itu, dalam rangka optimalisasi satelit yang telah ada maupun yang akan dikembangkan, maka perlu adanya suatu penelitian awal mengenai dampak cuaca antariksa terhadap satelit-satelit orbit rendah (LEO) dan orbit tinggi (GEO) milik beberapa negara yang dilaporkan mengalami anomali sehingga dapat digunakan untuk membangun sebuah sistem informasi untuk peringatan dini gangguan operasional satelit-satelit Indonesia mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab dan dampak anomali satelit-satelit orbit rendah (LEO) dan tinggi (GEO) dengan harapan diperoleh informasi penyebab anomali satelit dan dampaknya bagi operasional satelit. Analisis ini dapat dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut yaitu mengkaji lingkungan antariksa yang mempengaruhi sistem satelit termasuk dampaknya, mengkaji kasus anomali satelit yang pernah dilaporkan khususnya kejadian anomali satelit dalam periode tahun 1990 – 2001 yang melaporkan bagian sistem satelit yang kerap mengalami anomali dan menganalisis data aktivitas geomagnet melalui besarnya indeks Kp untuk mengetahui besar pengaruh parameter cuaca antariksa tersebut terhadap kejadian anomali satelit.

2 DATA DAN PENGOLAHAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data satelit yang mengalami anomali dalam periode tahun 1990 – 2001 dan data aktivitas geomagnet setiap jam per tahun yang diwakili oleh indeks Kp dalam kurun waktu yang sama yaitu dari tahun 1990 – 2001 (<http://www.omniweb.gsfc.nasa.gov>). Dalam selang tahun 1990 – 2001, banyak negara seperti Amerika, Eropa, Kanada dan Jepang meluncurkan satelit untuk berbagai misi. Jumlah peluncuran satelit dalam periode ini sekitar 762 buah satelit. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2-1 (Robertson and Stoneking, 2001).



Gambar 2-1: Jumlah satelit pada peluncuran 1990-2001

Dalam rentang tahun 1990 – 2001, satelit yang dilaporkan mengalami anomali sekitar 31 buah satelit, yaitu sekitar 4,07 % dari total peluncuran. Lebih detailnya data anomali satelit ini dapat dilihat pada Tabel 2-1 (Bedingfield and Leach, 1996).

Data indeks Kp yang digunakan dalam analisis ini adalah data setiap jam selama 1 tahun untuk setiap periode waktu. Penggunaan data tiap jam ini bertujuan untuk memudahkan analisis kejadian anomali satelit dengan fenomena antariksa pada saat tersebut. Dengan demikian dapat diketahui berapa besarnya nilai indeks Kp pada saat tersebut dan seberapa besar dampaknya pada satelit yang dapat diketahui dari laporan anomali. Data ini dapat diakses melalui situs <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>.

Tabel 2-1: DATA ANOMALI SATELIT TAHUN 1990 - 2001

No.	Nama Satelit	Negara	Waktu Peluncuran	Waktu anomali	Ketinggian perigee (km)	Tipe Orbit
1.	Anik E2	Kanada	4/4/1991	20/1/ 1994	36.078	GEO
2.	Aurora 2	USA	29/5/1991	Jun 1991	36.122	GEO
3.	Landsat 6	USA	5/10/1993	5/10/1993	700	LEO
4.	Clementine	Perancis	3/12/1999	1/5/1994	605	LEO
5.	Solar A	Jepang	30/8/1991	15/12/2001	159	LEO
6.	STEP 2	USA	19/5/1994	19/5/1994	581	LEO
7.	TELSTAR 402	USA	9/9/1994	9/9/1994	99	LEO
8.	TOMS EP	USA	2/7/1996	2/7/1996	697	LEO
9.	HOT BIRD 2	Eropa	21/11/1996	31/12/1996	35.775	GEO
10.	EARLY BIRD	USA	24/12/1997	28/12/1997	126	LEO
11.	INTELSAT 801	ITSO	1/3/1997	Mar 1997	35.767	GEO
12.	IRIDIUM 5	USA	5/5/1997	5/5/1997	777	LEO
13.	IRIDIUM 11	USA	19/12/1998	18/6/1997	708	LEO
14.	IRIDIUM 27	USA	14/9/1997	14/9/1997	138	LEO
15.	IRIDIUM 42	USA	8/12/1997	8/12/1997	776	LEO
16.	SSTI LEWIS	USA	23/8/1997	26/8/1997	124	LEO
17.	GALAXY 4	USA	25/6/1993	19/5/1998	35.727	GEO
18.	GFO	USA	10/2/1998	Mar 1998	785	LEO
19.	GOES 9	USA	23/5/1995	7/7/1998	36.195	GEO
20.	TERRIERS	USA	18/5/1999	18/5/1999	490	LEO
21.	HST	USA	24/4/1990	1/11/1999	563	LEO
22.	IMAGE	USA	25/3/2000	25/3/2000	810	LEO
23.	GALAXY 8	USA	8/12/1997	1/9/2000	35.927	GEO
24.	ECHOSTAR 5	USA	23/9/1999	1/7/2001	35.773	GEO
25.	FUSE 1	USA	24/6/1999	1/12/2001	745	LEO
26.	TELSTAR 401	USA	16-12-1993	9/10/1994	35.761	GEO
27.	INTELSAT K	ITSO	10/6/1992	20/1/1994	36.278	GEO
28.	ANIK E1	Kanada	26-9-1991	20/1/1994	36.081	GEO
29.	HIMAWARI 4	Jepang	5/9/1989	20/1/1994	36.423	GEO
30.	AUSSAT 2	Australia	27-11-1985	Jun-1990	35.854	GEO
31.	AUSSAT 3	Australia	16-9-1987	Okt-1990	36.139	GEO

Tabel 2-2: SKALA BADAI GEOMAGNET DARI NOAA

Category		Effect	Physical measure
Scale	Descriptor	Duration of event will influence severity of effects	
Geomagnetic Storms			Kp values* determined every 3 hours
G 5	Extreme	<p>Power systems: widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage.</p> <p>Spacecraft operations: may experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites.</p> <p>Other systems: pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.)**.</p>	Kp = 9
G 4	Severe	<p>Power systems: possible widespread voltage control problems and some protective systems will mistakenly trip out key assets from the grid.</p> <p>Spacecraft operations: may experience surface charging and tracking problems, corrections may be needed for orientation problems.</p> <p>Other systems: induced pipeline currents affect preventive measures, HF radio propagation sporadic, satellite navigation degraded for hours, low-frequency radio navigation disrupted, and aurora has been seen as low as Alabama and northern California (typically 45° geomagnetic lat.)**.</p>	Kp = 8, including a 9-
G 3	Strong	<p>Power systems: voltage corrections may be required, false alarms triggered on some protection devices.</p> <p>Spacecraft operations: surface charging may occur on satellite components, drag may increase on low-Earth-orbit satellites, and corrections may be needed for orientation problems.</p> <p>Other systems: intermittent satellite navigation and low-frequency radio navigation problems may occur, HF radio may be intermittent, and aurora has been seen as low as Illinois and Oregon (typically 50° geomagnetic lat.)**.</p>	Kp = 7
G 2	Moderate	<p>Power systems: high-latitude power systems may experience voltage alarms, long-duration storms may cause transformer damage.</p> <p>Spacecraft operations: corrective actions to orientation may be required by ground control; possible changes in drag affect orbit predictions.</p> <p>Other systems: HF radio propagation can fade at higher latitudes, and aurora has been seen as low as New York and Idaho (typically 55° geomagnetic lat.)**.</p>	Kp = 6
G 1	Minor	<p>Power systems: weak power grid fluctuations can occur.</p> <p>Spacecraft operations: minor impact on satellite operations possible.</p> <p>Other systems: migratory animals are affected at this and higher levels; aurora is commonly visible at high latitudes (northern Michigan and Maine)**.</p>	Kp = 5

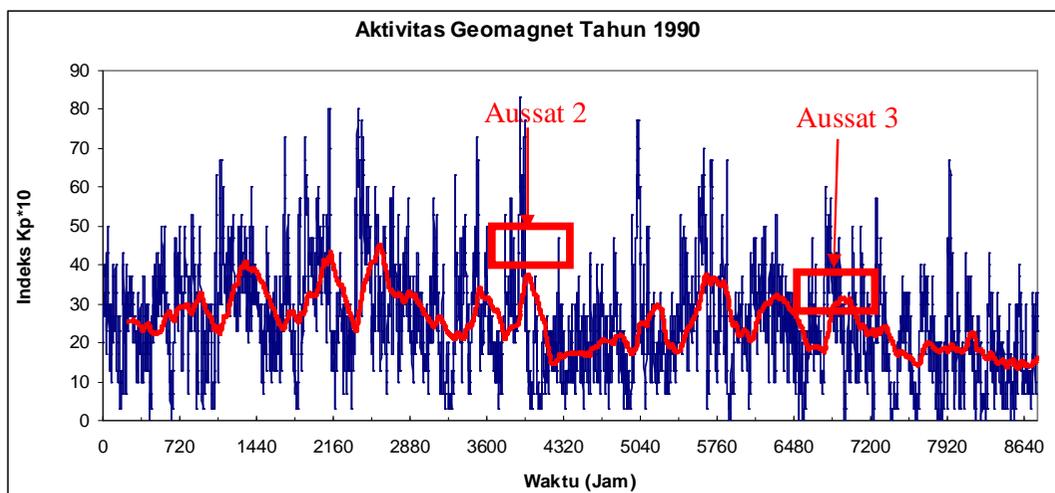
Laporan anomali (*anomaly report*) mengandung informasi mengenai waktu dan lokasi satelit ketika satelit mengalami kerusakan. Dalam hal ini lokasi satelit dinyatakan dengan ketinggian terdekat satelit dari bumi atau yang lebih sering disebut dengan ketinggian *perigee* (*perigee height*). Kerusakan pada suatu satelit bisa disebabkan cuaca antariksa secara langsung, kesalahan pada sistem satelit sendiri ataupun efek lanjutan akibat cuaca antariksa yang secara perlahan menyebabkan satelit mengalami kerusakan kecil pada awalnya dan kemudian membesar hingga merusak beberapa sub sistem bahkan sistem satelit sendiri (Hasting, Garret, 1996). Kerusakan yang disebabkan cuaca antariksa dapat dianalisis melalui data fluks partikel yang memiliki energi tinggi (partikel energetik) seperti proton dan elektron serta data indeks Kp pada saat satelit mengalami anomali. Namun dalam penelitian ini analisis difokuskan pada penggunaan data indeks Kp untuk melihat seberapa besar pengaruh aktivitas geomagnet terhadap kasus kerusakan satelit. Dalam hal ini NOAA telah membuat suatu nilai (skala) terhadap besaran indeks Kp yang mulai mempengaruhi operasional satelit. Skala ini dapat dilihat pada Tabel 2-2 (<http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales>). Skala ini memperlihatkan bahwa variasi nilai indeks

Kp merupakan indikator perubahan energi plasma di sekitar satelit. Pengaruh terhadap satelit diperkirakan mulai terjadi bila nilai indeks Kp mencapai 5. Semakin tinggi nilai indeks ini maka peningkatan energi plasma juga semakin besar yang menyebabkan dampaknya pada satelit juga bervariasi. Tidak semua kasus anomali satelit pada Tabel 2-1 disebabkan oleh aktivitas geomagnet. Oleh karena itu analisis kejadian anomali satelit dengan menggunakan skala indeks dari NOAA merupakan suatu langkah awal dalam melihat keterkaitan fenomena anomali satelit dari tinjauan variasi aktivitas geomagnet melalui indeks Kp.

Waktu anomali satelit secara tidak langsung memberikan informasi mengenai lokasi satelit (ketinggian, lintang dan bujur) pada peta bumi (*world map*). Hal ini dapat diketahui dengan mensimulasikan data orbit satelit (TLE) pada saat kejadian anomali dengan menggunakan perangkat penjejak (*tracking*) satelit seperti Orbitron (<http://www.stoff.pl>). Informasi waktu anomali ini digunakan sebagai rujukan untuk melihat kondisi aktivitas geomagnet melalui indeks Kp pada saat tersebut. Bila ternyata nilai indeks ini cukup besar maka sebagai prakiraan awal dapat disinyalir bahwa kemungkinan anomali satelit terjadi akibat aktivitas geomagnet. Hal ini dilakukan untuk seluruh kasus satelit yang dilaporkan dalam periode waktu tahun 1990 – 2001.

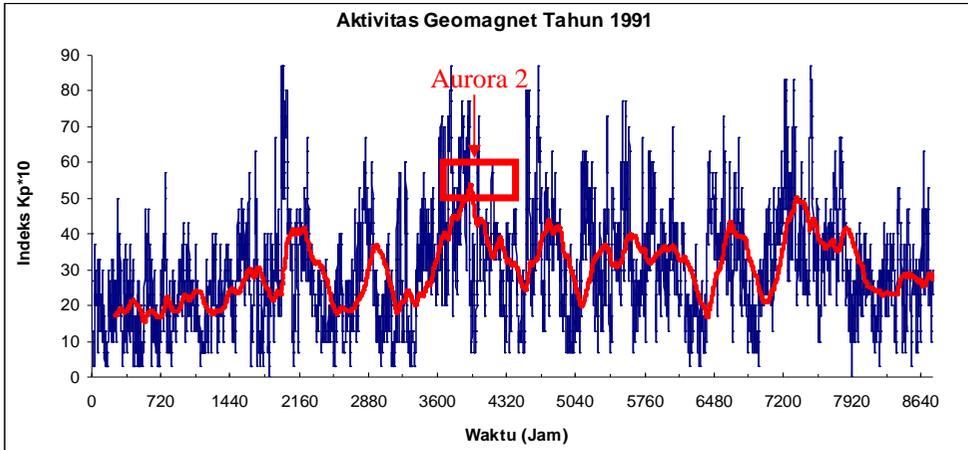
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data indeks Kp diplot dengan sumbu-x menyatakan waktu dengan satuan jam dalam 1 tahun dan sumbu-y menyatakan nilai indeks Kp dikali 10. Dengan demikian profil aktivitas geomagnet yang bersesuaian dengan kejadian anomali satelit dapat dilihat pada Gambar 3-1 sampai Gambar 3-10.



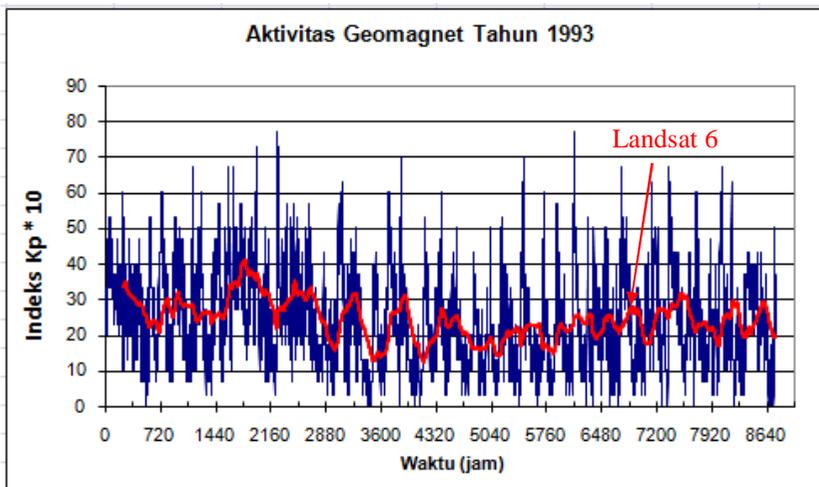
Gambar 3-1: Kejadian anomali satelit Aussat 2 dan Aussat 3

Pada tahun 1990 terjadi anomali pada satelit Aussat 2 yaitu pada bulan Juni dan Aussat 3 pada bulan Oktober. Kedua satelit ini mengalami kegagalan pada sistem komando yang berdampak pada penurunan kinerja sistem telemetri dan sistem kontrol sikap satelit (ACS). Bila dilihat dari aktivitas geomagnet pada Gambar 3-1, indeks Kp untuk kasus Aussat 2 dapat mencapai 8,3 dan untuk Aussat 3 dapat mencapai 6.



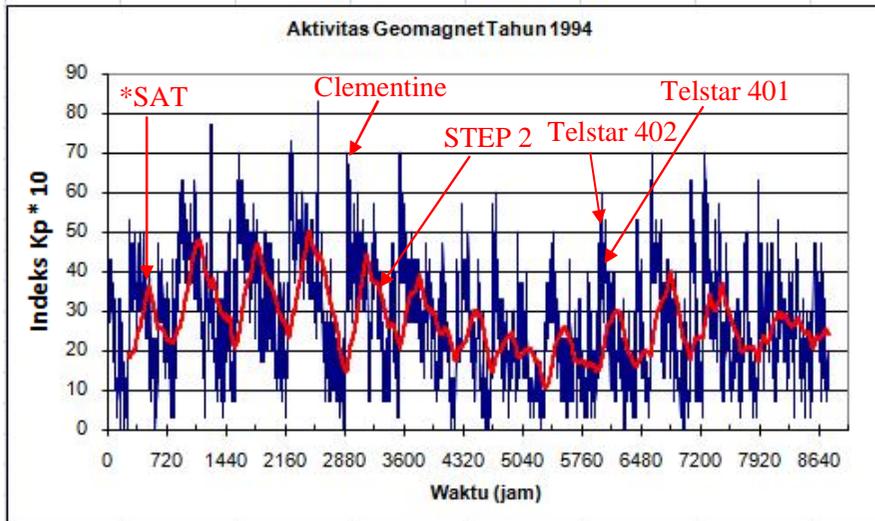
Gambar 3-2 : Kejadian anomali satelit Aurora 2

Pada tahun 1991 satelit Aurora 2 dilaporkan mengalami kerusakan pada motor roket pendorong. Bila dilihat tingkat aktivitas geomagnet pada bulan Juni tahun 1991, indeks Kp bisa mencapai 8,7. Tingkat aktivitas sebesar ini dapat menyebabkan satelit gagal total (*total loss*).



Gambar 3-3 : Kejadian anomali satelit Landsat 6

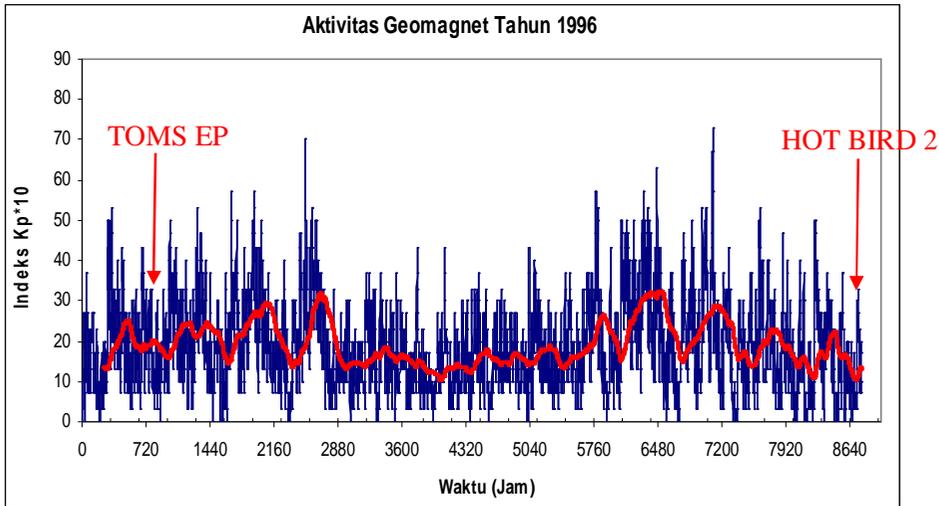
Pada tahun 1992, tidak ada laporan kejadian anomali satelit sehingga analisis tidak dapat dilakukan. Namun pada 5 Oktober 1993 dilaporkan terdapat satu anomali satelit yaitu Landsat 6 yang mengalami kegagalan total pada sistem propulsi hingga menyebabkan satelit ini meledak. Bila dilihat dari aktivitas geomagnet pada saat kejadian, indeks Kp maksimum bernilai 2,3. Begitu pula bila dilihat pada rentang tanggal 2-11 Oktober 1993, indeks Kp maksimum bernilai 4,7.



- * SAT
- 1. Anik E1
- 2. Anik E2
- 3. Intelsat K
- 4. Himawari 4

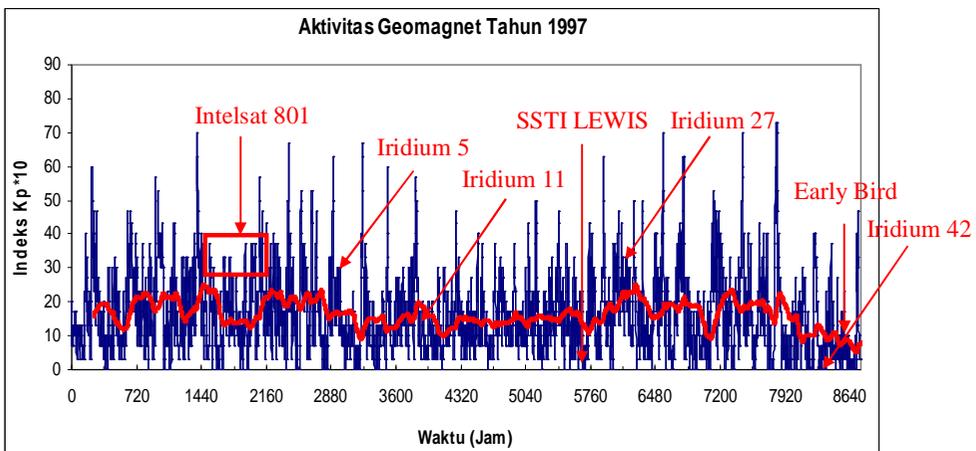
Gambar 3-4 : Kejadian anomali beberapa satelit tahun 1994

Pada tahun 1994, terdapat banyak satelit yang dilaporkan mengalami anomali di antaranya adalah satelit Anik E1, Anik E2 dan Intelsat K yang mengalami kegagalan pada sistem kendali sikap satelit, satelit Himawari 4 mengalami kerusakan pada sensor radiometer, satelit Clementine mengalami masalah pada piranti lunak, STEP 2 yang mengalami ketidak-akurasian pada sistem pointing antena yang berarah ke Bumi, Telstar 401 mengalami gangguan pada sistem AT&T (sistem komunikasi) selama 1 jam serta Telstar 402 yang meledak karena kebocoran pada tanki sistem propulsi. Besarnya indeks Kp bersesuaian dengan kejadian anomali satelit Intelsat K, Anik E1, Anik E2 dan Himawari 4 adalah sebesar 3,7; Clementine sebesar 7 ; STEP 2 sebesar 3,3; Telstar 402 sebesar 5,3 dan Telstar 401 sebesar 4,3.



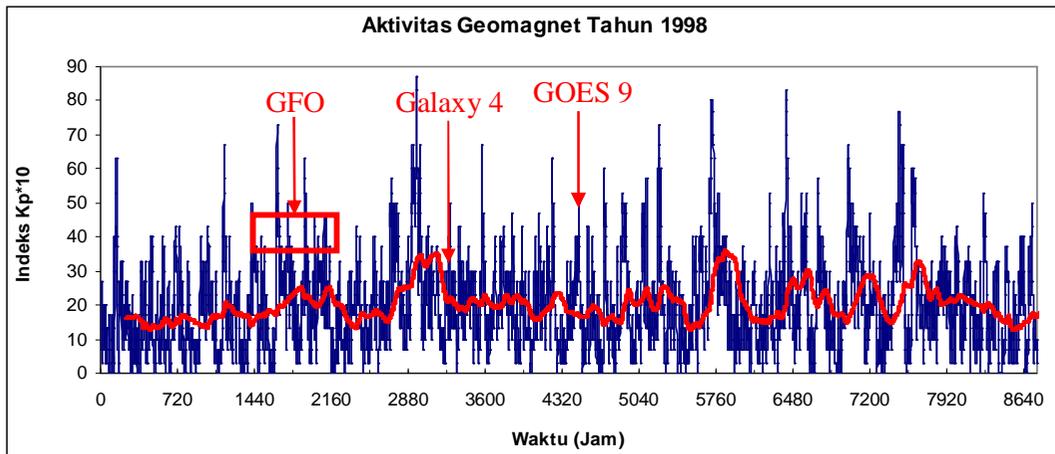
Gambar 3-5: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 1996

Pada tahun 1995, tidak dilaporkan adanya kejadian anomali pada satelit. Pada tanggal 7 Februari 1996, satelit TOMS EP mengalami kerusakan pada sensor bintang (*star sensor*) dan pada tanggal 31 Desember 1996, satelit HOT BIRD 2 mengalami kebocoran pada tanki bahan bakar. Besarnya indeks Kp pada kasus satelit TOMS EP adalah 3,3. Pada rentang waktu tanggal 4-10 Februari 1996, indeks Kp maksimum bernilai 4. Untuk kasus satelit HOT BIRD 2, indeks Kp bernilai 3,3 dengan indeks Kp maksimum dalam rentang waktu tanggal 28 Desember 1996 hingga 3 Januari 1997 adalah sebesar 3,3. Dengan demikian kerusakan kedua satelit kemungkinan bukan disebabkan oleh aktivitas geomagnet.



Gambar 3-6: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 1997

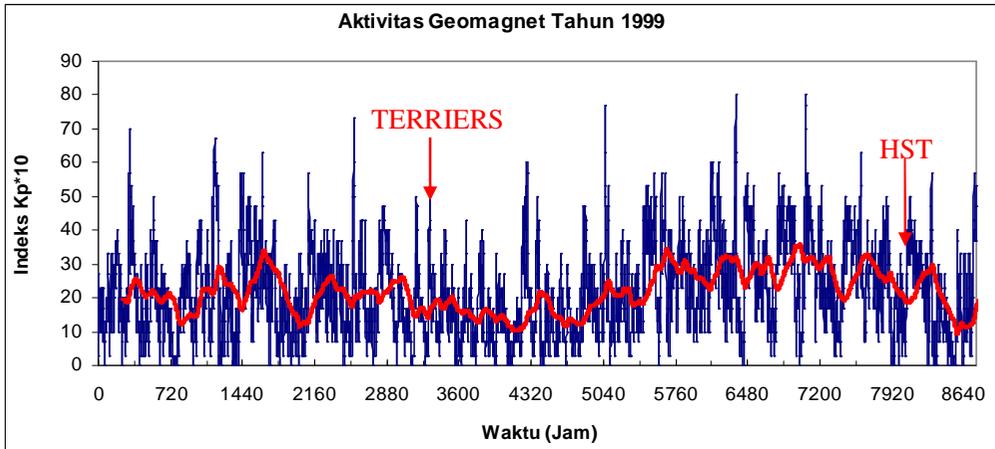
Pada tahun 1997 banyak dilaporkan satelit yang mengalami anomali di antaranya adalah satelit Early Bird pada tanggal 28 Desember 1997 mengalami kegagalan pada sistem GPS dan baterai. Besar indeks Kp pada saat kejadian ini adalah 0,3, sedangkan untuk rentang waktu tanggal 25-31 Desember 1997, indeks Kp maksimum bernilai 4,7. Pada bulan Maret 1997, Intelsat 801 mengalami kegagalan kontrol pada sistem sikap satelit. Indeks Kp pada bulan ini bisa mencapai 5,7. Satelit Iridium 5 pada tanggal 5 Mei 1997 dan Iridium 11 pada tanggal 18 Juni 1997 mengalami masalah pada sistem roda momentum satelit (*reaction wheel*). Indeks Kp saat kejadian anomali Iridium 5 adalah 3, sedangkan pada selang waktu tanggal 2-8 Mei 1997, Indeks Kp bernilai maksimum 5. Pada kasus Iridium 11, Indeks Kp pada saat kejadian sebesar 1,3 sedangkan dalam rentang waktu tanggal 15-21 Juni 1997, Indeks Kp bernilai maksimum 2,0. Pada tanggal 14 September, Iridium 27 mengalami kerusakan pada sistem pendorong (*thruster*). Indeks Kp pada saat kejadian sekitar 3,3 dan pada selang waktu tanggal 11-17 September 1997, indeks Kp maksimum bernilai 4,3. Pada tanggal 8 Desember 1997, satelit Iridium 42 mengalami masalah pada *wheel technometer*, yaitu salah satu bagian dari sistem roda momentum satelit. Indeks Kp pada saat kejadian sebesar 0,3, sedangkan pada selang waktu tanggal 5-11 Desember 1997, indeks Kp maksimum bernilai 4. Pada tanggal 26 Agustus 1997, wahana SSTI LEWIS mengalami kerusakan pada kontrol sikap satelit. Indeks Kp pada saat tersebut sebesar 0,7 sedangkan pada selang waktu tanggal 23-29 Agustus 1997, indeks Kp maksimum bernilai 4,3.



Gambar 3-7: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 1998

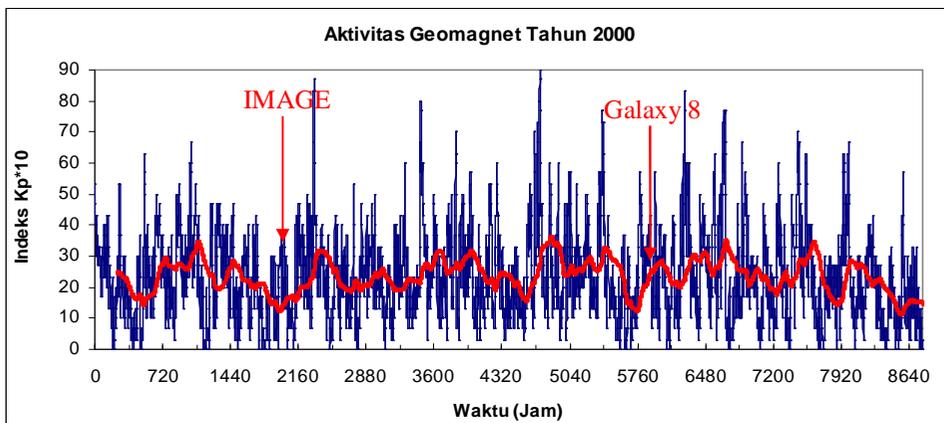
Pada tahun 1998 juga terdapat beberapa laporan kejadian anomali satelit di antaranya satelit Galaxy 4 pada tanggal 19 Mei 1998 mengalami kerusakan pada sistem kontrol sikap (ACS). Indeks Kp pada saat itu sebesar 2,3, sedangkan pada selang tanggal 16-22 Mei 1998, indeks Kp maksimum

bernilai 5,0. Pada bulan Maret 1998, satelit GFO mengalami kegagalan pada sistem navigasi GPS. Besar indeks Kp maksimum saat itu sekitar 7,3. Pada tanggal 7 Juli 1998, satelit GOES 9 mengalami gangguan pada sistem antena (*pointing*). Besar indeks Kp saat itu sekitar 2, sedangkan pada selang 4-10 Juli 1998, Indeks Kp maksimum bernilai 5.



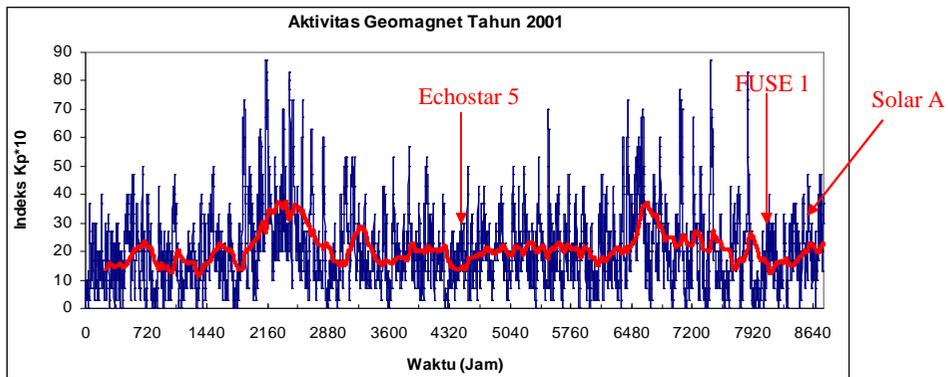
Gambar 3-8: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 1999

Pada tanggal 18 Mei 1999, satelit TERRIERS dilaporkan mengalami polaritas pada sistem kontrol sikap satelit (ACS). Besar indeks Kp saat itu sekitar 5. Dalam selang waktu tanggal 15-21 Mei 1999, indeks Kp maksimum juga bernilai 5. Pada tanggal 1 November 1999, 4 dari 6 buah sistem gyro pada wahana HST dilaporkan mengalami kegagalan fungsi. Indeks Kp saat itu dan pada selang waktu tanggal 29 Oktober – 4 November 1999, memiliki nilai maksimum sekitar 3,7.



Gambar 3-9: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 2000

Pada tanggal 25 Maret 2000, satelit IMAGE mengalami kerusakan pada alat pengatur tekanan bagian dalam satelit. Besar indeks Kp saat itu dan dalam selang waktu tanggal 22-28 Maret 2000 bernilai maksimum sekitar 3,7. Pada tanggal 1 September 2000, 3 dari 4 buah sub bagian sistem *thruster* pada satelit Galaxy 8 mengalami kegagalan. Besar indeks Kp pada saat itu diperkirakan 3,3 dan pada selang waktu tanggal 29 Agustus - 4 September 2000, indeks Kp bernilai maksimum sekitar 5,7.



Gambar 3-10: Kejadian anomali beberapa satelit tahun 2001

Pada tanggal 1 Juli 2001, 1 dari 3 bagian sistem roda momentum satelit Echostar 5 mengalami kegagalan. Besar indeks Kp pada saat itu dan pada selang waktu tanggal 28 Juni - 4 Juli 2001, memiliki nilai maksimum sekitar 2,7. Pada tanggal 1 Desember 2001, 2 dari 4 bagian sistem roda momentum satelit FUSE 1 juga mengalami kegagalan fungsi. Indeks Kp saat itu sekitar 2,7 dan pada selang waktu 28 november - 4 Desember 2001, indeks Kp maksimum bernilai 3,3. Pada tanggal 15 Desember 2001, satelit Jepang yaitu Solar A kehilangan kontrol akibat kerusakan pada sistem kontrol sikap satelit. Indeks Kp pada saat itu diperkirakan sebesar 3 dan pada selang waktu tanggal 12-18 Desember 2001, indeks Kp bernilai maksimum sekitar 3,7.

Indeks Kp merupakan salah satu parameter aktivitas geomagnet yang dapat digunakan untuk menganalisis tingkat gangguan medan magnet bumi yang disebabkan radiasi partikel terutama dari angin matahari pada lapisan magnetosfer bumi. Radiasi partikel ini secara spontan menyebabkan perubahan pada energi plasma di sekitar satelit sehingga bila terjadi peningkatan energi pada plasma akibat badai geomagnet bumi, maka indeks Kp juga akan mengalami peningkatan (Kim et al., 2006). Pada tingkat minimum, plasma ini memiliki energi sekitar 5 eV. Energi ini memang tidak cukup besar untuk merusak permukaan satelit, namun secara perlahan dapat menimbulkan efek korosi pada beberapa bagian tertentu di permukaan satelit (Hasting and Garret, 1996). Pada saat terjadi sub badai geomagnet (*sub geomagnetic storm*), plasma mengalami peningkatan energi hingga

mencapai orde 10^2 keV. Energi sebesar ini dapat menyebabkan pemuatan pada permukaan satelit (*surface charging*). Pada tingkat aktivitas geomagnet yang lebih besar (*geomagnetic storm*) menyebabkan plasma mengalami peningkatan energi secara signifikan hingga mencapai orde MeV yang dapat menembus selubung permukaan satelit hingga mencapai komponen dalam satelit. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa komponen bagian dalam satelit dan mempengaruhi kinerja sistem sensor pada satelit.

4 DISKUSI

Analisis yang dilakukan terhadap parameter cuaca antariksa yang dalam hal ini ditinjau melalui aktivitas geomagnet, dapat dilihat melalui besarnya indeks Kp, baik pada saat kejadian anomali satelit maupun pada rentang 3 hari sebelum dan sesudah kejadian anomali. Pengambilan selang waktu 3 hari sebelum dan sesudah kejadian anomali bertujuan untuk menganalisis tingkat aktivitas geomagnet ketika satelit dilaporkan mengalami anomali. Selang waktu tersebut cukup untuk menganalisis besarnya dampak aktivitas geomagnet terkait dengan anomali satelit. Kejadian anomali pada satelit dapat terjadi beberapa hari sebelum stasiun bumi mendeteksi adanya masalah pada satelit. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh dampak gangguan aktivitas geomagnet tidak spontan pada sistem satelit dalam arti dampak ini terjadi secara perlahan karena tingkat energinya tidak cukup besar untuk menimbulkan kerusakan serius pada satelit. Anomali satelit juga dapat terjadi secara kontinu dalam arti ketika suatu sub sistem satelit dilaporkan mengalami anomali, maka anomali pada sub sistem ini berkemungkinan mempengaruhi sub sistem satelit lainnya. Hal ini juga bergantung pada tingkat aktivitas geomagnet beberapa hari setelah satelit dilaporkan mengalami anomali. Dengan demikian pengambilan selang waktu 3 hari sebelum dan sesudah kejadian anomali dilaporkan cukup untuk menganalisis pengaruh tingkat aktivitas geomagnet pada satelit. Analisis ini sekaligus memberikan informasi prakiraan penyebab kerusakan/kegagalan beberapa sistem pada satelit. Data anomali satelit yang dilaporkan dari tahun 1990 – 2001 dan data indeks Kp tiap jam dalam rentang waktu tersebut dapat digunakan untuk analisis awal penyebab anomali, apakah bersumber dari kegagalan pada sistem satelit sendiri ataupun bersumber dari pengaruh aktivitas geomagnet baik yang memiliki dampak langsung maupun secara perlahan. Analisis prakiraan penyebab anomali satelit berdasarkan data anomali satelit dan data indeks Kp pada rentang waktu tahun 1990 – 2001 dapat dilihat pada Tabel 4-1 dan informasi kerusakan yang dialami satelit tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-2 (Bedingfield and Leach, 1996).

Tabel 4-1: PRAKIRAAN PENYEBAB ANOMALI SATELIT

Nama Satelit	Waktu Anomali	Indeks Kp maksimum		Prakiraan Penyebab (GA/S/L)
		Saat Anomali (SA)	Selang Waktu (SW)	
Aussat 2	Jun 1990	8,3	8,3	AG
Aussat 3	Okt 1990	6	6	AG
Aurora 2	Jun 1991	8,7	8,7	AG
Landsat 6	5 Okt 1993	2,3	4,7	S/L
Anik E1	20 Jan 1994	3,7	5	AG
Anik E2	20 Jan 1994	3,7	5	AG
Intelsat K	20 Jan 1994	3,7	5	AG
Himawari 4	20 Jan 1994	3,7	5	AG
Clementine	1 Mei 1994	7	7	AG
STEP2	19 Mei 1994	3,3	5	AG
Telstar 401	9 Okt 1994	4,3	5,3	AG
Telstar 402	9 Sept 1994	5,3	6	AG
TOMS EP	7 Feb1996	3,3	4	S
HOTBIRD 2	31 Des 1996	3,3	3,3	S/L
Early Bird	28 Des 1997	0,3	4,7	S/L
Intelsat 801	Mar 1997	5,7	5,7	AG
Iridium 5	5 Mei 1997	3	5	AG
Iridium 11	18 Jun 1997	1,3	2	S
Iridium 27	14 Sep 1997	3,3	4,3	S
Iridium 42	8 Des 1997	0,3	4	S
SSTI LEWIS	26 Aug 1997	0,7	4,3	S
GFO	Mar 1998	7,3	7,3	AG
Galaxy 4	19 Mei 1998	2,3	5	AG
GOES 9	7 Jul 1998	2	5	AG
TERRIERS	18 Mei 1999	5	5	AG
HST	1 Nov 1999	3,7	3,7	S
IMAGE	25 Mar 2000	3,7	3,7	S
Galaxy 8	1 Sep 2000	3,3	5,7	AG
Echostar 5	1 Jul 2001	2,7	2,7	S
FUSE 1	1 Des 2001	2,7	3,3	S
Solar A	15 Des 2001	3	3,7	S

Pada Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa dalam rentang tahun 1990 – 2001 diperkirakan satelit yang mengalami anomali akibat cuaca antariksa yang dalam hal ini ditinjau dari variasi aktivitas geomagnet melalui besarnya nilai indeks Kp, ada sebanyak 18 satelit dari 31 kejadian anomali satelit yang dilaporkan dalam kurun waktu tersebut. Analisis ini dilihat dari besarnya Indeks Kp pada saat satelit mengalami anomali (Saat Anomali – SA) maupun dalam selang waktu 3 hari sebelum dan sesudah waktu kejadian anomali (Selang Waktu – SW) dengan menggunakan skala yang berasal dari NOAA. Bila indeks Kp sama atau lebih dari 5, maka analisis menyatakan anomali kemungkinan berasal dari aktivitas geomagnet (Aktivitas Geomagnet - AG), dan bila indeks Kp kurang dari 5, anomali satelit kemungkinan berasal dari kegagalan sistem sendiri (Sistem - S) atau dari lainnya (Lain - L) yang dapat

berasal dari tumbukan serpihan benda antariksa (*debris*) ataupun dampak semburan partikel energi tinggi seperti proton dan elektron secara langsung pada satelit.

Tabel 4-2: PRAKIRAAN KERUSAKAN SATELIT AKIBAT AKTIVITAS GEOMAGNET

Satelit Name	Failure
Aussat 2	phantom commands : affected telemetry system and the ACS
Aussat 3	phantom commands : affected telemetry system and the ACS
Aurora 2	Motor fault
Landsat 6	The primary solar array drive had failed
Anik E1	damage to gyroscopic guidance system due to electrostatic discharge
Anik E2	Magnetic storm destroyed ACS
Intelsat K	electrostatic discharge disabled the momentum wheel control circuitry
Himawari 4	Visible Infrared Spin Scan Radiometer gain setting change in state due to electrostatic discharges
Clementine	Software error
STEP2	Noisy earth sensor affects pointing accuracy
Telstar 401	AT&T experienced a 1-hour disruption in service due to an electrostatic discharge
Telstar 402	Propulsion System failure
TOMS EP	Coarse Sun Sensors miswired; magnetic torque rod polarity error
HOTBIRD 2	Fuel tank leak; Apogee transfer anomaly
Early Bird	GPS unit shorted to bus draining batteries
Intelsat 801	Ground command error caused uncontrollable spin
Iridium 5	Faulty wheel electronics.
Iridium 11	Faulty wheel electronics.
Iridium 27	Thruster anomaly depleted operational fuel
Iridium 42	Wheel tachometer failure
SSTI LEWIS	Failure to monitor spacecraft during initial operations
GFO	GPS receivers fail to maintain navigation state
Galaxy 4	Catastrophic attitude control failure
GOES 9	Noisy pointing caused by momentum wheels failures.
TERRIERS	ACS polarity error controlling magnetic torquer coil
HST	Fourth of six gyros fails
IMAGE	Nutation damper liquid immobilized by surface tension
Galaxy 8	Three of four xenon ion thrusters fail.
Echostar 5	One of three momentum wheels fails
FUSE 1	Second of four reaction wheels fails
Solar A	Safe mode during solar eclipse, unexpected spin, loss of control

5 KESIMPULAN

Kasus anomali satelit yang terjadi dari tahun 1990 – 2001 memperlihatkan bahwa sekitar 58 % kejadian anomali satelit diperkirakan disebabkan oleh variasi aktivitas geomagnet yang dilihat melalui besarnya nilai indeks Kp. Analisis ini dilakukan dengan melihat kejadian anomali satelit yang berisi informasi waktu dan posisi satelit ketika mengalami anomali dengan tingkat aktivitas geomagnet dalam selang 3 hari sebelum dan sesudah kejadian anomali satelit. Analisis ini juga memperlihatkan tingkat kerusakan yang berbeda-beda untuk masing-masing kasus anomali satelit yang dapat dilihat pada Tabel 4-2 pada Lampiran 1. Bagian instrumen satelit yang kerap mengalami kerusakan dari laporan anomali terdapat pada bagian sistem GN&C (*Guidance, Navigation and Control*) satelit seperti sistem kontrol sikap satelit, sistem pengarah (*pointing*) pada beberapa sensor termasuk perangkat lunak satelit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada saudara Heri Sutastio yang banyak membantu penulis dalam memperoleh dan mengolah data yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bedingfield, K.L. and Leach, R.D, 1996. *Spacecraft System Failures and Anomalies Attributed to the Natural Space Environment*, National Aeronautics and Space Administration Marshall Space Flight Center - MSFC, Alabama 35812.
- Hasting, D. and Garret, H., 1996. *Spacecraft Environment Interaction*, Cambridge University Press.
- Kim, K.H.; Moon, Y.J.; Cho, K.S.; and Park, J.Y, 2006. *Atmospheric Drag Effects on the KOMPSAT-1 Satellite During Geomagnetic Superstorms*, *Earth Planets Space*, 58, e25–e28.
- Koons, H.C.; Fennel, J.F.; and Blake, J.B, 2000. *The Impact Of The Space Environment On Space System*, 6th Spacecraft Charging Technology Conference, AFRL-VS-TR-20001578.
- Robertson, B. and Stoneking, E., *Satellite GN&C Anomaly Trends*, AAS 03-071.