

FLUKS DAN DISTRIBUSI PARTIKEL ENERGETIK DI ORBIT LEO PENYEBAB TERJADINYA ANOMALI SATELIT

Nizam Ahmad dan Rasdewita K.
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
E-mail : nizam@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The variation of satellite anomaly caused by the impact of energetic particle depends on the energy and particle fluxes distributed on the region of satellite placement. The determination on fluxes and particle distribution in low earth orbit was done by analyzing the satellite anomaly cases from the year of 2000 until 2009 and using particle data from NOAA 15 satellite. The analysis gives information about 6 anomaly cases occurred at high latitude, 3 cases at mid latitude dan 12 cases at low latitude. Most satellite anomaly cases caused by proton and electron simultaneously, wherein the flux order about 10^4 up to 10^6 particles/cm³ and the energy, $E > 30$ keV for electron and $80 < E < 240$ keV for proton. This analysis also shows most anomaly cases were occurred on polar satellite at 23 local time.

Keywords: *Satellite anomaly, Proton, Electron*

ABSTRAK

Tingkat anomali satelit akibat tumbukan partikel energetik bervariasi bergantung pada energi dan fluks partikel yang terdistribusi pada suatu wilayah penempatan satelit. Penentuan fluks dan distribusi partikel di orbit rendah dilakukan dengan menganalisis data kasus anomali satelit dari tahun 2000 – 2009 dan data partikel dari satelit NOAA 15. Analisis ini memberikan informasi sebanyak 6 kasus anomali satelit terjadi di lintang tinggi, 3 kasus di lintang menengah dan 12 kasus di lintang rendah. Kebanyakan kasus anomali satelit disebabkan oleh proton dan elektron secara bersamaan dengan besar fluks sekitar orde 10^4 hingga 10^6 partikel/cm³ dengan energi $E > 30$ keV untuk elektron dan $80 < E < 240$ keV untuk proton. Analisis ini juga memperlihatkan bahwa kebanyakan anomali dialami oleh satelit-satelit yang memiliki inklinasi polar dan dominan terjadi pada pukul 23 waktu lokal.

Kata kunci: *Anomali satelit, Proton, Elektron*

1 PENDAHULUAN

Kasus kerusakan satelit yang lebih dikenal dengan istilah anomali satelit banyak dialami oleh satelit-satelit yang berada pada ketinggian orbit rendah (LEO) dan orbit tinggi Bumi (GEO). Di lingkungan antariksa, penyebab dominan anomali satelit ini bersumber dari partikel bermuatan yakni proton dan elektron yang tersebar acak di permukaan Bumi (Barth and Gorsky, 1997). Partikel-partikel ini dihasilkan terutama dari peristiwa lontaran massa korona Matahari (*Coronal Mass Ejection* - CME) dan sinar kosmik galaksi (*Galactic Cosmic Ray* - GCR) dalam bentuk partikel murni (proton dan elektron) maupun dalam bentuk plasma sebagai hasil ionisasi kedua partikel tersebut (Schwenn, 2006).

Untuk mengetahui jumlah fluks dan daerah sebaran (distribusi) partikel energetik yang memicu terjadinya anomali satelit ini merupakan suatu hal yang sulit karena minimnya satelit yang memiliki misi khusus untuk merekam data partikel untuk setiap inklinasi dan setiap ketinggian satelit. Saat ini hanya ada beberapa satelit orbit rendah yang melakukan perekaman data partikel, beberapa di antaranya adalah satelit TIROS, METOP dan seri satelit NOAA. Keseluruhan satelit ini merupakan satelit orbit polar dengan ketinggian sekitar 800 km dalam arti hingga saat ini belum ada satelit khusus yang melakukan perekaman distribusi partikel di orbit ekuator.

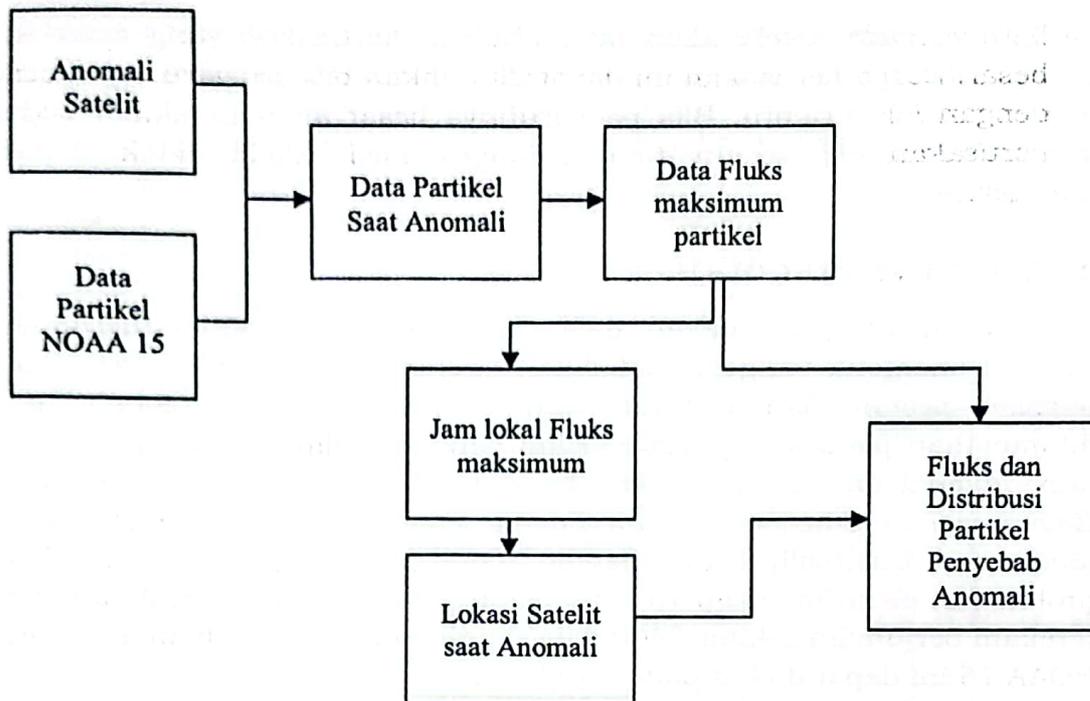
Informasi jumlah fluks dan distribusi partikel ini sangat perlu untuk menganalisis kejadian anomali satelit yang disebabkan oleh cuaca antariksa (Fennel et al., 2000). Oleh karena itu diperlukan suatu metode dengan cara menganalisis kejadian anomali satelit yang dilaporkan oleh para operator satelit dan dapat diakses melalui internet. Namun permasalahannya adalah tidak semua laporan ini memiliki informasi lengkap yang diperlukan untuk analisis kejadian anomali satelit. Untuk menganalisis kejadian anomali suatu satelit setidaknya mengandung informasi mengenai nama satelit yang mengalami anomali, waktu kejadian yang terdiri dari tanggal, bulan tahun dan jam lokal kejadian serta deskripsi mengenai tingkat kerusakan yang terjadi pada satelit tersebut. Pada umumnya informasi anomali satelit yang dapat diakses melalui internet berisi laporan mengenai waktu kejadian anomali dan deskripsi singkat mengenai kerusakan yang terjadi tanpa mencantumkan jam lokal ketika satelit dinyatakan mengalami anomali. Jam lokal anomali satelit ini sangat diperlukan untuk mengetahui lokasi satelit dan jumlah fluks serta distribusi partikel yang memicu terjadinya anomali tersebut.

Informasi mengenai lokasi satelit ketika mengalami anomali ini sangat penting untuk diketahui karena hal tersebut secara langsung memberikan lokasi di permukaan satelit yang rawan akan kerusakan satelit. Sejauh ini memang telah diketahui beberapa lokasi yang rawan anomali diantaranya di kutub utara dan selatan Bumi melalui fenomena aurora serta di daerah anomali atlantik selatan (*South Atlantic Anomaly- SAA*) yang pada ketinggian 500 km membentang dari lintang 0° - 50° selatan Bumi serta dari 90° bujur barat hingga 40° bujur timur Bumi (http://en.wikipedia.org/wiki/South_Atlantic_Anomaly). Rentang wilayah SAA ini bervariasi pada ketinggian yang berbeda dan pada umumnya daerah ini didominasi oleh partikel proton dan elektron. Partikel-partikel bermuatan di daerah kutub utara dan selatan kerap mempengaruhi operasional satelit yang melintas di orbit polar. Rata-rata satelit orbit rendah dengan inklinasi polar melewati daerah ini sekitar 13 hingga 15 kali dalam sehari dengan durasi waktu sekitar 11 hingga 13 menit untuk setiap lintasan (revolusi) satelit, tergantung pada ketinggian satelit dari permukaan Bumi. Dengan demikian interaksi antara partikel dengan satelit berlangsung selama lebih kurang 2 jam 20 menit dalam sehari. Besarnya dampak interaksi ini bergantung pada tingkat energi dan fluks partikel di daerah tersebut. Kasus anomali pada satelit juga kerap ditemukan pada satelit-satelit yang melintas selain daerah kutub dan SAA seperti yang dialami oleh satelit orbit rendah dengan inklinasi ekuatorial. Hal ini disebabkan partikel yang menyebar di permukaan Bumi bersifat acak, bukan hanya terkonsentrasi di daerah kutub namun juga di daerah ekuator Bumi.

Dalam penelitian ini akan dicoba untuk mengetahui jumlah fluks dan daerah distribusi partikel di permukaan Bumi yang rawan terhadap kejadian anomali satelit melalui analisis data partikel dari satelit NOAA 15 dan laporan anomali satelit orbit rendah sehingga nantinya diperoleh informasi tingkat fluks dan wilayah distribusi partikel penyebab anomali satelit yang dapat digunakan sebagai bagian dari upaya peringatan dini gangguan operasional satelit orbit rendah Indonesia pada masa mendatang.

2 METODE

Metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat fluks dan wilayah distribusi partikel penyebab anomali ini dapat dilihat pada Gambar 2-1.



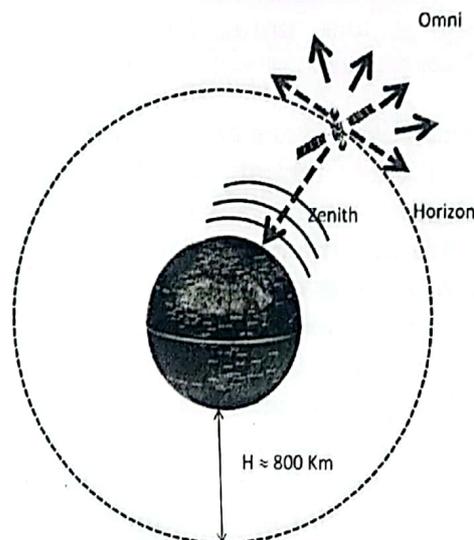
Gambar 2-1: Diagram metode untuk mengetahui tingkat fluks dan distribusi partikel penyebab anomali satelit

Laporan anomali satelit yang berisi informasi nama satelit, waktu kejadian (tanggal, bulan, tahun) dan deskripsi singkat tingkat kerusakan satelit digunakan sebagai rujukan untuk melihat fluks dan distribusi partikel pada waktu tersebut dari data partikel yang diperoleh melalui satelit NOAA 15. Hal ini sekaligus menyeleksi sekian banyak data menjadi data fluks dan distribusi partikel pada hari tertentu sesuai dengan waktu kejadian anomali satelit. Dari data hasil seleksi ini kemudian diambil data partikel yang memiliki fluks paling tinggi pada suatu jam lokal tertentu. Jam lokal ini digunakan sebagai masukan untuk mencari jejak lintasan satelit dengan menggunakan perangkat lunak orbitron yang dapat diakses melalui situs <http://www.stoff.pl/> sehingga dapat diketahui lokasi satelit ketika mengalami anomali. Dari metode ini dapat diketahui jumlah fluks dan wilayah sebaran partikel proton dan elektron di permukaan Bumi yang diperkirakan menyebabkan satelit mengalami kerusakan (anomali). Alasan pengambilan jam lokal pada saat fluks partikel maksimum dikarenakan kejadian kerusakan satelit akibat cuaca antariksa dimulai dari interaksi partikel dengan fluks maksimum pada permukaan satelit. Dampak interaksi ini semakin besar seiring dengan waktu. Bila terjadi peningkatan fluks setelah interaksi yang pertama, maka dampaknya pada interaksi

berikutnya pada satelit akan menimbulkan kerusakan yang semakin besar. Beberapa kerusakan ini dapat dipulihkan bila pengaruhnya kecil dengan teknik tertentu. Bila pengaruhnya besar akan berakibat pada kerusakan satelit secara total sehingga misi satelit tidak dapat diteruskan.

3 DATA DAN PENGOLAHAN

Data yang digunakan dalam menganalisis wilayah distribusi partikel energetik yang menyebabkan anomali satelit terdiri dari data partikel proton dan elektron dari satelit NOAA 15. Satelit ini ditempatkan pada ketinggian 833 km dengan inklinasi polar ($i \approx 99^\circ$) dan dilengkapi dengan sensor POES MEPED (*Polar Orbiting Environmental Satellite Medium Energy Proton and Electron Detector*) (Scale and Bushnell, 1987). Satelit NOAA 15 merekam data partikel proton dan elektron setiap 16 detik sehingga dalam satu hari data yang terekam berjumlah sekitar 5400 data. Ilustrasi teknik perekaman satelit NOAA 15 ini dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Teknik perekaman data partikel oleh satelit NOAA 15

Satelit NOAA 15 melakukan perekaman data pada tiga arah yaitu arah permukaan Bumi (Zenith), tegak lurus permukaan Bumi (Horizon) dan segala arah (Omni). Pada penelitian ini yang diambil adalah perekaman pada arah permukaan Bumi (zenith) untuk mengetahui pada koordinat berapa partikel tersebut tersebar di permukaan Bumi. Data partikel proton dan elektron dari satelit NOAA 15 ini dapat diakses

melalui situs <http://poes.ngdc.noaa.gov/data/full/>. Format data partikel ini dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: FORMAT DATA PARTIKEL DARI SATELIT NOAA 15

year	mo	dy	hr	mi	second	sslat	sslon	mep0e1	mep0e2	mep0e3	mep0p1	mep0p2	mep0p3	mep0p4	mep0p5	mep0p6
2000	7	15	0	0	14.5	-63.2	309.42	2.125	0.75	0.125	3	0.25	0.25	0	0	0.125
2000	7	15	0	0	30.5	-62.31	308.68	4.125	1.75	0.5	2.25	0.75	0	0.125	0	0.25
2000	7	15	0	0	46.5	-61.42	307.96	5	1.625	0.5	3.875	0.25	0.25	0	0	0.25
2000	7	15	0	1	2.5	-60.52	307.32	7.75	3.375	1	3.625	0.25	0	0	0	0.375
2000	7	15	0	1	18.5	-59.62	306.68	4.375	1.75	0.25	5.625	0.625	0.125	0	0	0.25
2000	7	15	0	1	34.5	-58.72	306.08	6.75	3.125	0.125	5.125	0.375	0	0	0	0.5
2000	7	15	0	1	50.5	-57.82	305.51	9.25	4.5	0.5	6.5	0.75	0	0	0	0.125
2000	7	15	0	2	6.5	-56.91	304.96	7.5	3.125	0.625	5.625	0.875	0.125	0	0	0.25
2000	7	15	0	2	22.5	-56	304.43	10.625	3.625	0.5	8.25	0.375	0	0	0	0
2000	7	15	0	2	38.5	-55.09	303.92	12.75	6.25	1	7.25	1	0.375	0	0	0.125
2000	7	15	0	2	54.5	-54.18	303.43	11.75	5.25	0.5	7.25	0.75	0	0	0	0.375
2000	7	15	0	3	10.5	-53.27	302.97	15.75	7.375	0.625	7.625	1	0	0	0	0.125
2000	7	15	0	3	26.5	-52.35	302.51	18.625	10	1	6.625	1.125	0	0	0	0.75
2000	7	15	0	3	42.5	-51.44	302.08	19.25	10.375	1.75	8.125	1.875	0	0	0	0.5

Data partikel yang direkam dari satelit NOAA 15 terdiri dari informasi mengenai waktu perekaman data (kolom 1 hingga 6), lokasi perekaman data (kolom 7 dan 8) serta tingkat energi dan besarnya fluks masing-masing partikel pada arah zenith (kolom 9 hingga 17). Pada Tabel 3-1 dapat dilihat variasi tingkat energi yang direkam oleh sensor POES MEPED. Tingkat energi ini berbeda untuk masing-masing partikel yang bergantung pada kanal energi yang terdapat pada sensor tersebut. Kanal energi yang digunakan oleh sensor satelit NOAA 15 dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3-2. Pada analisis awal penelitian ini dilakukan pembatasan penggunaan data dengan mengambil kanal energi E1 untuk elektron dan P1 untuk proton. Hal ini disebabkan dalam kondisi Matahari minimum, energi yang dimiliki oleh partikel proton dan elektron yang berpengaruh pada operasional satelit berkisar pada orde 10 keV hingga 10² keV (Hasting and Garret 1996). Alasan lainnya adalah untuk memudahkan analisis data anomali satelit terkait dengan pengaruh partikel bermuatan serta untuk memudahkan dalam kajian kontaminasi partikel pada suatu daerah distribusi.

Tabel 3-2: PEMBAGIAN KANAL ENERGI PARTIKEL PADA SENSOR SATELIT NOAA 15

Partikel	Kanal	Energi
Elektron	E1	> 30 keV
	E2	> 100 keV
	E3	> 300 keV
Proton	P1	30 – 80 keV
	P2	80 – 250 keV
	P3	250 – 800 keV
	P4	800 – 2500 keV
	P5	> 2500 keV
	P6	> 16 MeV

Data satelit orbit rendah yang digunakan dalam penelitian ini dapat diakses melalui situs <http://www.sat-nd.com> setelah terlebih dahulu menyeleksi orbit satelit berdasarkan ketinggian dan ketersediaan data partikel sesuai dengan waktu kejadian anomali satelit. Data anomali satelit orbit rendah yang berhasil diinventarisasi dapat dilihat pada Tabel 3-3.

Tabel 3-3: DATA ANOMALI SATELIT ORBIT RENDAH DARI TAHUN 2000 - 2009

Nama Satelit	Waktu Anomali	Ketinggian orbit (km)	Deskripsi Anomali
ERS 1	10-Mar-00	772	Failure of attitude control system, total loss
ASCA (Astro-D)	15-Jul-00	140	Satellite started spinning during high solar activity. Safe mode. Declared total loss later
Terra	26-Oct-00	702	Telemetry Monitor 16 turned off Science Formatting Equipment.
FUSE	25-Nov-01	752	x-axis reaction wheel stops working
FUSE	10-Dec-01	752	y-axis reaction wheel stops working; spacecraft temporarily in safe mode
Yohkoh	15-Dec-01	159	Safe mode during solar eclipse, unexpected spin, loss of control
Aqua	27-Jun-02	702	Single Event Upset, safe/hold condition.
Radarsat 1	27-Nov-02	792	Backup momentum wheel fails, loss of attitude
Radarsat 1	30-Dec-02	792	Attitude control restored using torque rods
Landsat 7	31-May-03	702	Enhanced Thematic Mapper failure – loss of Scan Line Corrector

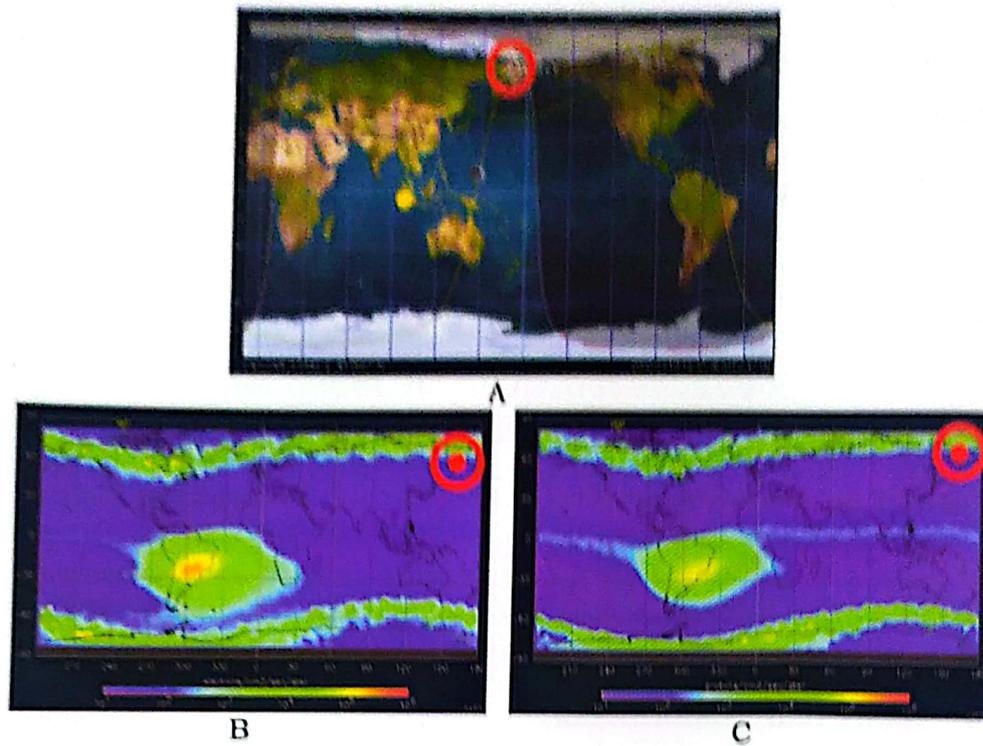
ICESat	30-Mar-03	595	One of three lasers aboard fails
Midori [ADEOS] II	24-Oct-03	805	Power supply problem, contact lost, total loss
DART	15-Apr-05	554	Navigational errors cause fuel depletion, mission ends prematurely
Monitor-E	18-Oct-05	527	Loss of attitude control
Kirari [OICETS]	24-Nov-05	593	One of four reaction wheels fails
KOMPASS 2	29-May-06	422	IOT: Low voltage, various malfunctions
HST	30-Jun-06	564	Primary electronics of ACS instrument fail
MetOp-A	04-Nov-06	821	IOT: temporary payload shutdown, one LRPT transmitter lost
Orbview 3	04-Mar-07	707	Stops sending usable imagery
Orbcomm	10-Nov-08	758	Operating company discloses several earlier satellite problems
Orbcomm	22-Feb-09	758	Total loss of one satellite expected after power system failure

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa satelit orbit rendah yang terdapat pada Tabel 3-3 dengan menggunakan metode lokalisasi distribusi partikel penyebab anomali satelit berhasil dilacak ulang posisi ketika kejadian anomali satelit dilaporkan. Selain posisi satelit dapat diperkirakan juga distribusi dan besarnya fluks partikel di lokasi satelit tersebut. Di sini akan diperlihatkan contoh distribusi partikel proton dan elektron saat kejadian anomali pada beberapa satelit yang diperkirakan hanya disebabkan oleh proton, elektron atau proton dan elektron secara bersamaan termasuk prakiraan anomali yang bukan disebabkan oleh kedua partikel tersebut.

1. Satelit ERS 1 (10 Maret 2000)

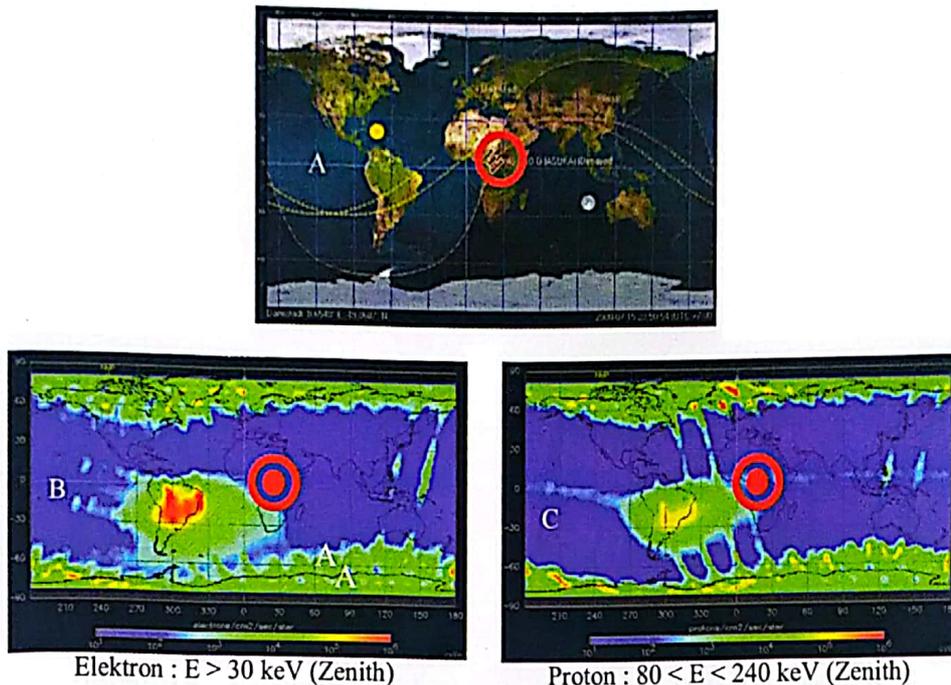
Pada tanggal 10 Maret 2000, satelit NOAA 15 yang berada pada lokasi 52,62 LS dan 114,61 BT merekam data partikel fluks maksimum pada DOY 70,526111 pukul 12:37:36 LT. Dengan menggunakan perangkat lunak Orbitron, dilakukan simulasi penjejakan ulang lintasan satelit sehingga diperoleh lokasi satelit tersebut berada pada 65,5 LU dan 169,5 BT (Gambar 4-1A). Distribusi partikel proton dan elektron pada waktu kejadian anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-1B dan Gambar 4-1C. Ketika anomali satelit terjadi posisi satelit berada dalam wilayah distribusi partikel proton dan elektron di wilayah Kutub Utara.



Gambar 4-1: Distribusi partikel saat anomali satelit ERS1

2. Satelit ASCA/Astro - D (15 Juli 2000)

Pada tanggal 15 Juli 2000 satelit NOAA 15 yang berada pada lokasi 16,72 LS dan 296,96 BT merekam data partikel fluks maksimum pada DOY 197.9937 pukul 23:50:54 LT. Dengan menggunakan perangkat lunak Orbitron, dilakukan simulasi penjejakan ulang lintasan satelit sehingga diperoleh lokasi satelit tersebut berada pada 5 LU dan 20,4 BT (Gambar 4-2A). Distribusi partikel proton dan elektron pada waktu kejadian anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-2B dan Gambar 4-2C.

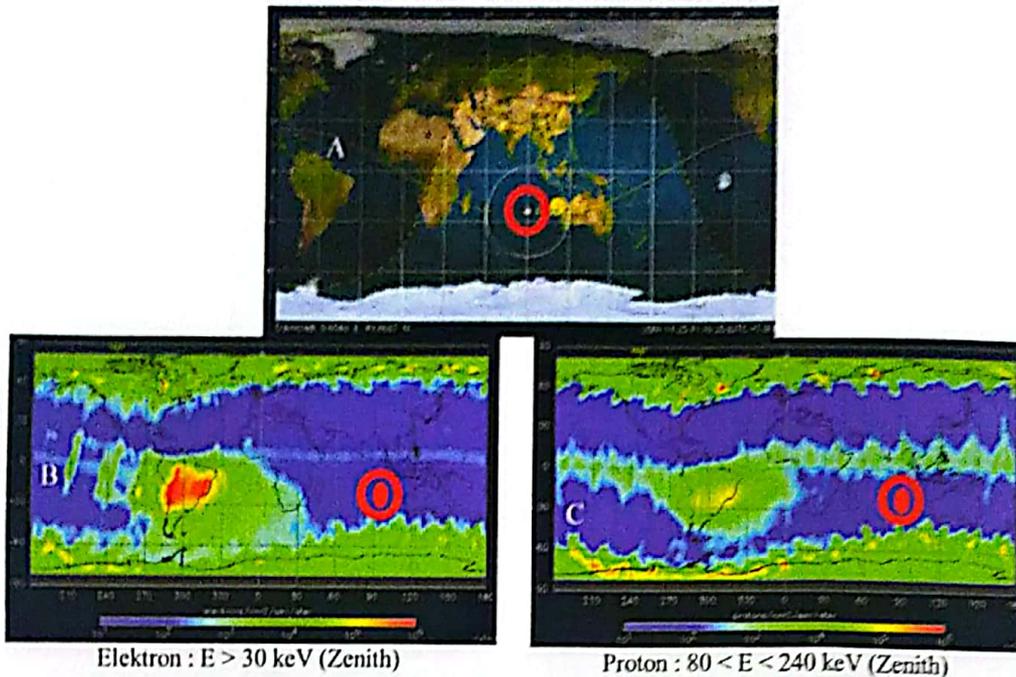


Gambar 4-2: Distribusi partikel saat anomali satelit ERS1

Pada Gambar 4-2 dapat dilihat bahwa ketika anomali satelit terjadi, posisi satelit tidak berada dalam wilayah distribusi elektron melainkan dalam wilayah distribusi proton (Gambar 4-2C). Oleh karena itu anomali satelit diperkirakan disebabkan oleh proton.

3. Satelit FUSE (1) (25 November 2001)

Pada tanggal 25 November 2001 satelit NOAA 15 yang berada pada lokasi 19,88 LS dan 296,38 BT merekam data partikel fluks maksimum pada DOY 329,4698 pukul 11:16:26 LT. Dengan menggunakan perangkat lunak Orbitron, dilakukan simulasi penjejakan ulang lintasan satelit sehingga diperoleh lokasi satelit tersebut berada pada 24,5° LS dan 90,1° BT (Gambar 4-3A). Distribusi partikel proton dan elektron pada waktu kejadian anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-3B dan Gambar 4-3C.

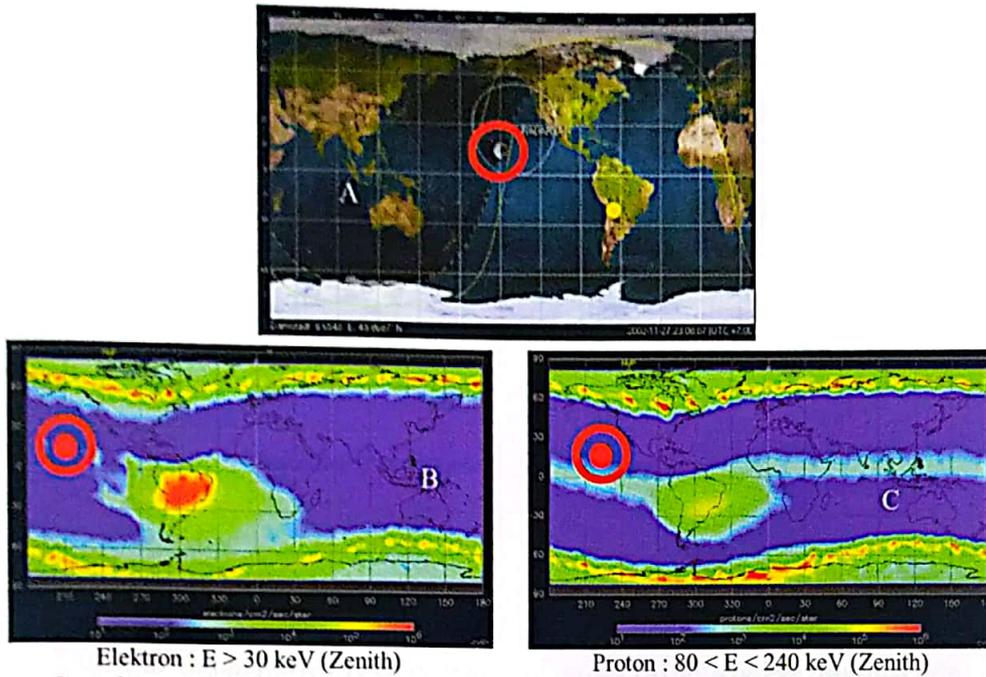


Gambar 4-3: Distribusi partikel saat anomali satelit FUSE (1)

Pada Gambar 4-3 dapat dilihat bahwa ketika anomali satelit terjadi, posisi satelit tidak berada dalam wilayah distribusi proton maupun elektron. Oleh karena itu anomali satelit diperkirakan bukan disebabkan oleh proton ataupun elektron.

4. Satelit Radarsat 1 (1) (27 November 2002)

Pada tanggal 27 November 2002 satelit NOAA 15 yang berada pada lokasi 78,17 LS dan 343,17 BT merekam data partikel fluks maksimum pada DOY 331,964 pukul 23:08:07 LT. Dengan menggunakan perangkat lunak Orbitron, dilakukan simulasi penjejakan ulang lintasan satelit sehingga diperoleh lokasi satelit tersebut berada pada 26,5° LU dan 140,6° BB (Gambar 4-4A). Distribusi partikel proton dan elektron pada waktu kejadian anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-4B dan Gambar 4-4C.



Gambar 4-4: Distribusi partikel saat anomali satelit Radarsat 1 (1)

Pada Gambar 4-4 dapat dilihat bahwa ketika anomali satelit terjadi, posisi satelit tidak berada dalam wilayah distribusi proton melainkan dalam wilayah distribusi elektron (Gambar 4-4B). Oleh karena itu anomali satelit diperkirakan disebabkan oleh elektron.

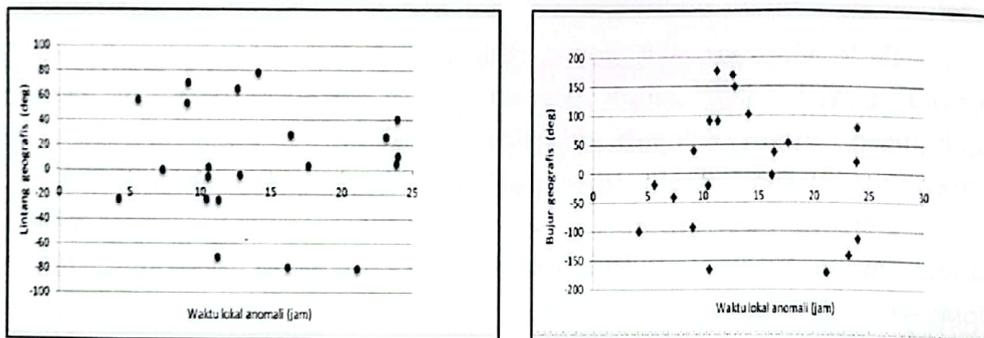
Dengan menggunakan metode yang sama untuk semua kasus satelit, maka posisi geografis satelit ketika mengalami anomali dalam wilayah distribusi partikel seperti pada contoh Gambar 4-1 hingga Gambar 4-4 dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1: POSISI GEOGRAFIS ANOMALI SATELIT ORBIT RENDAH

Satelit	Waktu Anomali	Waktu Lokal Anomali	Posisi Anomali		Fluks Maksimum (partikel/cm ²)	
			Lintang	Bujur	Elektron	Proton
ERS 1	10-Mar-00	12:37:36	65,5 LU	169,5 BT	40203,81	72831,5
ASCA (Astro-D)	15-Jul-00	23:50:54	5 LU	20,4 BT	270335,5	179455,5
Terra	26-Oct-00	14:03:26	78,5 LU	101,56 BT	37223	179455,5
FUSE	25-Nov-01	11:16:26	24,5° LS	90,1° BT	26111,5	5747,5
FUSE	10-Dec-01	10:31:54	5,5° LS	90,7° BT	2559,5	4191,5
Yohkoh	15-Dec-01	10:33:46	2° LU	165,8° BB	10556,5	19583,5
Aqua	27-Jun-02	10:25:28	24° LS	21° BB	6111,5	1231,5
Radarsat 1	27-Nov-02	23:08:07	26,5° LU	140,6° BB	49919,5	42559,5
Radarsat 1	30-Dec-02	21:07:35	80° LS	170° BB	26847,5	6855,5
Landsat 7	31-May-03	05:34:32	56,5° LU	19,2° BB	143551,5	21919,5

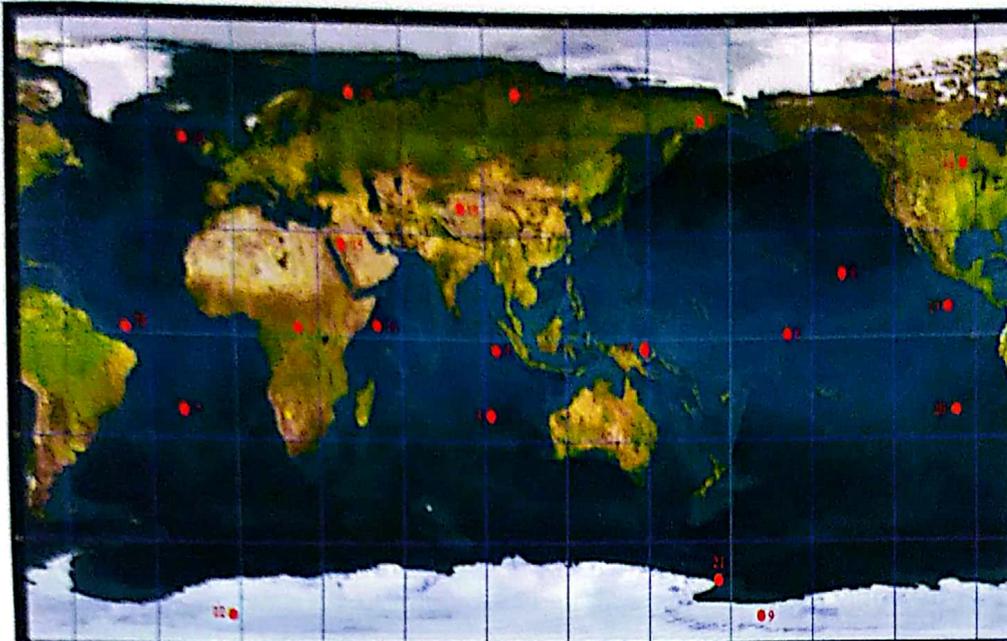
ICESat	30-Mar-03	17:38:14	3,5° LU	52,8° BT	132735,5	61759,5
Midori [ADEOS] II	24-Oct-03	16:10:47	79° LS	3° BB	98271,5	76863,5
DART	15-Apr-05	23:58:11	11° LU	112,3° BB	50655,5	9391,5
Monitor-E	18-Oct-05	09:02:26	53,5° LU	93,1° BB	27391,5	2419,5
Kirari [OICETS]	24-Nov-05	16:22:57	28° LU	36,6° BT	26591,5	10127,5
KOMPASS 2	29-May-06	09:06:23	70° LU	39° BT	9471,5	59,9375
HST	30-Jun-06	12:47:27	4,5° LS	149° BT	58991,5	7639,5
MetOp-A	04-Nov-06	07:18:54	5,5° LU	40,8° BB	19119,5	2591,5
Orbview 3	04-Mar-07	23:55:26	41° LU	79,3° BT	6459,5	4147,5
Orbcomm	10-Nov-08	04:10:50	23,5° LS	99,7° BB	23431,5	1845,5
Orbcomm	22-Feb-09	11:11:21	70,5° LS	176,6° BT	7779,5	2045

Dari 21 kasus anomali satelit orbit rendah pada Tabel 4-1 bila ditinjau dari lintang geografis maka dapat dikatakan bahwa sebanyak 13 kasus anomali terjadi di wilayah utara dan selebihnya yaitu 8 kasus anomali satelit terjadi di wilayah selatan. Bila ditinjau dari bujur geografis sebanyak 11 kasus anomali satelit terjadi di wilayah timur dan 10 kasus terjadi di wilayah barat. Distribusi kasus anomali satelit dalam wilayah geografis ini dapat dilihat pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5: Posisi lintang (kiri) dan bujur (kanan) geografis anomali satelit

Pada Gambar 4-5 Lintang Utara dan Bujur Timur diasumsikan bernilai positif sedangkan Lintang Selatan dan Bujur Barat diasumsikan bernilai negatif. Tujuan dari asumsi ini adalah untuk mempermudah plot posisi anomali satelit pada koordinat kartesian. Bila koordinat anomali satelit pada Tabel 4-1 tersebut diplot pada peta dunia, maka akan diperoleh lokasi anomali pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6: Lokasi anomali satelit orbit rendah pada peta dunia

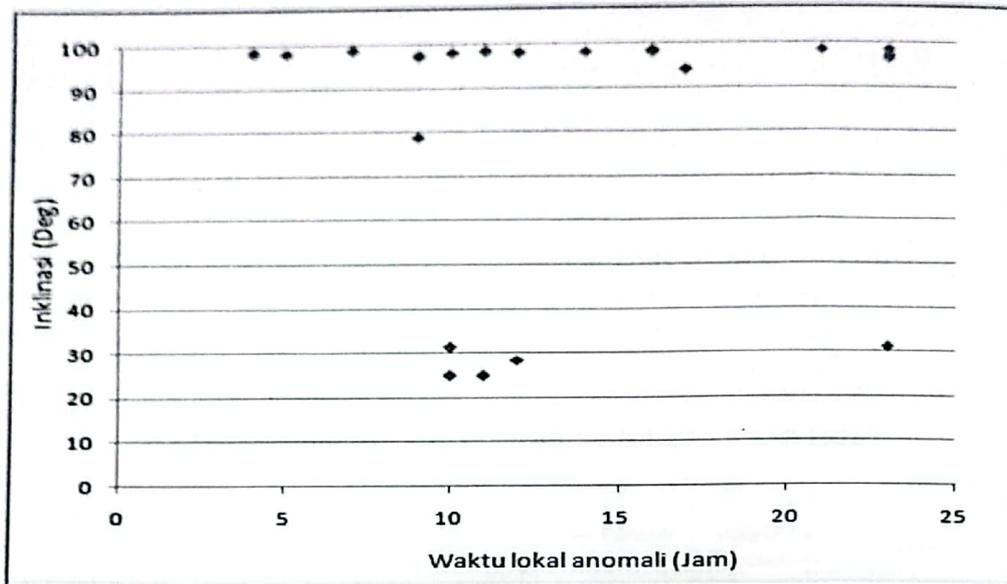
Prakiraan penyebab anomali yang menjadi fokus tinjauan disini berasal dari partikel elektron dan/atau proton. Prakiraan penyebab anomali untuk masing-masing kasus satelit pada Tabel 4-1 dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2:PRAKIRAAN PENYEBAB ANOMALI SATELIT

Satelit	Waktu Anomali	Waktu Lokal Anomali	Posisi Anomali		Prakiraan Penyebab		
			Lintang	Bujur	Proton (P)	Elektron (E)	Lainnya
ERS 1	10-Mar-00	12:37:36	65,5 LU	169,5 BT	P	E	-
ASCA (Astro-D)	15-Jul-00	23:50:54	5 LU	20,4 BT	P	-	-
Terra	26-Oct-00	14:03:26	78,5 LU	101,56 BT	P	E	-
FUSE	25-Nov-01	11:16:26	24,5° LS	90,1° BT	-	-	L
FUSE	10-Dec-01	10:31:54	5,5° LS	90,7° BT	-	-	L
Yohkoh	15-Dec-01	10:33:46	2° LU	165,8° BB	P	E	-
Aqua	27-Jun-02	10:25:28	24° LS	21° BB	P	E	-
Radarsat 1	27-Nov-02	23:08:07	26,5° LU	140,6° BB	-	E	-
Radarsat 1	30-Dec-02	21:07:35	80° LS	170° BB	P	E	-
Landsat 7	31-May-03	05:34:32	56,5° LU	19,2° BB	P	E	-
ICESat	30-Mar-03	17:38:14	3,5° LU	52,8° BT	P	-	-
Midori [ADEOS] II	24-Oct-03	16:10:47	79° LS	3° BB	P	E	-
DART	15-Apr-05	23:58:11	11° LU	112,3° BB	-	E	-
Monitor-E	18-Oct-05	09:02:26	53,5° LU	93,1° BB	-	-	L
Kirari [OICETS]	24-Nov-05	16:22:57	28° LU	36,6° BT	-	-	L
KOMPASS 2	29-May-06	09:06:23	70° LU	39° BT	-	E	-
HST	30-Jun-06	12:47:27	4,5° LS	149° BT	-	-	L
MetOp-A	04-Nov-06	07:18:54	5,5° LU	40,8° BB	P	E	-

Orbitview 3	04-Mai-07	23:55:26	41° LU	79,3° BT	-	-	L
Orbitview	16-Nov-08	04:10:50	23,5° LS	99,7° BB	P	E	-
Orbitview	22-Feb-09	11:11:21	70,5° LS	176,6° BT	P	E	-

Pada Tabel 4-2 dapat dilihat bahwa pada umumnya kasus anomali satelit yang ditinjau diperkirakan banyak disebabkan oleh proton dan elektron. Pola distribusi anomali yang diperlihatkan pada Gambar 4-6 menyatakan bahwa lokasi anomali satelit orbit rendah bersifat acak dalam arti tidak terakumulasi pada satu wilayah. Hal ini menyebabkan komplikasi dalam melakukan prakiraan kejadian anomali pada suatu satelit yang melintas pada suatu wilayah di permukaan Bumi. Bila ditinjau dari inklinasi satelit, maka distribusi anomali satelit orbit rendah tersebut diperlihatkan pada Gambar 4-7.



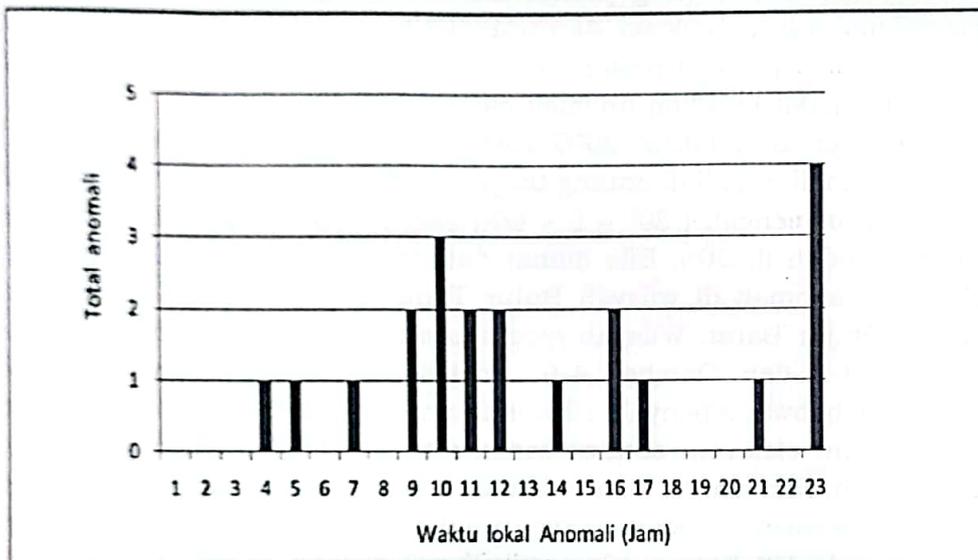
Gambar 4-7: Distribusi anomali satelit berdasarkan inklinasi

Pada Gambar 4-7 terlihat bahwa kejadian anomali satelit banyak dialami oleh satelit-satelit orbit rendah yang memiliki inklinasi polar. Hal ini dapat dijelaskan karena pada umumnya satelit-satelit polar melewati daerah Kutub Utara dan Selatan sebanyak lebih kurang 14 kali dalam sehari. Kedua daerah kutub ini diketahui banyak mengandung partikel bermuatan sebagai penyebab utama pemuatan (*charging*) pada satelit. Akumulasi distribusi partikel pada kedua daerah ini dapat dilihat pada Gambar 4-8 (<http://poes.ngdc.noaa.gov/>).



Gambar 4-8: Akumulasi partikel di daerah kutub

Kasus anomali satelit orbit rendah yang berhasil dianalisis bila ditinjau dari waktu lokal kejadian anomali dapat dilihat pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9: Waktu lokal anomali satelit

Kasus anomali satelit orbit rendah yang ditinjau kebanyakan terjadi pada pukul 23 waktu lokal satelit dengan jumlah kasus sebanyak 4 buah. Hal ini terjadi karena adanya dugaan kuat bahwa badai magnet yang disebut *substorm* terjadi pada saat menjelang tengah malam waktu lokal (<http://www.gi.alaska.edu/ScienceForum/ASF4/447.html>). Fenomena *substorm* ini menghasilkan partikel bermuatan dengan energi yang tinggi dan jumlah fluks yang besar. Pengaruh *substorm* pada satelit ini tidak hanya terjadi pada saat peristiwa

substorm tersebut terjadi melainkan dapat terjadi kapan saja karena partikel-partikel yang dihasilkan mengendap dalam rentang waktu tertentu di kedua wilayah kutub tersebut. Pengendapan partikel ini mirip dengan pengendapan partikel di wilayah anomali Atlantik Selatan (*South Atlantic Anomaly-SAA*) dengan tingkat energi partikel mencapai orde MeV.

5 KESIMPULAN

Distribusi partikel baik proton maupun elektron bersifat acak. Hingga saat ini untuk menentukan pada ketinggian berapa partikel tersebut terdistribusi masih sangat sulit karena satelit NOAA 15 hanya merekam sebaran partikel tanpa informasi yang pasti ketinggian sebaran partikel tersebut. Fluks dan energi partikel sangat berpengaruh pada operasional satelit karena akan menimbulkan reaksi antara partikel dengan beberapa instrumen satelit. Pada tingkat aktivitas Matahari minimum, energi proton dan elektron yang berpengaruh pada operasional satelit berkisar dari orde 10 hingga 10^2 keV. Bila ditinjau dari distribusi partikel proton dan elektron yang diperoleh dari satelit NOAA 15 maka kejadian anomali satelit dari data anomali dari tahun 2000 hingga awal tahun 2009 memperlihatkan bahwa sebanyak 6 kasus anomali terjadi di lintang tinggi ($L > 60^\circ$), 3 kasus anomali terjadi di lintang menengah ($30^\circ < L < 60^\circ$) dan 12 kasus anomali terjadi di lintang rendah ($L < 30^\circ$). Bila dilihat dari wilayah bujur, maka terdapat 11 kasus anomali di wilayah Bujur Timur dan 10 kasus anomali di wilayah Bujur Barat. Wilayah geografis anomali ini dapat dilihat pada Gambar 4-5 dan Gambar 4-6. Analisis ini memberikan informasi perkiraan bahwa sebanyak 10 kasus anomali satelit disebabkan oleh proton dan elektron secara bersamaan, 2 kasus anomali satelit disebabkan oleh proton dan 3 kasus anomali satelit disebabkan oleh elektron. Besarnya fluks yang menyebabkan anomali dalam analisis ini sebesar orde 10^4 hingga 10^5 partikel/cm² dengan energi, $E > 30$ keV untuk elektron dan $80 < E < 240$ keV untuk proton. Analisis ini juga menunjukkan bahwa kebanyakan anomali dialami oleh satelit-satelit yang memiliki inklinasi polar (Gambar 4-7) dan dominan terjadi pada pukul 23 waktu lokal yang diduga terkait dengan peristiwa *geomagnetic substorm*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada saudara Nurokhman dalam menginventaris data satelit NOAA dan saudara Ujang Yaya dalam

memodifikasi program Sistem Informasi Anomali Satelit (SIAS) yang bermanfaat dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Barth, J.L. and Gorsky, C.D, 1997. *Variations in the Radiation Environment*, NASA/Goddard Space Flight Center.
- Fennel, J.F., Roeder, J.L., Koons, H.C, 2000. *Substorms and Geomagnetic Storms from The Satellite Charging Perspective*, Cospar Colloquia Series Vol 12 page 163-174.
- Hasting, D and Garret, H., 1996. *Spacecraft Environment Interaction*, Cambridge University Press, 1996.
- Schwenn, R, 2006. *Space Weather : The Solar Perspective, Living Reviews in Solar Physics*, Max Planck Institute for Solar System Research, Germany, ISSN 1614-496.
- Seale, R.A. and Bushnell, R.H, 1987. *The Tiros-N/NOAA A-J Space Environment Monitor Subsystem*, NOAA Technical Memorandum ERL SEL-75, Space Environment Laboratory, Boulder, Colorado.