

PEMBANGUNAN PERANGKAT BASIS DATA ANOMALI SATELIT TERKAIT LONTARAN MASSA KORONA, PEMAKAIAN, DAN ANALISIS AWALNYA

ABDUL RACHMAN, WILSON SINAMBELA, DAN HERI SUTASTIO

Pusat Sains Antariksa – LAPAN

e-mail: abdul@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Satelit dapat mengalami gangguan operasional bahkan sampai tidak bisa digunakan lagi akibat gangguan cuaca antariksa. Untuk memahami lebih jauh tentang fenomena ini telah dikembangkan sebuah perangkat basis data yang mengaitkan kejadian anomali satelit yang informasinya bisa diperoleh di internet dengan beberapa parameter cuaca antariksa dan lontaran massa korona (CME) yang diduga menjadi pemicu meningkatnya nilai parameter-parameter tadi. Relasi antar entitas dalam basis data diperoleh melalui analisis waktu kejadian (*epoch analysis*). Walaupun belum rampung seluruhnya, perangkat ini telah dapat digunakan untuk mengetahui CME dan badai geomagnet apa yang mungkin berasosiasi dengan suatu anomali satelit.

Kata kunci: anomali satelit, cuaca antariksa, CME, basis data

Abstract. Satellites may experience operational problems even unusable due to space weather disturbances. To understand more about this phenomenon we have developed a database tool that links satellite anomaly events whose information can be obtained on the internet with some parameters of space weather and coronal mass ejection (CME), which allegedly triggered the increased value of the parameters. We obtain relationships between the entities in the database through analysis of event time (*epoch analysis*). Although not yet fully completed, this device can already be used to determine CME and geomagnetic storm that might be associated with a satellite anomaly.

Keywords: satellite anomaly, space weather, CME, database

1. Pendahuluan

Satelit yang mengangkasa seringkali mengalami gangguan yang tidak secara langsung diketahui penyebabnya oleh operator satelit tersebut di bumi. Gangguan yang hanya diketahui setelah perubahan fungsi pada satelit teramati di monitor ini dinamakan anomali satelit (Odenwald, 2001). Terkait dengan fenomena anomali satelit ini, fakta menunjukkan bahwa jumlah anomali satelit yang berdampak serius (bahkan mengakibatkan kehilangan permanen) terus mengalami peningkatan. Ini berimplikasi pada meningkatnya jumlah satelit di orbit geostationer maupun orbit rendah yang diasuransikan (Daglis, 2001).

Penelitian secara statistik menunjukkan adanya kecenderungan terjadinya anomali satelit ketika nilai parameter-parameter yang mencirikan lingkungan antariksa yang terganggu juga meningkat (Dorman, 2005). Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas matahari yang menjadi sumber utama pembentuk kondisi lingkungan antariksa antara

bumi-matahari menjadi penting untuk dicermati. Ini disebabkan adanya kaitan antara aktivitas matahari tersebut dengan sejumlah penyebab (*agents*) cuaca antariksa yang mampu mengakibatkan anomali satelit misalnya partikel berenergi tinggi (10 hingga 300 MeV). Partikel semacam ini dapat mengakibatkan kerusakan hebat pada komponen elektronik satelit. Aktivitas matahari juga mempengaruhi kerapatan atmosfer yang dapat mengakibatkan perlambatan signifikan pada laju satelit sehingga mempercepat jatuhnya ke bumi.

Lontaran massa korona (*coronal mass ejection*, CME) adalah fenomena di matahari yang paling bertanggung jawab atas terjadinya badai-badai geomagnet terbesar yang mengganggu lingkungan antariksa sekitar bumi (Webb, 2006). Pengamatan menunjukkan bahwa pada siklus matahari ke-23 terjadi sekitar 80 badai geomagnet dikarenakan oleh CME (Gopalswamy, 2009a). Potensi gangguan oleh CME ini penting untuk kita waspadai mengingat semakin banyaknya satelit milik Indonesia yang mengorbit. Saat ini kita memiliki sebuah satelit yang beroperasi di orbit LEO dan beberapa satelit di GEO. Dalam beberapa tahun ke depan LAPAN merencanakan akan meluncurkan dua buah satelit mikro di orbit LEO. Terkait dengan ini, pemahaman tentang keterkaitan antara anomali satelit dan CME perlu terus ditingkatkan di Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN untuk mendukung visinya sebagai pusat informasi fenomena kedirgantaraan. Urgensi pemahaman ini semakin penting mengingat ada kecenderungan satelit-satelit baru didesain lebih kecil dan ringan agar lebih mudah diluncurkan namun mengakibatkan satelit-satelit tersebut semakin rentan terhadap gangguan akibat lingkungan antariksa (Speich, 2000).

Pemahaman tentang kaitan CME dengan anomali satelit dapat ditingkatkan dengan memiliki basis data yang mengaitkan anomali satelit dengan kondisi cuaca antariksa dan aktivitas matahari (dalam hal ini CME) yang menjadi pemicu berubahnya kondisi cuaca antariksa tadi. Data anomali satelit (walau sangat terbatas), kejadian CME, dan kondisi cuaca antariksa (diantara indikatornya adalah fluks proton dan elektron) dapat diperoleh di internet akan tetapi relasi antar masing-masing entitas ini masih sulit diperoleh sehingga diperlukan penelitian khusus yang bertujuan menghubungkan semua entitas tersebut. Berbagai penelitian tentang kaitan antara anomali satelit dengan cuaca antariksa termasuk yang telah dilakukan di LAPAN, yang terbaru diantaranya oleh Wilson (2010) dan Ahmad (2009a dan 2010), dapat digunakan sebagai sumber data dan literatur.

Penelitian ini bertujuan membangun perangkat basis data yang mengaitkan anomali satelit dengan CME yang diduga terkait dengannya. Diharapkan basis data ini dapat digunakan untuk analisis awal kejadian anomali satelit (bukan untuk prediksi) dan media untuk melihat keterkaitan antara anomali satelit dengan fenomena antariksa. Perangkat ini dapat digunakan sebagai komponen dalam Sistem Informasi Anomali Satelit (SIAS) yang juga dikembangkan di LAPAN (Ahmad, 2009b).

2. Data

Dalam penelitian ini digunakan data anomali satelit, data identitas dan orbit satelit, data CME, dan data cuaca antariksa pada siklus matahari ke-23 yang dimulai pada tahun 1996 dan berakhir pada 2008.

Sumber utama data anomali satelit diperoleh dari situs *Satellite News Digest* (disingkat *SatND*) yang beralamat di www.sat-index.co.uk. Situs ini memuat kegagalan (*failures*) yang dialami satelit secara umum (bukan hanya yang terkait dengan cuaca antariksa). Sumber kedua untuk anomali satelit adalah tiga buah tulisan yang dibuat oleh Joe Allen (Allen, 2000, 2002, dan 2006). Sumber lain untuk anomali satelit dinyatakan dalam basis data. Data anomali yang digunakan adalah tanggal dan jam kejadian, nama satelit, tipe anomali, diagnosis anomali, dan komentar-komentar mengenai kaitan antara anomali bersangkutan dengan cuaca antariksa.

Sumber utama data identitas dan orbit satelit adalah *Space-Track* (www.space-track.org) dan *Celestrak* (www.celestrak.com) dengan catatan bahwa jika orbit satelit saat anomali terjadi tersedia di sumber informasi anomali maka orbit dari sumber anomali tadi yang digunakan. Identitas satelit mencakup nama, nomor katalog, dan pemilik satelit. Orbit satelit mencakup inklinasi, apogee, dan perigee.

Data CME dan cuaca antariksa diperoleh dari NASA dan NOAA. Data CME dari CDAW NASA (<http://cdaw.gsfc.nasa.gov>) mencakup *onset time*, *central position angle*, lebar sudut, laju linier, dan percepatan. Data SPE dari NOAA (<http://umbra.nascom.nasa.gov/SEP/>) mencakup *maximum time* dan fluks. Data harian fluens proton (mencakup tanggal dan total fluks proton pada rentang energi > 1 MeV, > 10 MeV, dan > 100 MeV) dan harian fluens elektron (mencakup tanggal dan total fluks elektron pada rentang energi > 0.6 MeV dan > 2 MeV) dari NOAA (<http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/indices/>). Data per-jam *Kp* dan *Dst* juga dari NASA (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>).

3. Metode

Pada penelitian ini pendekatan dimulai dari kejadian CME (bukan dari kejadian anomali satelit) karena disesuaikan dengan tujuan penelitian yang membahas anomali satelit terkait CME. Dua dampak utama yang ditimbulkan CME pada ruang sekitar bumi (*geospace*) adalah Solar Proton Event (SPE) dan badai geomagnet (Gopalswamy, 2009b). Oleh karena itu relasi utama dalam basis data yang dikembangkan mengaitkan antara anomali satelit dengan kedua dampak tersebut.

Penelitian ini tidak meninjau semua badai geomagnet dan CME berbeda halnya dengan SPE. Karena anomali yang dikarenakan partikel bermuatan umumnya diakibatkan oleh partikel berenergi > 10 MeV maka semua kejadian SPE diperhitungkan (per definisi SPE berlaku untuk proton berenergi > 10 MeV). Hanya

badai geomagnet besar (terjadi jika $Dst \leq -100$ nT) yang ditinjau dalam penelitian ini karena badai geomagnet yang lebih kecil umumnya tidak mengakibatkan gangguan berupa *surface charging* yang sering dialami satelit. Identifikasi badai geomagnet besar dilakukan melalui inspeksi secara manual.

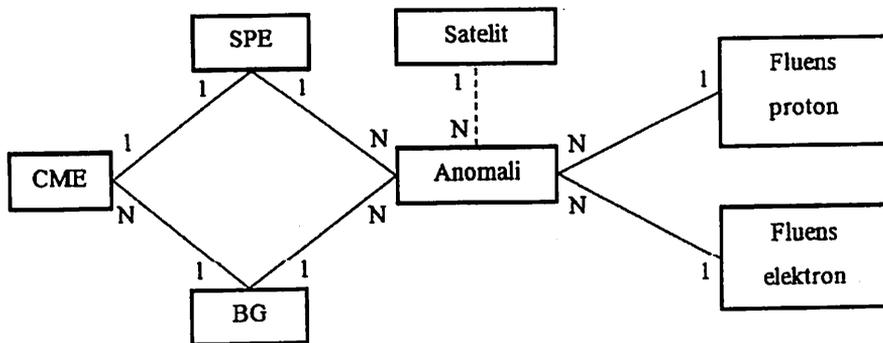
Asosiasi CME dengan badai geomagnet dilakukan melalui analisis waktu kejadian (*epoch analysis*). CME yang dipilih adalah CME yang mengarah ke bumi yakni tipe halo atau partial halo yang berjarak kurang dari 5 hari sebelum kejadian badai geomagnet berdasarkan alasan bahwa CME mencapai bumi biasanya dalam waktu 1 hingga 5 hari (Gopalswamy, 2009a). Identifikasi CME pun dilakukan melalui inspeksi secara manual.

Semua kegagalan satelit yang berhasil diperoleh dimasukkan ke dalam basis data (bukan hanya yang diduga diakibatkan oleh cuaca antariksa). Dengan demikian termasuk kegagalan yang dialami satelit Fengyun 1C milik Cina yang ditembak dengan rudal anti satelit. Relasi antara anomali dengan SPE dan badai geomagnet juga dibuat melalui *epoch analysis* dengan batasan bahwa suatu SPE atau badai geomagnet berasosiasi dengan kejadian anomali hingga 20 hari setelah kejadian SPE dan badai geomagnet tadi. Waktu 20 hari diambil dengan mempertimbangkan kemungkinan jenis gangguan berupa akumulasi muatan akibat *surface charging*. Jenis gangguan ini mungkin membutuhkan waktu yang cukup lama sebelum terjadinya *electrostatic discharge*. Relasi anomali dengan SPE dan badai geomagnet dibuat secara manual namun relasi antara anomali dengan fluens proton dan elektron dapat dibuat secara otomatis melalui data tanggal.

Model basis data yang dipilih adalah model *entity-relationship* yang disingkat model E-R dengan alasan basis data ini dikembangkan dari awal (Fathansyah, 1999). Pembuatan model dimulai dengan mendefinisikan entitas-entitas yang terlibat yakni CME, SPE, badai geomagnet, anomali, satelit, fluens proton, dan fluens elektron. Selanjutnya membuat hubungan antar entitas-entitas berdasarkan fakta bahwa satu badai geomagnet berasosiasi dengan satu atau beberapa CME, data dari NOAA bahwa satu SPE berasosiasi dengan satu CME, fakta bahwa satu badai geomagnet berasosiasi dengan satu atau beberapa anomali, fakta bahwa satu SPE berasosiasi dengan satu atau beberapa anomali, fakta bahwa satu atau beberapa anomali berasosiasi dengan satu satelit, fakta bahwa satu atau beberapa anomali berasosiasi dengan satu kondisi fluens proton, dan fakta bahwa satu atau beberapa anomali berasosiasi dengan satu kondisi fluens elektron. Kondisi fluens proton menunjukkan berapa total fluks proton pada rentang energi > 1 MeV, > 10 MeV, dan > 100 MeV selama satu hari pada tanggal tertentu. Kondisi fluens elektron menunjukkan berapa total fluks elektron pada rentang energi > 0.6 MeV, dan > 2 MeV selama satu hari pada tanggal tertentu.

Entitas dan relasi yang diperoleh (sebagai "fakta dunia nyata") dijadikan diagram E-R yang tampak pada Gambar 3-1. Pada gambar tersebut tiap kotak menyatakan entitas dan tiap garis menyatakan relasi. Garis utuh menyatakan relasi 'berasosiasi

dengan' sedang garis putus-putus untuk relasi 'dialami oleh'. Kardinalitas (derajat relasi) masing-masing relasi dinyatakan oleh notasi N (banyak) dan angka 1. Pada diagram ini badai geomagnetik disingkat BG. Kamus data (atribut masing-masing entitas) yang digunakan adalah CME = {time, CPA, lebar sudut, laju_linier, percepatan}, SPE = {max_time, fluks}, BG = {time, fluks}, Satelit = {catnum, nama, pemilik, inklinasi, apogee, perigee}, Anomali = {time, catnum, tipe, diag, comment}, Fluens proton = {date, 1 MeV, 10 MeV, 100 MeV}, Fluens elektron = {date, 0.6 MeV, 2 MeV}. Pada kamus data tadi, atribut yang merupakan *primary key* digaris bawah.



Gambar 3-1. Diagram E-R basis data keterkaitan anomali satelit dengan CME

Diagram E-R yang telah dibuat selanjutnya diimplementasikan menjadi sebuah perangkat lunak basis data memakai MS Excel. Masing-masing entitas dibentuk menjadi tabel yang saling berhubungan melalui relasinya masing-masing. Antarmuka khusus dibuat untuk mengakses data anomali satelit terkait dengan badai geomagnetik begitu juga untuk mengakses data anomali satelit terkait SPE. Untuk memudahkan akses data CME dan satelit, dibuatkan pula antarmuka untuk keduanya.

Basis data yang diperoleh digunakan untuk melakukan analisis awal beberapa kasus anomali satelit memanfaatkan NOAA Space Weather Scales (http://www.swpc.noaa.gov/NOAA_scales/) sebagai pedoman.

4. Hasil dan pembahasan

4.1. Antarmuka perangkat lunak dan entri data

Antarmuka untuk mengakses data anomali satelit terkait dengan badai geomagnetik diperlihatkan pada Gambar 4-1. Pada dasarnya antarmuka ini memiliki tiga panel: panel badai geomagnetik (paling atas), panel CME (tengah), dan panel anomali (bawah). Antarmuka untuk mengakses data anomali terkait SPE diperlihatkan pada Gambar 4-2.

...

Pada dasarnya antarmuka ini juga memiliki tiga panel: panel SPE (paling atas), panel CME (tengah), dan panel anomali (bawah). Untuk memudahkan akses data CME dan satelit, dibuatkan pula antarmuka untuk keduanya. Rencananya entri data dilakukan melalui antarmuka yang sudah dibuat akan tetapi karena masih ada kekurangan pada implementasinya maka entri data terpaksa dilakukan langsung ke dalam tabel bersangkutan.

Gambar 4-1. Antarmuka perangkat lunak basis data untuk kaitan anomali satelit dengan badai geomagnet

Gambar 4-2. Antarmuka perangkat lunak basis data untuk kaitan anomali satelit dengan SPE. Desember 2006 (kiri) dan 13 Desember 2006 (kanan)

Sebanyak 86 badai geomagnet besar pada siklus matahari ke-23 berhasil diidentifikasi dan telah dimasukkan ke dalam basis data. Jumlah badai ini sesuai dengan yang didapatkan oleh Gopalswamy (2009a). CME hingga 5 hari sebelum masing-masing badai geomagnet telah dimasukkan pula ke dalam basis data dengan total sebanyak 304 buah. Keseluruhan SPE pada siklus matahari ke-23 juga telah dimasukkan sebanyak 93 buah. Relasi antara CME dengan badai geomagnet dan SPE telah diimplementasikan semuanya sehingga dengan mudah diketahui CME mana saja yang mungkin berasosiasi dengan suatu badai geomagnet dan CME mana yang berasosiasi dengan suatu SPE.

Data anomali satelit telah dimasukkan sebanyak 237 buah. Sebagian besar data anomali ini diperoleh dari SatND (seluruh anomali sejak 1996 hingga 2008 sebanyak 226 anomali) selebihnya dari Allen (2002) dan Allen (2006). Karena di SatND tidak semua data anomali disertai dengan tanggal apalagi jam kejadian (demikian juga di tulisan-tulisan Joe Allen), data anomali satelit sangat jauh dari sempurna. Dari 237 anomali yang telah dimasukkan, baru 56 buah yang dibuat relasinya dengan badai geomagnet dan 1 buah dengan SPE. Kesulitan yang dialami karena relasi dibuat secara manual menjadi kendala utama. Untuk anomali yang telah dibuat relasinya, dengan mudah dapat diketahui badai geomagnet (atau SPE) dan CME mana yang mungkin berasosiasi dengan suatu anomali.

Data fluens proton dan elektron seluruhnya telah dimasukkan ke dalam basis data. Karena relasi dengan data anomali dibuat secara otomatis, dengan mudah diketahui kondisi fluens saat terjadinya anomali.

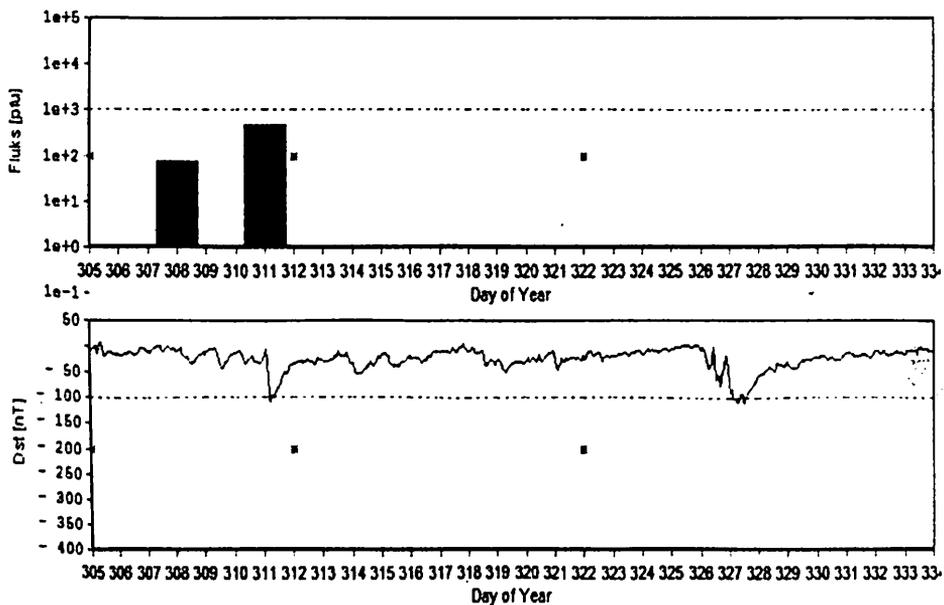
4.2. Pemakaian basis data dan analisis awal

Sebagai contoh pemakaian, ingin diketahui anomali satelit apa yang mungkin terkait dengan badai geomagnet besar yang terjadi pada tanggal 7 Nop 1997. Dengan menggunakan tombol bertuliskan *Badai berikut*, data terkait badai tersebut dapat diperoleh seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1 (fasilitas pencarian bertuliskan *Search* dapat dimanfaatkan untuk mempercepat pencarian). Ditemukan 3 CME (2 halo dan 1 partial halo) yang mungkin berasosiasi dengan badai 7 Nop 1997. Ada 2 anomali yang mungkin terkait yakni anomali yang terjadi pada satelit DIRECTV 6 (TEMPO 2) milik Amerika Serikat pada 8 Nop 1997 dan pada satelit KUPON milik Rusia pada 18 Nop 1997. Kedua satelit ini berada di orbit geosinkron. Data anomali kedua satelit diperoleh dari SatND.

Analisis awal keterkaitan anomali satelit dengan cuaca antariksa dapat dilakukan dengan memanfaatkan NOAA Space Weather Scales. Pada skala NOAA ini, digunakan indeks K_p untuk mengukur kuat badai geomagnetik yang terjadi dan satuan pfu (*proton flux unit* yakni $partikel/cm^2 \cdot s \cdot sr$) untuk menyatakan jumlah partikel bermuatan (dalam hal ini proton). Badai geomagnet yang terjadi pada 7 Nop 1997 memiliki nilai $Dst = -110$ nT. Data K_p pada tanggal yang sama memberi nilai 7. Menurut skala NOAA badai

dengan nilai Kp sebesar ini termasuk badai kuat (*strong geomagnetic storm* dengan indeks G3) yang mampu mengakibatkan pemuatan pada permukaan komponen satelit (*surface charging*) dan memungkinkan juga terjadinya masalah dengan orientasi (*attitude*) satelit.

Fluens proton dengan energi > 10 MeV saat DIRECTV 6 mengalami anomali adalah $3 \times 10^6/\text{cm}^2\text{-day-sr}$ dan saat KUPON mengalami anomali adalah $1.7 \times 10^4/\text{cm}^2\text{-day-sr}$. Jika dikonversi ke satuan pfu (dengan merata-ratakan fluks untuk tiap detik) maka diperoleh fluks proton saat terjadi anomali pada DIRECTV 6 adalah 34 pfu sedang pada KUPON adalah 0.2 pfu. Menurut skala NOAA fluks dengan orde puluhan pfu memberi indikasi telah terjadinya badai radiasi matahari kecil (*minor solar radiation storm* dengan indeks S1) yang umumnya tidak berdampak pada satelit. Tapi, karena nilai 34 pfu dan 6 pfu adalah nilai rata-rata per detik bukan nilai sebenarnya saat terjadinya anomali maka hasil perhitungan ini tidak menutup kemungkinan nilai fluks yang sangat tinggi saat terjadinya anomali misalnya dengan orde ratusan (*moderate solar radiation storm* dengan indeks S2) bahkan ribuan pfu (*strong solar radiation storm* dengan indeks S3). Dugaan ini diperkuat oleh fakta terjadinya SPE pada 7 Nop 1997 (bersamaan dengan tanggal badai geomagnet) dan 4 Nop 1997. Kedua SPE ini berorde ratusan dan puluhan pfu berturut-turut (lihat Gambar 4-3). SPE 4 Nop 1997 berasosiasi dengan CME halo 4 Nop 1997 pukul 6:10:05 UT sedang SPE 7 Nop 1997 dengan CME halo 6 Nop 1997 pukul 12:10:41 UT (CME ini yang paling dekat dengan CME yang diinformasikan oleh NOAA yakni W/06 >1300).

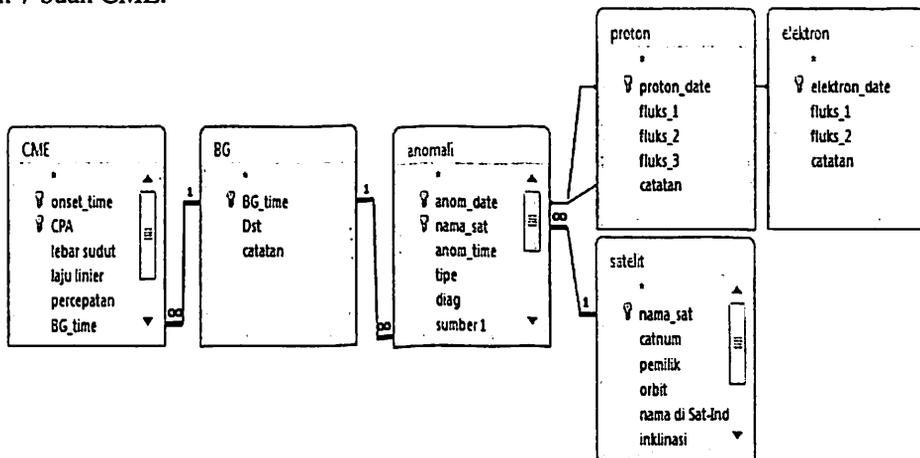


Gambar 4-3. SPE dan badai geomagnet yang terjadi pada awal Nopember 1997. Tanda bintang (*) menunjukkan waktu kejadian 2 anomali satelit yang terdaftar di SatND

Kesimpulan yang bisa diambil dari analisis awal anomali satelit yang terkait dengan badai geomagnet 7 Nop 1997 adalah anomali yang dialami satelit DIRECTV 6 kemungkinan terkait dengan badai tersebut (dan 3 buah CME yang mendahuluinya) namun tidak dengan anomali yang dialami oleh satelit KUPON. Sebagai pembanding, SatND menginformasikan adanya dugaan bahwa anomali satelit DIRECTV 6 terkait dengan cuaca antariksa (lihat kembali Gambar 4-1 bagian komentar) tapi tidak menginformasikan ada/tidaknya kaitan anomali satelit KUPON dengan cuaca antariksa.

Contoh pemakaian berikutnya adalah membuat tabel yang menampilkan badai geomagnet dan CME yang mungkin berasosiasi dengan anomali satelit yang ada dalam basis data. Untuk itu dibuat *query* dengan rancangan ditunjukkan Gambar 4-4.

Cuplikan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4-1. Dari tabel ini diketahui bahwa anomali satelit WIND yang terjadi pada 30 Okt 2003 mungkin terkait dengan badai geomagnet pada 29 Okt 2003 dan 6 buah CME. Anomali satelit GALAXY 27 yang terjadi pada 28 Nop 2004 mungkin terkait dengan badai geomagnet pada 8 Nop 2004 dan 7 buah CME.



Gambar 4-4. Rancangan *query* untuk tabel anomali dan badai geomagnet serta CME yang mungkin berasosiasi dengan anomali tersebut

Sebagai contoh, dilakukan analisis pada kasus satelit WIND (lihat Gambar 4-1). Badai geomagnet 29 Okt 2003 adalah badai geomagnet yang sangat besar (*super storm*) dengan Dst = -380 nT. Data Kp pada tanggal yang sama mencapai nilai 9. NOAA mendefinisikan badai sekuat ini sebagai badai geomagnet ekstrim (*extreme geomagnetic storm* dengan indeks G5) yang mampu mengakibatkan terjadinya *extensive surface charging* dan perubahan sikap bahkan orbit pada satelit. Badai 29 Okt mungkin berasosiasi dengan sebuah CME halo dan 5 buah CME partial halo dengan laju masing-masing di atas laju rata-rata CME halo yakni 1000 km/s (Gopalswamy, 2009c).

Tabel 4-1

Cuplikan daftar anomali dan badai geomagnet serta CME yang mungkin berasosiasi dengan anomali tersebut. Satu satelit terdiri dari beberapa baris karena berelasi dengan beberapa CME

nama_sat	anom_date	BG			CME		
		BG_time	Dst	onset_time	CPA	laju linier	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/24/2003 2:54:05 AM	113	1055	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/26/2003 6:54:30 AM	108	1371	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/26/2003 5:54:05 PM	270	1537	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/27/2003 8:30:05 AM	265	1322	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/28/2003 10:54:05 AM	124	1054	
WIND	10/30/2003	10/29/2003	-380	10/28/2003 11:30:05 AM	S	2459	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/3/2004 3:54:05 AM	91	918	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/3/2004 4:06:05 PM	OA	1068	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/4/2004 9:54:05 AM	BA	653	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/4/2004 11:30:05 PM	338	1055	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/6/2004 1:31:51 AM	Halo	818	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/6/2004 2:06:05 AM	351	1111	
GALAXY 27	11/28/2004	11/8/2004	-373	11/7/2004 4:54:05 PM	BA	1759	

Data juga menunjukkan terjadinya SPE pada 26 Okt dengan fluks proton 466 pfu dan 29 Okt 2003 dengan fluks proton 29500 pfu. SPE 26 Okt 2003 berasosiasi dengan CME partial halo pada 26 Okt 2003 pukul 5:54:05 UT sedang SPE 29 Okt 2003 dengan CME halo pada 28 Okt 2003 pukul 10:54:05 UT. NOAA mendefinisikan badai radiasi 29 Okt 2003 sebagai badai geomagnet yang sangat kuat (*severe solar radiation storm* dengan indeks S4) yang mampu menyebabkan rusaknya memori instrumen, gangguan (*noise*) pada kamera, gangguan pada sikap satelit, dan penurunan efisiensi panel surya satelit. Pada hari terjadinya anomali pada WIND, fluens proton energi > 10 MeV mencapai $1.4 \times 10^8 / \text{cm}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{sr}$ yang jika dikonversi ke satuan pfu adalah 1620 pfu. Dalam skala NOAA, fluks sebesar ini menjadi indikator terjadinya badai radiasi matahari kuat (*strong solar radiation storm* dengan indeks S3). Nilai fluks ini sangat besar dan tidak tertutup kemungkinan nilai yang lebih besar lagi saat anomali terjadi (orde ribuan bahkan puluhan ribu pfu).

Kesimpulan yang bisa diambil dari analisis awal anomali satelit WIND adalah anomali ini kemungkinan terkait dengan badai geomagnet sangat kuat tanggal 29 Okt 2003 (dan 6 buah CME yang mendahuluinya) dan 2 buah SPE tanggal 26 dan 29 Okt 2003. Sebagai pembanding, Allen (2006) menduga bahwa anomali satelit WIND memang terkait dengan cuaca antariksa (lihat kembali Gambar 4-1 bagian komentar).

Anomali satelit terkait dengan badai geomagnet

Max date: 10/29/2003 Dist: -380 Badai berikut: Badai sebelumnya

Catatan:

CME hingga 5 hari sebelumnya

onset time: 10/24/2003 2:54:05 AM lebar sudut: 123 Database CME

CPA: 113 laju linier: 1055 percepatan: -3.0

catatan:

Record: 1 of 6 Search

Anomali hingga 20 hari setelah badai, data satelit, dan fluens partikel (ntcm2-day-ar)

tgl anomali: 10/30/2003 tipe: Database Satelit komentar: Allen 2006 Ya

nama satelit: WIND diag: Database Satelit

jam anomali: inklinasi: deg

pemilik: US apogee: km

catrum: 23333 perigee: km

fluens proton: > 1 MeV 7.7E+08 fluens elektron: > 0.6 MeV 7.9E+09

> 10 MeV 1.4E+05 > 2 MeV 1.9E+07

> 100 MeV 2.6E+06

Record: 1 of 6 Search

Record: 1 of 64 of 66 2009

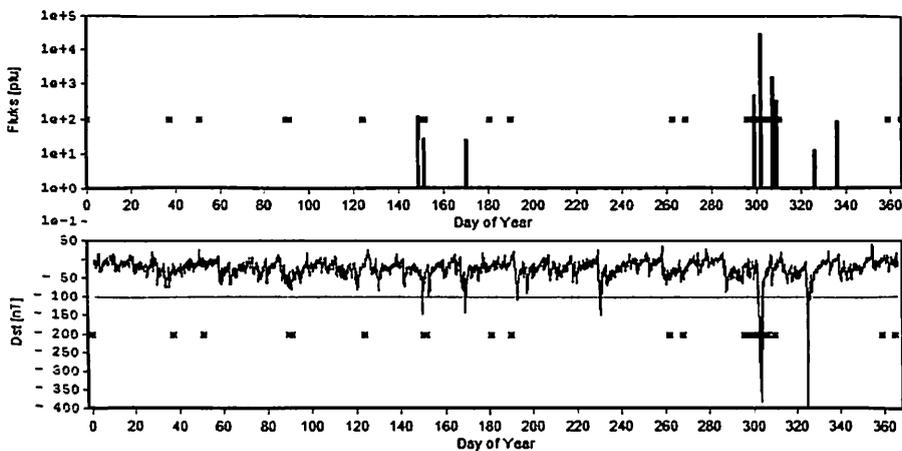
Gambar 4-1. Informasi tentang anomali satelit WIND dan kaitannya dengan badai geomagnet

Apabila diplot waktu kejadian seluruh anomali satelit yang telah dimasukkan ke dalam basis data bersama plot SPE dan badai geomagnet, tidak terlihat korelasi yang jelas antara kejadian anomali dengan kejadian SPE maupun badai geomagnet kecuali untuk beberapa waktu misalnya pada Oktober 2003 dan Januari 2005 (lihat Gambar 4-2 dan Gambar 4-3). Hal ini wajar karena anomali satelit yang dimasukkan belum melalui proses seleksi. Anomali satelit yang dimasukkan adalah semua kejadian kegagalan (*failure*) yang dialami satelit (bukan hanya yang diduga terkait dengan cuaca antariksa) yang berhasil diperoleh baik dari katalog SatND maupun beberapa literatur yang beredar di internet. Jika seleksi telah dilakukan dan jumlah data anomali mencukupi maka diharapkan adanya kesesuaian antara jumlah anomali yang terjadi dengan peningkatan nilai parameter-parameter yang mencirikan lingkungan antariksa yang terganggu (lihat Tabel 4-2).

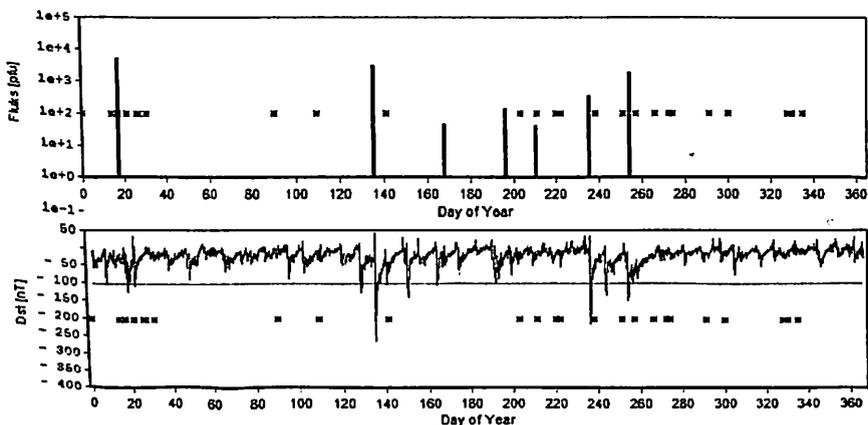
Basis data yang dikembangkan pada penelitian ini belum mencapai objektif yang diharapkan. Fungsi menyimpan dan mengambil kembali informasi dari basis data belum sempurna diimplementasikan. Ini terlihat dari masih adanya entri data yang harus dilakukan langsung ke tabel bersangkutan (bukan melalui antarmuka yang dibuat) dan *query-query* untuk mengambil kembali informasi masih harus dilakukan oleh pengguna sendiri.

Agar mampu memberi informasi yang lebih akurat, basis data ini harus dikembangkan. Rancangan saat ini belum memadai dilakukannya analisis lanjut. Teknik *epoch analysis* untuk memperoleh keterkaitan antara CME, badai geomagnet, dan anomali satelit dinilai terlalu menyederhanakan persoalan. Selain itu, identifikasi badai matahari yang berasosiasi dengan anomali satelit jelas tidak mungkin dilakukan dengan

hanya menggunakan data CME. Flare, yang kadang terjadi tanpa disertai CME, dan CIR (*Corotating Interaction Region*) yang berasal dari lubang korona perlu diperhitungkan. Borovsky (2006) menyatakan bahwa badai yang dikarenakan oleh CIR lebih berpotensi merusak teknologi di ruang angkasa sedang CME lebih berpotensi merusak teknologi landas bumi. Analisis lanjut juga membutuhkan data fluks partikel bermuatan yang menerpa satelit saat mengalami anomali. Untuk mengetahui nilai ini dengan tepat dibutuhkan data waktu anomali satelit yang akurat hingga detik di samping peta distribusi fluks partikel bermuatan berdasarkan energinya. Tanpa semua informasi ini analisis lanjut mustahil dilakukan kecuali menetapkan beberapa asumsi seperti dilakukan oleh Ahmad (2010).



Gambar 4-2. Plot waktu anomali satelit bersama waktu kejadian SPE dan badai geomagnet tahun 2003.



Gambar 4-3. Plot waktu anomali satelit bersama waktu kejadian SPE dan badai geomagnet tahun 2005

Tabel 4-2
Karakteristik rata-rata cuaca antariksa saat ada/tidak ada anomali satelit (1971-1994)
(Dorman, 2005)

Parameter	"quiet" days (no anomalies)	"probably dangerous" days (anomalies in 1-2 satellites)	"dangerous" days (anomalies in ≥ 3 satellites)
Total No. of days	5862	2606	298
No. of anomalies (per day, per satellite)	0	1.68 ± 0.04	4.55 ± 0.18
No. of satellites with anomalies (per day)	0	1.24 ± 0.01	3.51 ± 0.06
Daily A_p	14.57 ± 0.18	17.55 ± 0.36	21.15 ± 1.32
Maximal A_p	29.26 ± 0.40	34.46 ± 0.73	40.03 ± 2.53
Minimal D_{st} , nT	-31.78 ± 0.38	-36.49 ± 0.70	-42.68 ± 2.20
Daily proton flux > 10 MeV, pfu	0.30 ± 0.09	0.46 ± 0.12	17 ± 12
Maximal proton flux > 10 MeV, pfu	8.20 ± 1.70	18.1 ± 4.4	91 ± 30
Electron fluence > 2 MeV ($\times 10^7$), cm^{-2}	4.90 ± 0.29	7.59 ± 0.60	12.7 ± 2.7
Solar wind speed, km/s	441.9 ± 1.5	466.2 ± 2.5	500 ± 9
IMF intensity, nT	6.88 ± 0.04	6.98 ± 0.06	6.72 ± 0.18

5. Kesimpulan

Penelitian secara statistik menunjukkan adanya keterkaitan antara kejadian anomali satelit dengan cuaca antariksa yang sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Untuk memahaminya lebih jauh diperlukan basis data yang relevan. Basis data ini mengaitkan antara anomali satelit dengan kondisi cuaca antariksa yang diduga mengakibatkan anomali tersebut dan badai matahari yang menjadi pemicu meningkatkan kondisi cuaca antariksa tadi. Dengan rancangan dan implementasi yang tepat, diharapkan aktivitas entri data dan perolehan kembali data tersebut dapat dilakukan dengan optimal.

Perangkat basis data yang dikembangkan dalam penelitian ini belum mampu mencapai objektif yang diharapkan karena permasalahan dalam implementasi rancangannya. Akan tetapi beberapa hal telah dapat dilakukan terkait dengan studi dampak CME terhadap operasional satelit dan analisis awal anomali satelit yang pernah terjadi. Dugaan bahwa suatu anomali terkait dengan cuaca antariksa dapat diperkuat dengan melihat (dengan mudah) ada/tidaknya kejadian badai geomagnet atau SPE dan CME sebelum anomali terjadi yang mungkin saling berasosiasi. Dengan demikian perangkat ini dapat digunakan sebagai komponen pelengkap dalam Sistem Informasi Anomali Satelit (SIAS) yang dikembangkan di LAPAN (Ahmad, 2009b).

Pengembangan perangkat ini diperlukan agar dapat mendukung dilakukannya analisis lanjut yang memerlukan data yang lebih lengkap dan akurat.

Daftar Rujukan

- Ahmad, N., 2009a. *Analisis Penyebab Anomali Satelit akibat Aktivitas Geomagnet*, Jurnal Sains Dirgantara LAPAN vol. 6 no. 2 Juni 2009 hal. 133–148
- Ahmad, N., 2009b. *Pembangunan Sistem Informasi Anomali Satelit (SIAS)*, Jurnal Sains Dirgantara LAPAN vol. 6 no. 2 Juni 2009 hal. 149–164
- Ahmad, N., 2010. *Fluks dan Distribusi Partikel Energetik di Orbit LEO Penyebab Terjadinya Anomali Satelit*, Jurnal Sains Dirgantara LAPAN vol. 7 no. 2 Juni 2010 hal. 146–163
- Allen, J. H., 2000. *Satellite Anomalies, Recent Events, and Possible Causes*
- Allen, J. H., 2002. *Historical and Recent Solar Activity and Geomagnetic Storms Affecting Spacecraft Operations*
- Allen, J. H. dan L. J. Lanzerotti, 2006. *Space Weather: A Personal View*
- Borovsky, J. E., and M. H. Denton (2006), *Differences between CME-driven storms and CIR-driven storms*, J. Geophys. Res., 111, A07S08.
- Daglis, I.A. 2001. *Space Storms and Space Weather Hazards*. NATO Science Series.
- Dorman L.I. et al. 2005. *Space Weather and Space Anomalies*. *Annales Geophysicae*, 23, 3009-3018, 2005.
- Fathansyah, 1999. *Basis Data*. Bandung: Informatika
- Gopalswamy, N., et.al. 2009a. *The SOHO/LASCO CME Catalog*, Earth, Moon, and Planets, Vol. 104, No. 1, 2009, hal. 295.
- Gopalswamy N. 2009b. *Coronal Mass Ejections and Space Weather*. CAUSES: Selected papers from the 2007 Kyoto Symposium. Tokyo: TERRAPUB.
- Gopalswamy N. 2009c. "CME Link to The Geomagnetic Storms". *Solar and Stellar Variability: Impact on Earth and Planets*, Proceedings IAU Symposium No. 264, 2009
- Odenwald, Sten. 2001. *The 23rd Cycle: Learning to live with a stormy star*. Columbia University Press.
- Speich, Dave dan Barbara Poppe. 2000. *Satellite Anomalies*. Space Environment Topics. SEC NOAA.
- Webb, D.F. dan N. Gopalswamy. 2006. "Coronal Mass Ejection and Space Weather". ILWS Workshop 2006, GOA, February 19-2, 2006.
- Wilson, S. dan Nizam Ahmad, 2010. *Analisis Pengaruh Peristiwa Matahari yang Kuat pada Penurunan Ketinggian Orbit Stasiun Ruang Angkasa ISS*, Matahari dan Lingkungan Antariksa edisi 2010, Jakarta: Dian Rakyat.

VARIASI UNSUR BERAT BERDASARKAN PENGAMATAN SATELIT ACE/SIS PADA PERISTIWA PARTIKEL MATAHARI TAHUN 2006

NEFLIA

Pusat Sains Antariksa – LAPAN

e-mail: neflia@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Analisis peningkatan fluks dan fluks maksimum dilakukan dalam rangka mempelajari variasi unsur berat yang diperoleh dari ACE/SIS pada saat peristiwa partikel matahari pada 6 Desember 2006 dan 13 Desember 2006. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa peningkatan fluks dan fluks maksimum unsur berat pada peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006 lebih besar 10 kali dibandingkan dengan peningkatan fluks dan fluks maksimum pada peristiwa partikel matahari tanggal 13 Desember 2006. Selain itu selang waktu peningkatan fluks dan penurunan fluks unsur berat pada peristiwa partikel 6 Desember juga lebih lama. Peningkatan fluks dan fluks maksimum ini bergantung pada energi unsur, semakin besar energi unsur semakin kecil peningkatan fluks, kecuali pada kasus besi dan argon.

Kata kunci: peristiwa partikel matahari, peningkatan fluks, fluks maksimum, unsur berat

Abstract. The analysis of the flux enhancement and the maximum flux is done in order to study the heavy element variation during solar particle event on 6 and 13 December 2006. The data used in this analysis are heavy element fluxes from ACE/SIS. The results show that flux enhancements and the maximum fluxes of the heavy elements on 6 December 2006 ten times higher than of those event on 13 December 2006. In addition, the increasing and decreasing of heavy element on 6 December are longer than that on 13 December 2006. These flux enhancements and maximum fluxes depend on the energy of the heavy elements. The higher element energy the smaller flux enhancement, except for Iron and Argon.

Keywords: solar particle events, flux enhancements, maximum fluxes, heavy elements

1. Pendahuluan

Partikel energetik di ruang antarplanet telah diamati memiliki rentang energi dari supra-thermal (beberapa keV) hingga 10^{17} keV. Partikel yang paling banyak mengisi ruang antarplanet adalah proton, elektron dan partikel alfa. Unsur berat hingga besi juga dapat ditemukan meski dalam jumlah lebih sedikit (Schwenn, 2006 dan Kallenrode, 2004). Populasi partikel ini berasal dari sumber yang berbeda, Semuanya memiliki karakteristik spektrum energi, skala waktu dan skala spasial tertentu. Gambar 1-1 menunjukkan populasi partikel energetik di heliosfer. Tabel 1-1 menunjukkan karakteristik populasi partikel di ruang antarplanet (kolom pertama menunjukkan sumber partikel energetik di ruang antarplanet, seperti ditunjukkan pada Gambar 1-1).

Kelimpahan unsur dan isotop telah terbukti merupakan sumber informasi mengenai asal dan pembentukan populasi partikel energetik di heliosfer. Pada peristiwa