

# PENGARUH GANGGUAN LINGKUNGAN ANTARIKSA PADA SISTEM ELEKTRONIK LAPAN-TUBSAT (EFFECT OF SPACE ENVIRONMENT DISTURBANCE IN LAPAN-TUBSAT SATELLITE)

Nayla Najati

Perekayasa Bidang Teknologi Ruas Bumi, LAPAN  
e-mail : najati\_ok@yahoo.com

## ABSTRACT

LAPAN-TUBSAT has been operated more than five years. During the operation, LAPAN-TUBSAT faces several anomaly. It could be observed by using real time telemetry and long time telemetry. When and where an anomaly appeared can be detected with long time telemetry. Anomaly event on LAPAN-TUBSAT's PCDH is caused by Single Event Latch-Up (SEL) that happen in scale of weeks. These conditions required LAPAN-TUBSAT operators to take action in order to make LAPAN-TUBSAT back to normal operation. This paper describes statistic of SEL that occur in LAPAN-TUBSAT. Almost 70% of SEL event take place at South Atlantic Anomaly (SAA) and the rest at polar.

Keywords: SEL, LAPAN-TUBSAT, Real time telemetry, Long time telemetry, PCDH

## ABSTRAK

Satelit LAPAN-TUBSAT beroperasi lebih dari 5 tahun. Selama operasi, LAPAN-TUBSAT menghadapi beberapa anomali. Peristiwa ini diamati dengan menggunakan telemetry *real time* dan telemetry jangka panjang. Kapan dan dimana terjadinya anomali dapat diamati dengan menggunakan telemetry jangka panjang. Kejadian anomali pada LAPAN-TUBSAT disebabkan oleh *Single Event Latch-Up* (SEL) yang terjadi dalam skala mingguan. Kondisi ini menyebabkan operator LAPAN-TUBSAT perlu mengambil tindakan tertentu agar LAPAN-TUBSAT dapat beroperasi dengan normal. Makalah ini mengutarakan statistik SEL yang terjadi pada LAPAN-TUBSAT. Hampir 70% peristiwa SEL terjadi di *South Atlantic Anomaly* (SAA) dan sisanya di kutub.

Kata kunci: SEL, LAPAN-TUBSAT, Telemetri real time, Telemetri jangka panjang, PCDH

## 1 PENDAHULUAN

LAPAN-TUBSAT adalah satelit riset pertama milik Indonesia dengan misi pengamatan permukaan bumi. Satelit ini berbentuk kotak berukuran 45cm x 45cm x 27cm dengan massa 56 kg. Sub sistem satelit ditempatkan di dua rak, yaitu bagian atas dan bagian bawah. Konfigurasi ini memudahkan dalam proses pemasangan dan pengetesan komponen. Bagian bawah berisi sistem pengendalian sikap (3 buah *reaction wheel*, 3 buah giro laser serat optik, 1 buah sensor bintang, 3 buah *magnetic coil*, dan 3 buah sel surya GaAs), sistem telemetry dan *telecommand*, muatan kamera dengan fokus 1000 mm dan

sistem transmisi S-Band. Sedangkan bagian atas berisi baterai, sistem kontrol catu daya & pengaturan data (PCDH), sebuah *air coil*, serta kamera resolusi rendah dengan fokus 50 mm. Setiap komponen yang ada di satelit LAPAN-TUBSAT memiliki spesifikasi konsumsi daya yang berbeda-beda, baik dalam kondisi *stand-by*, *momentum bias*, maupun operasi. Pada Tabel 1-1 terlihat konsumsi daya untuk proses operasi yang diasumsikan berlangsung maksimal 15 menit untuk setiap kali akuisisi data video.

Sedangkan pada Tabel 1-2 memuat konsumsi daya saat satelit dalam kondisi *stand-by* dengan asumsi hanya TTC saja yang dioperasikan.

Tabel 1-1: POWER BUDGET UNTUK OPERASI 15 MENIT

Device	Number	Voltage [V]	Current [mA]	Duty-Cycle [%]	Mean Power [W]	Reference
PCDH	1	14	60	100	0.84	PCDH manual (typical)
TTC	2	14	60	100	1.68	TTC manual (reception)
	1	14	2000	20	5.60	TTC manual (transmission)
Wheels electronics	3	14	60	100	3.12	MAROC-TUBSAT Doc.
Wheels	3	14	1200	15	7.56	MAROC-TUBSAT Doc.
Gyro	3	5	340	75	3.82	MAROC-TUBSAT Doc.
CMOS Star Sensor	1	14	180	20	0.50	Star Tracker Manual
Coil	3	14	250	15	1.50	Current-Voltage Testing
S-Band Video	1	12	1180	90	14.16	Test Protocol S 2454 MEK Feb.04
Kappa Camera	1	12	250	40	1.20	Kappa CF11 Specification
Sony Camera	1	12	660	80	6.34	Sony Camera Handbook
Step Motor Camera	1	12	60	100	0.72	Bleif
	1	12	400	1	0.05	Bleif
<b>Total Power</b>					<b>47.09</b>	

Sumber: LAPAN-TUBSAT *first Indonesian micro satellite* (Triharjanto, R.H., Hasbi, W, Mukhayadi, M. 2007)

Tabel 1-2: POWER BUDGET DALAM KEADAAN FULL HIBERNATION

Device	Number	Voltage [V]	Current [mA]	Duty-Cycle [%]	Mean Power [W]	Reference
PCDH	1	14	60	100	0.84	PCDH manual (typical)
TTC	2	14	60	100	1.68	TTC manual (reception)
<b>Total Power</b>			<b>180</b>		<b>2.52</b>	

Sumber: LAPAN-TUBSAT *first Indonesian micro satellite* (Triharjanto, R.H., Hasbi, W, Mukhayadi, M. 2007)

Anomali terlihat pada data hasil telemetri, baik *real time telemetry* maupun *long time telemetry*. Diharapkan dengan pengamatan terhadap perangkat yang ada pada LAPAN-TUBSAT, bisa diketahui penyebab terjadinya anomali tersebut. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya anomali pada satelit LAPAN-TUBSAT dan tindakan antisipasi yang harus dilakukan.

## 2 LANDASAN TEORI

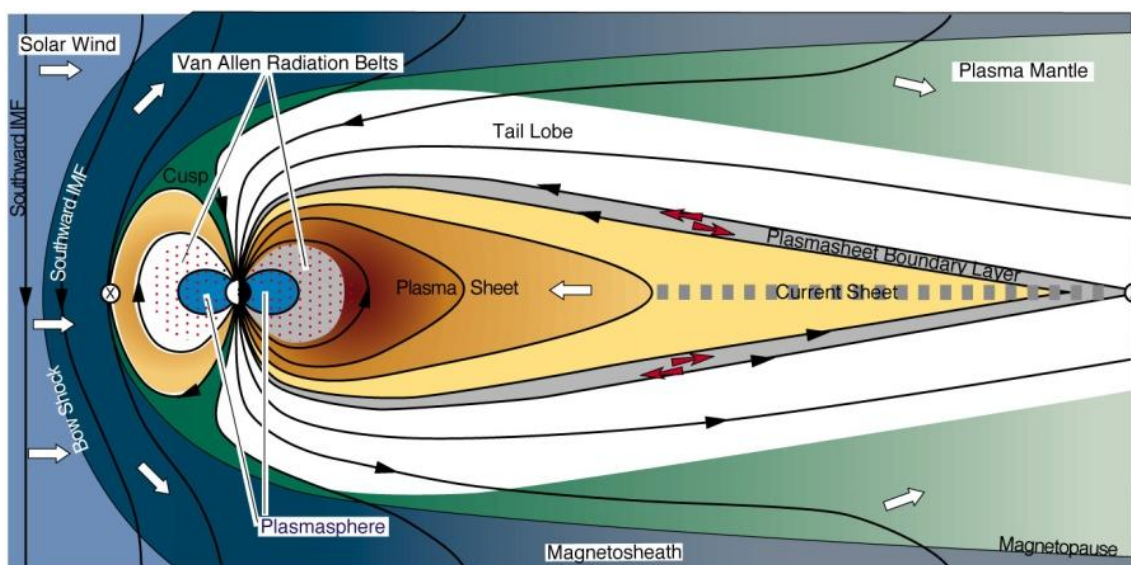
### 2.1 Magnetosfer Bumi

Cuaca antariksa menunjukkan kondisi di matahari dan angin surya, magnetosfer, ionosfer, dan termosfer yang dapat mempengaruhi kondisi dan kemampuan sistem teknologi. Angin surya keluar dari matahari dan akhirnya akan mencapai bumi. Plasma dan medan magnetnya akan berinteraksi dengan atmosfer dan kemudian medan magnet bumi membentuk magnetosfer. Populasi partikel berenergi tinggi dan plasma dipengaruhi oleh angin surya (Yatini, Clara Y. 2008). Pada Gambar 2-1 berikut dapat dilihat konfigurasi sistem magnetosfer bumi dan parameter yang mempengaruhi kondisinya.

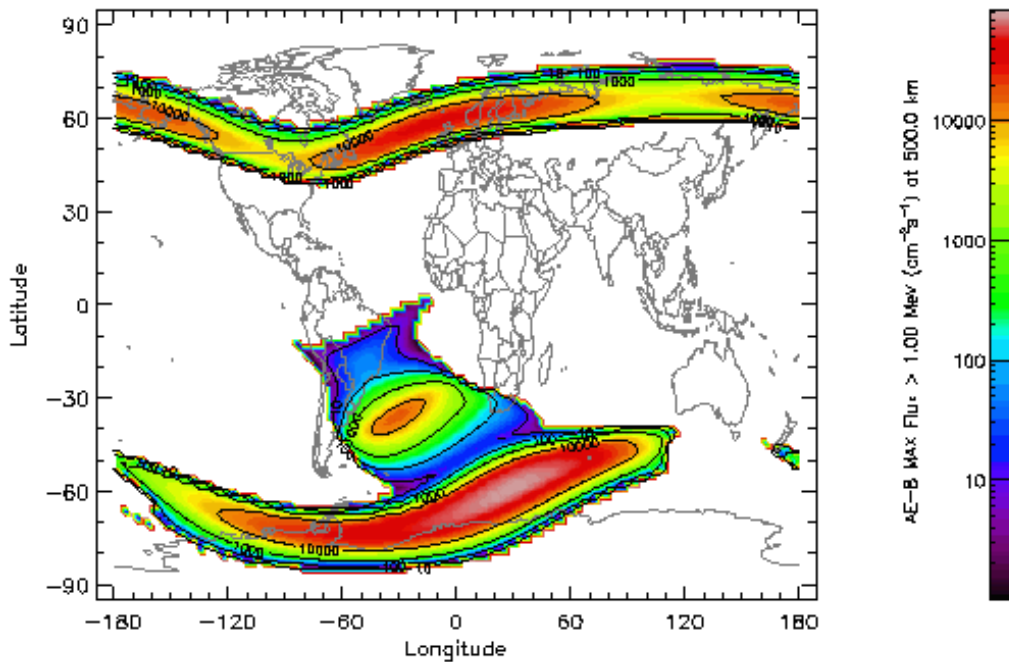
Satelit yang beroperasi di *Low Earth Orbit (LEO)* memiliki karakteristik, yaitu dalam rentang waktu 1 hari beberapa kali melewati kawasan dimana banyak partikel berenergi tinggi yang terjebak pada sabuk Van Allen. Besarnya intensitas yang harus dihadapi bervariasi, tergantung pada ketinggian dari permukaan bumi dan inklinasi orbit dari satelit tersebut. Sabuk Van Allen bisa dipisahkan menjadi 2 kawasan (<http://en.wikipedia.org/.SAA>), yaitu:

- a. Sabuk dalam (*inner belt*)  
Berada pada 300-1000 km dari permukaan bumi. Di rentang ketinggian ini didiami proton berenergi tinggi, hingga 10 MeV
- b. Sabuk luar (*outer belt*)  
Berada pada 1000-36.000 km dari permukaan bumi. Di rentang ketinggian ini sebagian besar didiami oleh elektron yang bermuatan kurang dari 2 MeV.

Aktivitas matahari ini mengakibatkan ada beberapa kawasan di belahan bumi yang memiliki kerapatan partikel yang tinggi, yaitu *South Atlantic Anomaly (SAA)* dan kutub. Gambar 2-2 memperlihatkan tingkat kerapatan partikel pada ketinggian 500 km berdasarkan garis lintang dan garis bujurnya.



Gambar 2-1: Magnetosfer bumi



Gambar 2-2: Kerapatan partikel pada ketinggian 500 km

## 2.2 Gangguan Komponen Satelit di Orbit

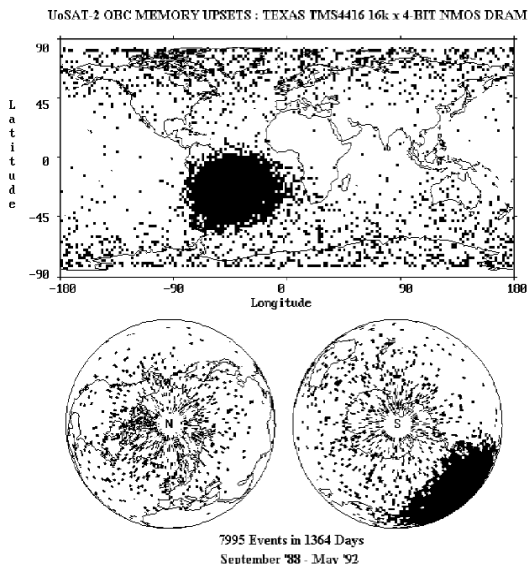
*Single Event Effect* (SEE) adalah derau elektronik yang terjadi karena adanya induksi dari partikel ion berenergi tinggi (Sturesson, F., 2009). Akibatnya terjadi korupsi data, gangguan transient, atau kondisi arus tinggi pada komponen tersebut. Jika kondisi ini tidak ditangani dengan baik, dapat menyebabkan kegagalan sistem secara menyeluruh. SEE dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

- *Non-Destructive Single Event Effect*  
Kejadian SEE yang mengakibatkan perubahan level pada suatu komponen. Kondisi ini bisa berlangsung permanen atau sementara dan tidak mengganggu fungsi kerja dari komponen tersebut. SEE yang tidak merusak ini bisa dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :
  - *Single Event Upsets (SEU)*
  - *Single Event Functional Interrupts (SEFI)*
  - *Single Event Transient (SET)*
- *Destructive Single Event Effects*  
Kejadian SEE yang mengganggu fungsi kerja suatu komponen dan menyebabkan

kerusakan permanen bila tidak dilakukan tindakan untuk menghilangkan kondisi tersebut. SEE jenis ini bisa dibagi menjadi 4 kategori, yaitu :

- *Single Event Latch-up (SEL)*
- *Single Event Burnout (SEB)*
- *Single Event Gate Rupture (SEGR)*
- *Single Event Hard Errors (SHE)*

Satelit UOSAT-2 mengalami *Single Event Upsets* (SEU) pada perangkat memori. Satelit ini diluncurkan pada tahun 1984 dengan ketinggian 700 km dan memiliki orbit *sun-synchronous*. Data SEU direkam pada September 1988 - Mei 1992 dengan total 7995 kejadian dan sebagian besar terjadi di SAA. Distribusi geografis kejadian SEU pada satelit UOSAT-2 dapat dilihat pada Gambar 2-3 (Dyer, Clive, 2001). Salah satu perangkat pada LAPAN-TUBSAT mengalami *Single Event Latch-Up* (SEL). Pada kondisi ini perangkat mengalami kondisi *high-current*. Untuk mengembalikan perangkat pada kondisi normal, maka suplai daya harus dimatikan (*turn-off*) kemudian dihidupkan kembali (*turn-on*) (Najati, Nayla, 2008).

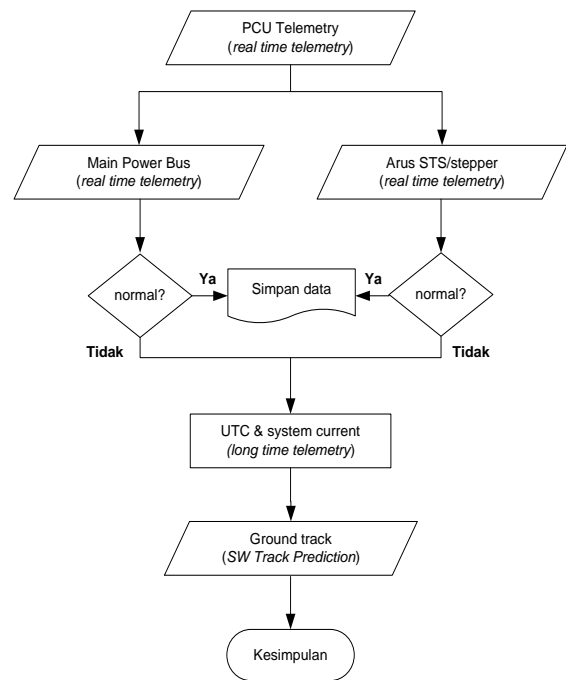


Gambar 2-3: Distribusi geografis kejadian SEU pada UOSAT-2

### 3 METODOLOGI

Proses pengamatan harian dilakukan dengan menggunakan data telemetri satelit LAPAN-TUBSAT. Perangkat yang diamati adalah PCDH. Bagian yang menjadi perhatian utama adalah arus *main power bus*, temperatur *PCU*, dan temperature *Middle Plate* yang dapat diamati di data *real time telemetry*. Dengan data tersebut, dapat diketahui kondisi dari perangkat. Apakah dalam kondisi sehat (dapat beroperasi dengan baik) atau sebaliknya? Apakah dalam kondisi sehat dan dapat beroperasi dengan baik? Apabila terjadi anomali, data *long time telemetry* digunakan untuk mengetahui kapan terjadinya anomali pada perangkat tersebut. Pengamatan dilakukan selama 23 bulan, dari bulan Februari 2010 sampai dengan bulan Desember 2011.

Pada Gambar 3-1 dipaparkan langkah-langkah yang telah dilakukan untuk mendapatkan dan menganalisis data-data telemetri. Saat data *PCU telemetry* pada *real time telemetry* terdeteksi adanya anomali, maka dibutuhkan informasi tentang kapan mulai terjadinya anomali dengan menggunakan data *long time telemetry* dan tempat mulai terjadinya anomali dengan mensimulasikan *ground track* LAPAN-TUBSAT dengan *SW tracking prediction*.



Gambar 3-1: Diagram alir proses pengamatan

### 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Proses pengamatan dilakukan selama 23 bulan dengan rutin melakukan pengecekan kondisi kesehatan satelit LAPAN-TUBSAT. Kegiatan ini dilakukan setiap hari oleh operator LAPAN-TUBSAT di 3 stasiun bumi yang aktif beroperasi, yaitu stasiun bumi Biak, stasiun bumi Rancabungur, dan stasiun bumi Rumpin. Kondisi kesehatan LAPAN-TUBSAT dapat diketahui dengan pembacaan data *real time telemetry* yang dapat dilihat pada Gambar 4-1.

Saat LAPAN-TUBSAT berada dalam kondisi *stand-by*, perangkat yang tetap bekerja adalah PCDH dan 2 buah TTC, dengan arus total yang dikonsumsi berkisar antara 180 mA. Dari hasil telemetri Gambar 4-1 dapat dilihat, saat satelit berada dalam kondisi *stand-by*, semua *switch register* dalam kondisi *off* (mati) akan tetapi nilai total konsumsi berbeda jauh, antara 180 mA dan 429 mA. Pertanyaan penting yang muncul adalah apakah ini adalah nilai arus yang sesungguhnya atau hanya kesalahan pada pengukuran atau *software*. Pada Gambar 4-1 pula bisa dilihat ada perbedaan tajam antara temperatur PCDH CPU (Temp PCU) dengan



temperatur *middle plate* (Temp MP) yaitu  $20^{\circ}$  dan  $10,4^{\circ}$  yang bisa diasumsikan bahwa kelebihan arus yang ada telah ditransformasikan menjadi panas, yang bisa menjadi dasar bahwa nilai *main power bus* yang tercantum merupakan nilai sesungguhnya (Najati, Nayla. 2008). Anomali pada perangkat PCDH LAPAN-TUBSAT ini dikenal sebagai *Single Event Latch-up* (SEL).

```

#####
# LAPAN SERVER #####
2008/06/22 13:47:51 PCDH high level command: Radio Acknowledge OK
[0xB5 0xAB 0xEE 0x0A 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x00 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE]

PCU Telemetry

Switch Register      : 00000000 00000000 00000000 00000000
Status Fuse/ITC      : 00000000 00000011
System Time          : 16284s = 0d 4h 31min 24sec

Solar Panel +X       : 0.2V      12mA
Solar Panel -X       : 0.2V      11mA
Solar Panel -Y       : 0.2V      11mA
Solar Panel -Z       : 0.3V      12mA
Sun Sensor +Y        :          0mA
Sun Sensor +Z        :          2mA

Rotations -Z to Sun: Ang.X=-41deg
                   Ang.Y=-43deg

Main Power Bus       : 13.91V      180mA
Voltage 29V/12V/-5V : 25.84V      0.02V      -4.98V
Current ITIC1/ITIC2 : 64mA        60mA
Current Gyros/Wheels : 14mA        44mA
Current Coils/STS     : 5mA         12mA
Current Stepper+Cam/S-Band: 20mA       22mA

Temp PCDH CPU/Housing/DCDC: 6deg       6deg       8deg
Temp Battery/Middle Plate : 2.6deg     3.5deg
Temp +X/-X             : 1.1deg     1.1deg
Temp +Y/-Y             : 3.0deg     -2.3deg
Temp +Z/-Z             : -0.9deg    1.1deg
Temp S-Band            : 4.0deg

Target Current Coil X/Y/Z : -0mA      -0mA      -0mA
    
```

Gambar 4-1a: Real time telemetry normal

```

#####
# LAPAN SERVER #####
2008/06/24 14:28:18 PCDH high level command: Radio Acknowledge OK
[0xB5 0xAB 0xEE 0x0A 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x00 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE]

PCU Telemetry

Switch Register      : 00000000 00000000 00000000 00000000
Status Fuse/ITC      : 00000000 00000011
System Time          : 191530s = 2d 5h 12min 10sec

Solar Panel +X       : 0.3V      13mA
Solar Panel -X       : 0.2V      11mA
Solar Panel -Y       : 0.2V      11mA
Solar Panel -Z       : 0.3V      12mA
Sun Sensor +Y        :          0mA
Sun Sensor +Z        :          0mA

Rotations -Z to Sun: Ang.X=-41deg
                   Ang.Y=-46deg

Main Power Bus       : 14.62V      429mA
Voltage 29V/12V/-5V : 27.27V      0.02V      -4.91V
Current ITIC1/ITIC2 : 60mA        60mA
Current Gyros/Wheels : 14mA        49mA
Current Coils/STS     : 7mA         13mA
Current Stepper+Cam/S-Band: 18mA       22mA

Temp PCDH CPU/Housing/DCDC: 20deg     16deg     19deg
Temp Battery/Middle Plate : 8.9deg    10.4deg
Temp +X/-X             : 7.0deg    7.4deg
Temp +Y/-Y             : 4.0deg    7.0deg
Temp +Z/-Z             : 5.0deg    7.9deg
Temp S-Band            : 8.9deg

Target Current Coil X/Y/Z : -0mA      -0mA      -0mA
    
```

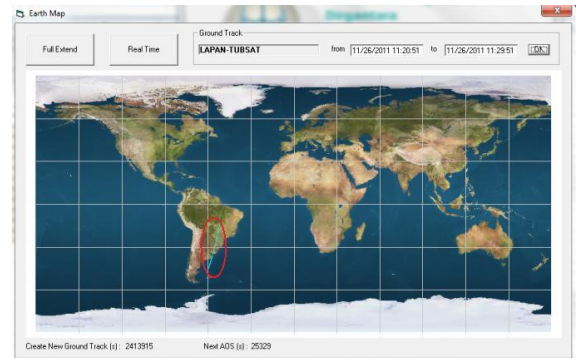
Gambar 4-1b: Real time telemetry pasca gangguan

Setelah terdeteksi adanya SEL pada LAPAN-TUBSAT, maka diperlukan data *long time telemetry* untuk mengetahui waktu dan lokasi terjadinya kondisi tersebut. Pada Gambar 4-2 dapat dilihat data hasil pengolahan *long time telemetry*

dan tampilan *tracking prediction software* yang menunjukkan lokasi terjadinya SEL pada LAPAN-TUBSAT (lingkaran merah).

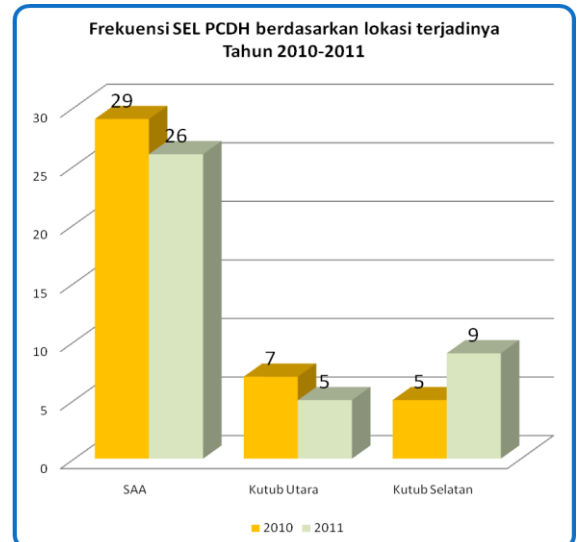
YR	MO	DA	HR	MM	SS	ChlCounter	Sw Reg	Sw Reg 2	Sw Reg 3	Sw Reg 4	MhsBnsVoltage	System Current	Temp PCDH	Temp 29V	Temp -5V	Temp MP	Temp X	Temp Y	Temp Z	Temp S-Band	
2010	11	11	02	10	15	558	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	327	17	11	18	9	6	5	4	8	9
2010	11	11	02	10	15	559	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	327	17	12	18	9	7	13	12	8	17
2010	11	11	02	10	15	560	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	328	18	11	10	9	11	10	7	9	19
2010	11	11	02	10	15	561	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	327	18	11	18	9	4	9	7	6	10
2010	11	11	02	10	15	562	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	328	18	11	17	8	9	7	6	5	7
2010	11	11	02	10	15	563	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	328	18	11	17	7	8	8	6	4	7
2010	11	11	02	10	15	564	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	328	18	10	16	6	8	4	3	3	2
2010	11	11	02	10	15	565	00000000	00000000	00000000	00000000	14.4	328	18	9	15	6	5	4	3	3	5
2010	11	11	02	10	15	566	00000000	00000000	00000000	00000000	14.4	327	18	9	15	5	5	4	3	4	6
2010	11	11	02	10	15	567	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	328	18	8	15	5	6	4	3	4	7
2010	11	11	02	10	15	568	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	327	18	8	15	5	5	5	5	5	6
2010	11	11	02	10	15	569	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	327	18	8	15	5	6	7	5	9	6
2010	11	11	02	10	15	570	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	19	13	19	11	13	12	13	13	13
2010	11	11	02	10	15	571	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	19	14	19	10	12	12	12	13	15
2010	11	11	02	10	15	572	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	440	21	15	19	11	15	13	12	13	15
2010	11	11	02	10	15	573	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	22	16	18	12	15	15	14	15	18
2010	11	11	02	10	15	574	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	20	16	19	12	13	13	14	17	13
2010	11	11	02	10	15	575	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	22	17	20	13	18	14	15	18	16
2010	11	11	02	10	15	576	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	21	18	20	14	17	16	18	14	17
2010	11	11	02	10	15	577	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	18	20	14	18	18	16	14	18
2010	11	11	02	10	15	578	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	19	20	14	15	13	13	16	18
2010	11	11	02	10	15	579	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	19	20	14	15	13	12	13	16
2010	11	11	02	10	15	580	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	18	19	14	15	12	12	13	16
2010	11	11	02	10	15	581	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	18	19	14	15	12	12	13	16
2010	11	11	02	10	15	582	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	17	18	12	7	9	8	9	10
2010	11	11	02	10	15	583	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	21	17	18	12	8	8	7	6	12
2010	11	11	02	10	15	584	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	22	18	17	11	7	6	6	9	7
2010	11	11	02	10	15	585	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	474	19	16	17	10	8	9	8	8	8
2010	11	11	02	10	15	586	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	21	16	18	10	9	9	8	7	11
2010	11	11	02	10	15	587	00000000	00000000	00000000	00000000	14.3	463	20	16	18	11	9	11	10	8	10
2010	11	11	02	10	15	588	00000000	00000000	00000000	00000000	14.7	474	20	15	18	11	11	11	11	10	9
2010	11	11	02	10	15	589	00000000	00000000	00000000	00000000	14.8	865	18	15	17	11	12	12	12	11	12
2010	11	11	02	10	15	590	00000000	00000000	00000000	00000000	14.8	840	21	15	17	11	12	14	12	12	12
2010	11	11	02	10	15	591	00000000	00000000	00000000	00000000	14.8	821	21	15	17	11	12	14	14	14	13
2010	11	11	02	10	15	592	00000000	00000000	00000000	00000000	14.8	820	20	18	17	12	14	13	13	13	13
2010	11	11	02	10	15	593	00000000	00000000	00000000	00000000	14.8	820	22	17	17	13	15	15	15	16	14

Gambar 4-2a: Penentuan lokasi dengan long time telemetry



Gambar 4-2b: Kedudukan satelit saat SEL

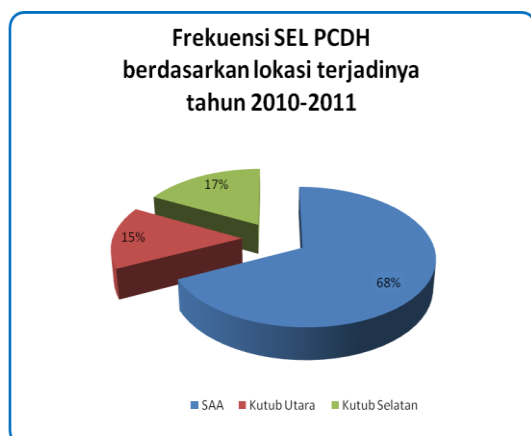
Pengamatan terhadap kondisi LAPAN-TUBSAT menghasilkan data yang dapat dilihat pada Gambar 4-3.



Gambar 4-3: Grafik frekuensi SEL PCDH berdasarkan lokasi terjadinya (jumlah)

Selama proses pengamatan, tercatat 81 kejadian, dengan perincian 41 kejadian terjadi pada tahun 2010

dan 41 kejadian pada tahun 2011. Untuk tahun 2010 sebanyak 29 kejadian terjadi di *South Atlantic Anomaly* (SAA), 7 kejadian di Kutub Utara, dan 5 kejadian di Kutub Selatan. Sedangkan pada tahun 2011 ada 40 kejadian, dengan 26 kejadian di SAA, 5 kejadian di Kutub Utara, dan 9 kejadian di Kutub Selatan. Dari data tersebut, lebih dari 68% (54 kejadian) berlokasi di SAA, sedangkan Kutub Utara dan Kutub Selatan memicu kejadian yang relatif sama, yaitu 15% (12 kejadian) dan 17% (14 kejadian). Hal ini sesuai dengan kondisi lingkungan antariksa, dimana SAA memiliki kerapatan partikel yang lebih besar bila dibandingkan dengan Kutub Utara dan Kutub Selatan.



Gambar 4-4: Grafik frekuensi SEL PCDH berdasarkan lokasi terjadinya (prosentase)

Kondisi perangkat elektronik LAPAN-TUBSAT yang mengalami SEL pada sistem PCDH-nya perlu menjadi perhatian khusus dalam analisis kesehatan LAPAN-TUBSAT, sehingga perlu adanya prosedur operasi tertentu apabila kondisi tersebut terjadi. Operator LAPAN-TUBSAT di setiap stasiun bumi pengendali diharuskan memantau kondisi perangkat elektronik satelit secara harian. Bila ditemui kondisi yang tidak normal, operator dapat segera mengambil tindakan, sehingga LAPAN-TUBSAT dapat menjalankan misinya dengan baik.

## 5 KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan terhadap kondisi perangkat satelit LAPAN-TUBSAT dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Lingkungan antariksa berpengaruh terhadap kondisi perangkat elektronik pada wahana antariksa, dalam hal ini satelit LAPAN-TUBSAT.
- Kawasan *South Atlantic Anomaly* (SAA) mendominasi kejadian SEE pada satelit yang beroperasi di *Low Earth Orbit* (LEO)
- Terjadinya SEL pada PCDH LAPAN-TUBSAT mengakibatkan proses pemantauan kondisi LAPAN-TUBSAT sangat penting, agar satelit dapat menjalankan misinya dengan baik.
- Antisipasi terjadinya anomali perangkat pada sistem satelit perlu dilakukan, dengan melakukan pemilihan komponen dan perangkat yang sudah terbukti keandalannya.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh operator LAPAN-TUBSAT di stasiun bumi Biak, Rancabungur, dan Rumpin yang telah setia memantau kondisi kesehatan LAPAN-TUBSAT.

## DAFTAR RUJUKAN

- Dyer, Clive, 2001. *Radiation Effects on Spacecraft & Aircraft*. QinetiQ Limited, Hampshire, UK.
- <http://en.wikipedia.org/>, SAA. Diakses tanggal 20 Oktober 2008.
- Najati, Nayla, 2008. *Single Event Latch-up (SEL) pada Satelit LAPAN-TUBSAT*, Massma Publishing, Jakarta.
- Sturesson, F., 2009. *Single Event Effects (SEE) Mechanism and Effects*, EPFL Space Center.
- Triharjanto, R.H., Hasbi, W, Mukhayadi, M., 2007. *LAPAN-TUBSAT System Budget*, LAPAN, Jakarta.
- Yatini, Clara Y., 2008. *Cuaca Antariksa*, Berita Dirgantara-LAPAN, Jakarta.





