

Respon Magnetosfer dan Ionosfer di Atas Indonesia Terhadap Cuaca Antariksa Ekstrim dan Dampaknya Pada Satelit Lapan Tubsat (Magnetosphere-Ionosphere Response Over Indonesia to Extreme Weather Space and Its Impact on Lapan Tubsat Satellite)

Anwar Santoso

Pusat Sains Antariksa, Lapan

e-mail: anwar.santoso@lapan.go.id

Diterima: 12-11-2014. Direvisi: 27-1-2015. Disetujui: 29-1-2015. Diterbitkan: 9-3-2015.

Abstrak. Dengan menggunakan data hasil pengamatan maka dilakukan investigasi respon magnetosfer dan ionosfer di atas Indonesia terhadap cuaca antariksa ekstrim dan sekaligus mengkaji dampaknya pada satelit Lapan Tubsat melalui metode visual dan studi terhadap literatur. Hasil investigasi data dan studi literatur diperoleh bahwa Matahari merupakan penggerak utama dinamika cuaca antariksa. Selain itu, juga diperoleh bahwa respon magnetosfer dan ionosfer terhadap fenomena cuaca antariksa dapat dimonitor menggunakan peralatan pengamat cuaca antariksa di Pusat Sains Antariksa, Lapan berupa pola yang terganggu pada medan geomagnet komponen H dari stasiun Kupang dan stasiun Manado, data ionosfer *foF2* dari stasiun Manado dan indeks *Dst* bulan Maret 2013. Sedangkan dampak cuaca antariksa pada satelit Lapan Tubsat menyebabkan gangguan pada sistemnya baik berupa kenaikan suhu dan arus. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai bahan penelitian selanjutnya yang lebih komprehensif sehingga pemahaman masyarakat tentang cuaca antariksa dan dampaknya dapat meningkat agar dapat melaksanakan mitigasi dampak cuaca antariksa sendiri.

Kata kunci: *magnetosfer, ionosfer, cuaca antariksa, satelit Lapan Tubsat*

Abstract. By using the observed data, the investigation magnetosphere and ionosphere response upon Indonesia to extreme space weather and to appraise the impact on the Lapan's TUBSAT satellite through visual methods and the study of literature. Results of investigation data and literature studies showed that the sun is the main driver of the dynamics of space weather. It also found that the response of the magnetosphere and ionosphere of the space weather phenomena can be monitored using the equipment space weather observer at the Space Science Center, Lapan be disturbed patterns in the data H-component geomagnetic field from Kupang and Manado observatories, *foF2* ionosphere from Manado observatory and *Dst* index on March 2013. While the impact of space weather on Lapan's TUBSAT satellite causing disturbances in the satellite's system in the form of rising

temperatures and currents. These results can be used as a starting material for next research more comprehensive so that people's understanding of space weather and its effects can be increased in order to carry out its own space weather impact mitigation.

Keywords: *magnetosphere, ionosphere, space weather, Lapan's TUBSAT satellite.*

1. Pendahuluan

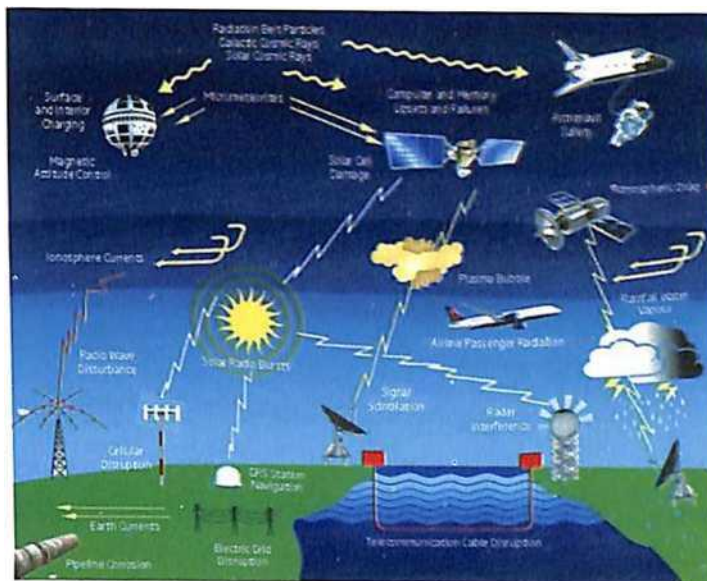
Cuaca antariksa menjadi salah satu program utama di Pusat Sains Antariksa, Lapan dikarenakan keberadaannya dapat merusak infrastruktur penopang kehidupan masyarakat. Oleh karena itu, perilaku dan karakteristik cuaca antariksa penting untuk dimonitor dan dipelajari. Terkait dengan hal tersebut, Lapan membangun jaringan peralatan pengamatan cuaca antariksa di wilayah Indonesia terutama yang terkait magnetosfer dan ionosfer. Cuaca antariksa adalah istilah yang menggambarkan kondisi di Matahari, angin surya, magnetosfer, ionosfer, dan termosfer, yang dapat mempengaruhi kinerja dan kehandalan dari berbagai sistem peralatan berteknologi tinggi landas bumi dan landas antariksa serta dapat membahayakan kesehatan dan keselamatan manusia. Seperti halnya cuaca terestrial (iklim, hujan, angin), cuaca antariksa juga mempunyai periode yaitu harian (*diurnal variations*), musiman (*seasonal variations*) dan 11 tahun-an (siklus matahari). Matahari merupakan penggerak utama cuaca antariksa dalam sistem kopling Matahari-Bumi. Fenomena di matahari yang berperan dalam dinamika cuaca antariksa adalah lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection*; CMH), *flare* dan lubang hitam (*coronal holes*; CH). CME terbentuk ketika aliran cepat plasma dibagian dalam matahari menyalip angin matahari dan mengompres aliran lambat.

Perlu diketahui bahwa lingkungan magnetosfer, satelit, atmosfer dan ionosfer, semuanya akan bereaksi terhadap peningkatan aktivitas matahari. Namun demikian, masing-masing lingkungan tersebut bereaksi berbeda-beda tergantung pada medan magnet dan energi partikel dari matahari. Ketika terjadi aktivitas matahari ekstrim maka terjadi cuaca antariksa ekstrim yang akan menyebabkan lingkungan magnetosfer, ionosfer, atmosfer dan satelit mengalami reaksi yang ekstrim pula.

Terkait dengan hal di atas maka pada makalah ini dilakukan kajian dampak fenomena cuaca antariksa ekstrim terhadap magnetosfer dan ionosfer di atas Indonesia serta dampaknya pada satelit Lapan Tubsat. Tujuannya adalah mengetahui respon magnetosfer dan ionosfer di atas Indonesia terhadap fenomena cuaca antariksa ekstrim dan dampaknya terhadap operasional satelit Lapan Tubsat. Adapun sarannya adalah hasil kajian diketahuinya respon magnetosfer dan ionosfer di atas Indonesia terhadap fenomena cuaca antariksa ekstrim dan dampaknya terhadap operasional satelit Lapan Tubsat.

1. Landasan Teori

Banyaknya sistem peralatan berteknologi tinggi yang dipengaruhi oleh cuaca antariksa diilustrasikan pada Gambar 2-1.



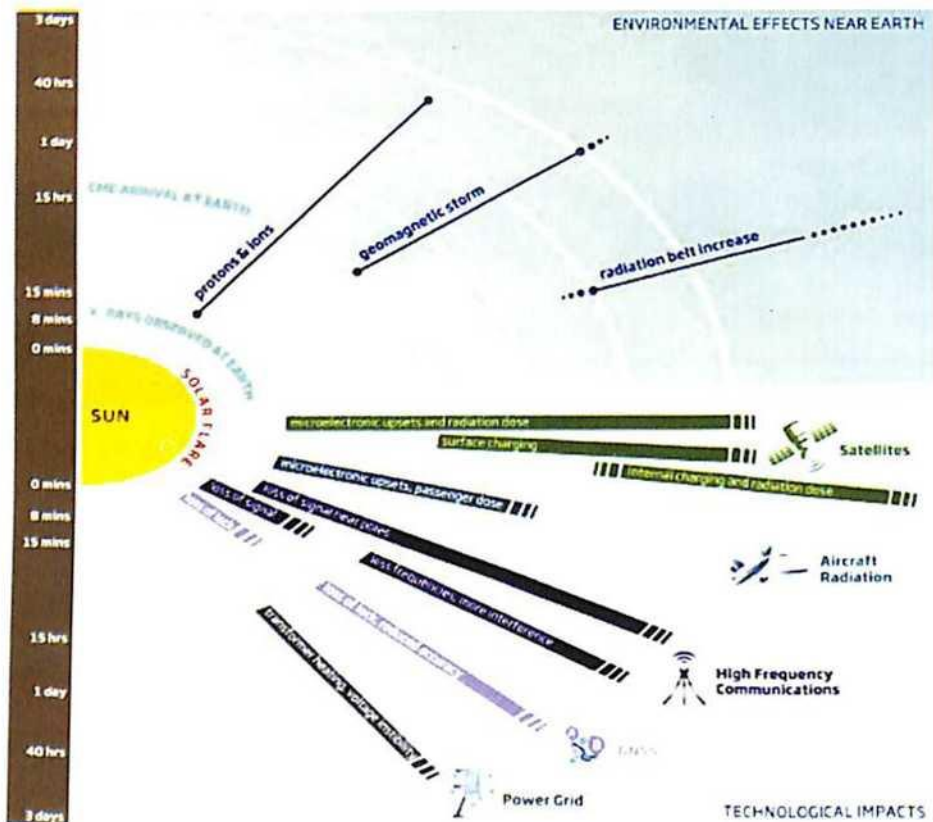
Gambar 2-1: Ilustrasi contoh dampak cuaca antariksa pada sistem peralatan berteknologi tinggi landas bumi dan landas antariksa dicuplik dari Lanzerotti et al. (2001).

Seperti halnya cuaca terestrial (iklim, hujan, angin), cuaca antariksa juga mempunyai periode yaitu semi harian (*semi diurnal variation*), harian (*diurnal variation*), musiman dan 11 tahun-an (siklus matahari). Matahari merupakan penggerak utama cuaca antariksa. Fenomena di matahari yang berperan dalam dinamika cuaca antariksa adalah lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejectioir*, CME), *flare* dan lubang korona (*coronal holes*, CI I). CME terjadi ketika aliran cepat plasma di bagian dalam matahari menyalip angin matahari dan mengkompres aliran lambatnya.

Ketika terjadi CME, partikel berenergi dan awan magnet terlontar ke segala arah kemudian terbawa serta oleh angin surya (*solar wind*). Saat bertumbukan dengan bagian luar magnetosfer bumi, maka memungkinkan partikel-partikel angin surya masuk ke dalam magnetosfer bumi menghasilkan gangguan yang dinamakan badai geomagnet (*geomagnetic storm*). Jumlah partikel-partikel angin suiya akan semakin intens masuk ke magnetosfer bumi jika pada saat tumbukan medan magnet antar planetnya sedang mengarah ke selatan (*southward interplanetary magnetic field*; IMF Bz). Hal ini dikarenakan

interaksi antara IMF Bz (mengarah ke selatan) dan garis gaya medan geomagnet (mengarah ke utara) di sisi siang bumi menyebabkan daerah ini mudah ditembus oleh partikel-partikel angin surya. Peristiwa interaksi ini dinamakan rekoneksi.

Lingkungan magnetosfer, satelit, atmosfer dan ionosfer, semuanya akan bereaksi terhadap peningkatan aktivitas matahari. Namun demikian, masing-masing memberikan reaksi berbeda tergantung pada medan magnet dan energi partikel dari matahari. Ragam potensi reaksi lingkungan bumi terhadap aktivitas matahari ditampilkan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2: Ringkasan dampak cuaca antariksa pada sistem peralatan berteknologi tinggi (Channon et al, 2013).

Gambar 2-2 menunjukkan bahwa cuaca antariksa dapat berdampak pada: (1) sistem komunikasi radio HF, (2) transportasi udara dan penumpang, (3) penentuan posisi (*positioning*), navigasi dan penentuan waktu (*timing*) berbasis satelit, (4) operasional satelit, (5) jaringan listrik, (6) radiasi pengion pada avionik pesawat terbang. Dalam artikel ini hanya akan dibahas dampak

cuaca antariksa ekstrim pada medan geomagnet, dinamika ionosfer dan operasional satelit di Indonesia.

Solar Energetic Particles (SEP) merupakan salah satu fenomena cuaca antariksa yang mengganggu satelit. Pada saat SEP, konsentrasi proton berenergi dan elektron akan meningkat terutama di daerah *South Atlantic Anomaly* (SAA). Kejadian ini akan menambah jumlah dosis pengion yang akan menyebabkan dua efek yaitu:

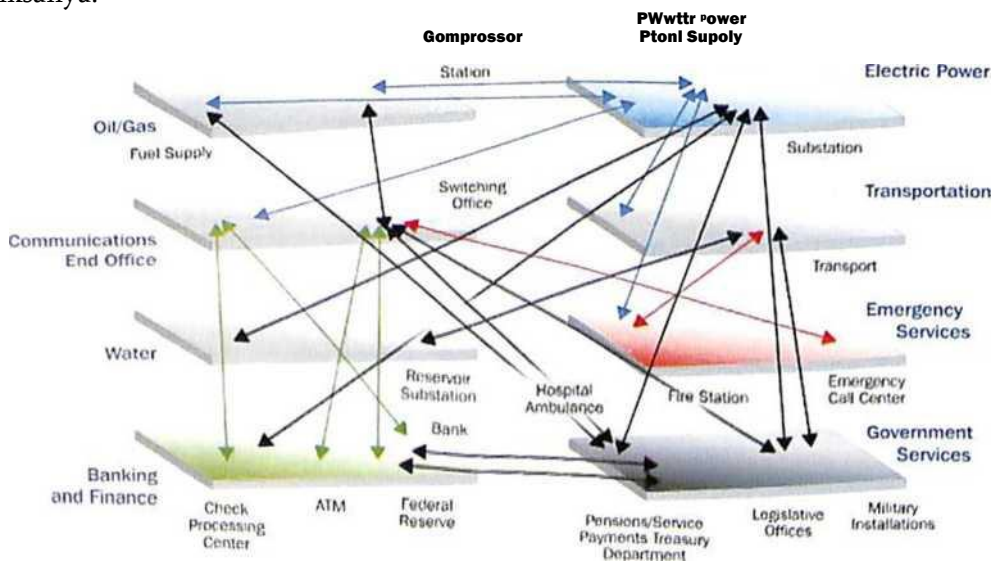
- a. *Displacement damaged* mengganggu struktur bahan kristal yang digunakan dalam perangkat mikroelektronik satelit. Cacat ini mengurangi kinerja transistor utama perangkat optoelektronik seperti pada *OPTO-couplers* yang menyebabkan rasio transfer arus berkurang. Sedangkan pada sel surya akan menyebabkan efisiensinya terdegradasi.
- b. *Single event effect* (SEE) adalah derau elektronik yang terjadi karena adanya induksi dari partikel ion berenergi tinggi. SEE timbul dari deposisi muatan partikel tunggal di daerah sensitif mikroelektronik satelit. Deposisi terjadi melalui ionisasi langsung (dominan untuk ion berat) dan interaksi-interaksi nuklir (dominan untuk proton dan neutron). Efek yang ditimbulkannya berkisar dari kerusakan lunak (dapat diperbaiki) dan kerusakan berat (permanen) yang dapat mencakup kebakaran perangkat seperti terbakarnya semikonduktor oksida logam. Semakin kecil ukuran fitur peralatan dari puluhan hingga nanometer dan semakin rendahnya muatan kritis (hingga nilai femto Coulombs) maka kondisi ini akan menjadi masalah serius yang kemudian menyebabkan sejumlah sistem peralatan satelit rusak.

SEE dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. *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 Interupts (SEFI).
 - Single Event Transient (SET).
- b. *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).

Peristiwa *Geomagnetically induced current* (GIC) merupakan arus induksi magnet yang dibangkitkan oleh kejadian cuaca antariksa ekstrim. Ketika GIC terjadi maka akan menyebabkan gangguan atau bahkan kebakaran trafo jaringan listrik tegangan tinggi (Kappenman, 2003). Salah satu contoh dampak cuaca antariksa ekstrim pada jaringan listrik adalah terbakarnya transformator pembangkit listrik Hydro-Quebec, Kanada yang dipicu kejadian badai geomagnet ekstrim tanggal 13 Maret 1989 dengan intensitas tercatat $Dst = -600$ nT (Bolduc, 2002). Pada peristiwa ini, dua pertiga wilayah Kanada mengalami mati listrik selama 9 jam sehingga menyebabkan kerugian milyaran dolar US.

Diantara dampak cuaca antariksa, padamnya listrik akibat arus induksi geomagnet (GIC) merupakan dampak yang berpotensi mempengaruhi hampir semua sektor kehidupan masyarakat, misalnya: gangguan komunikasi karena terganggunya suplai daya, gangguan transportasi karena matinya lampu rambu lalu lintas dan gangguan perbankan karena matinya jaringan internet dan suplai daya. Detail potensi gangguan cuaca antariksa terhadap sektor kehidupan masyarakat dapat dilihat pada Gambar 2-3. Pendek kata efek cuaca antariksa ekstrim merugikan secara materiil, waktu dan finansial dengan jumlah bisa mencapai triliunan rupiah. Namun demikian, keparahan dampak dan efek cuaca antariksa sesungguhnya masih bergantung pada sejumlah variabel, misalnya: karakteristik lingkungan antariksa dan peralatan pengamat cuaca antariksa, intensitas cuaca antariksanya dan durasi paparan cuaca antariksanya.



Gambar 2-3: Skema menggambarkan interkoneksi dan saling ketergantungan infrastruktur penopang kehidupan masyarakat modern yang akan terganggu fenomena cuaca antariksa ekstrim

(www.dhs.gov/xprevprot/programs/editorial_0827.shtm).

2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam makalah ini meliputi data medan geomagnet dan ionosfer hasil pengamatan Pusat Sains Antariksa, indeks *Dst* (wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime) dan informasi gangguan satelit Lapan-TUBSAT dari makalah rujukan. Data medan geomagnet untuk melihat respon magnetosfer terhadap cuaca antariksa ekstrim, data ionosfer untuk respon ionosfer terhadap cuaca antariksa ekstrim, data indeks *Dst* untuk identifikasi badai geomagnet dan jurnal-jurnal yang membahas gangguan operasional satelit Lapan Tubsat saat kejadian cuaca antariksa.

Metode yang digunakan adalah metode visual dan studi terhadap literatur. Metode visual dilakukan untuk melihat respon magnetosfer dan ionosfer terhadap kejadian cuaca antariksa. Setelah secara visual terlihat responnya maka diperkuat dengan analisis korelasi. Hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa respon yang terjadi merupakan reaksi dari fenomena cuaca antariksa. Sedangkan studi terhadap jurnal dan artikel digunakan untuk melihat gangguan pada operasional satelit Lapan Tubsat ketika terjadi cuaca antariksa ekstrim.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari Gambar 2-3 dapat dikatakan bahwa dampak cuaca antariksa ekstrim yang paling merugikan adalah kejadian *Geomagnetic Induced Current* (GIC). Ketika terjadi arus GIC maka trafo step *up/down* dan trafo jaringan distribusi pada pembangkit listrik akan terbakar yang pada akhirnya akan menyebabkan pemadaman listrik. Bila hal ini terjadi maka semua aspek penopang kehidupan masyarakat modern juga akan mengalami gangguan operasional. Untungnya belum pernah dilaporkan kasus kejadian arus GIC di lintang rendah, apalagi sampai merusak seperti digambarkan di atas. Walaupun belum pernah dilaporkan adanya kasus kejadian GIC yang merusak di lintang rendah, namun demikian studi tentang GIC pernah ada yang melakukan dan diyakini bahwa GIC juga bisa terjadi di lintang rendah walau dengan intensitas rendah (Kappenman, 2003).

Dari keenam dampak cuaca antariksa ekstrim pada peralatan seperti ditunjukkan pada Gambar 2-2, yang berpotensi besar terjadi dan dampaknya dirasakan sampai ke lintang rendah (Wilayah Indonesia) adalah dampak cuaca antariksa pada:

- komunikasi radio HF dan penentuan posisi berbasis satelit yang disebabkan oleh adanya gangguan pada ionosfer;
- operasional satelit yang diakibatkan oleh paparan radiasi partikel berenergi,

Sedangkan tiga dampak cuaca antariksa lainnya, meskipun sampai lintang ke rendah (termasuk wilayah Indonesia), tidak sampai menyebabkan merusak, contohnya :

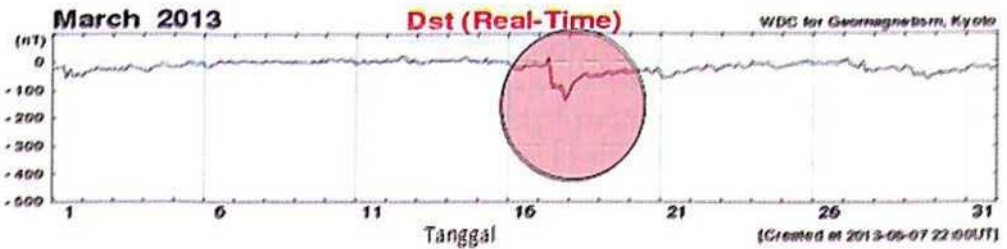
- paparan radiasi terhadap kru dan penumpang pesawat komersial,
- paparan radiasi terhadap sistem avionik,
- GIC yang menyebabkan trafo terbakar-sinyal perkeratapan, pipa gas/minyak.

Peristiwa GIC yang menyebabkan kerusakan umumnya terjadi di daerah lintang tinggi seperti yang pernah terjadi tanggal 13 Maret 1989 yang menyebabkan matinya trafo listrik dari pembangkit listrik Hydro-Quebec, Kanada sehingga 2/3 wilayah Kanada tidak teraliri listrik selama 9 jam. Di daerah lintang menengah, kejadian GIC yang menyebabkan gangguan operasional trafo listrik sudah dilaporkan, seperti gangguan trafo listrik di Afrika Selatan pada kejadian CME kuat berasosiasi dengan *flare* tanggal 30 Oktober 2003.

Berikut ini diberikan beberapa studi kasus yang menggambarkan dampak cuaca antariksa di Indonesia.

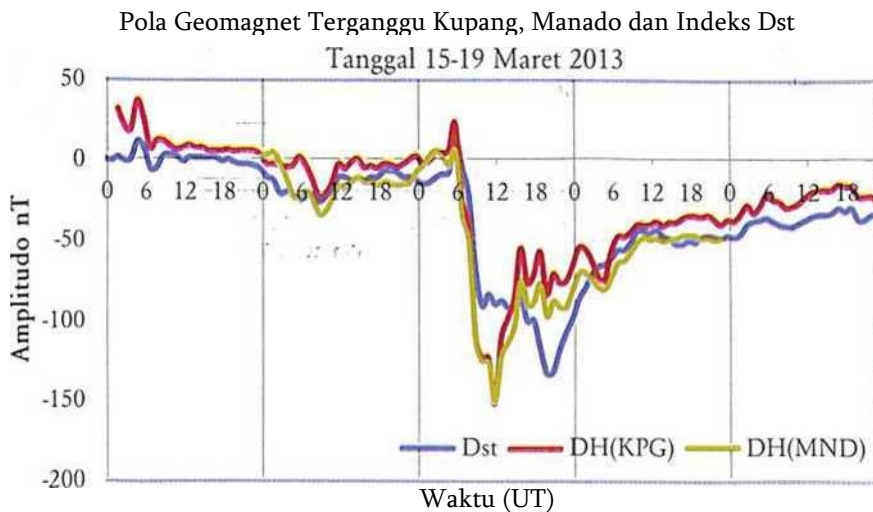
4.1 Badai Geomagnet ($Dst = -132$ nT) dan Gangguan Ionosfer 17 Maret 2003

Badai geomagnet tanggal 17 Maret 2013 tergolong badai geomagnet tipe *Sudden Commencement* (SC), yang dicirikan dengan kenaikan mendadak dan sesaat intensitas medan geomagnet sebelum mengalami penurunan. Badai geomagnet ini dipicu oleh kejadian halo CME tanggal 15 Maret 2013 pukul 07.12 UT (14.12 WIB) yang berasosiasi dengan *flare* kelas M1. Dalam peristiwa ini matahari melepaskan partikel dan medan magnet yang terbawa serta oleh angin surya (*solar wind*). Sekitar 46,2 jam kemudian atau tanggal 17 Maret 2014 partikel-partikel dan medan magnet yang terbawa angin surya sampai ke magnetosfer bumi terjadi interaksi dinamakan rekoneksi. Rekoneksi akan semakin intens jika pada saat itu medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF) sedang mengarah ke selatan (IMF Bz(-)). Ketika rekoneksi sedang berlangsung maka partikel dari angin surya dan medan magnet seakan dipompakan ke bagian dalam magnetosfer menyebabkan gangguan geomagnet di seluruh permukaan bumi dalam satuan nano Tesla (nT) dalam bentuk indeks *Dst*. Peristiwa ini dinamakan badai geomagnet (*magnetic storm*), seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1: Variasi indeks *Dst* bulan Maret 2013 yang menunjukkan adanya gangguan geomagnet akibat halo CME tanggal 15 Maret 2013 yang berasosiasi dengan *flare* kelas M1 (wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201303/index.html)

Badai geomagnet ini menyebabkan gangguan geomagnet yang dapat dirasakan di seluruh dunia termasuk di sekitar Manado. Data komponen H medan geomagnet Manado menunjukkan adanya gangguan geomagnet di sekitar Manado dan Kupang, indeks *Dst* menunjukkan adanya hal yang sama (Gambar 4-2).

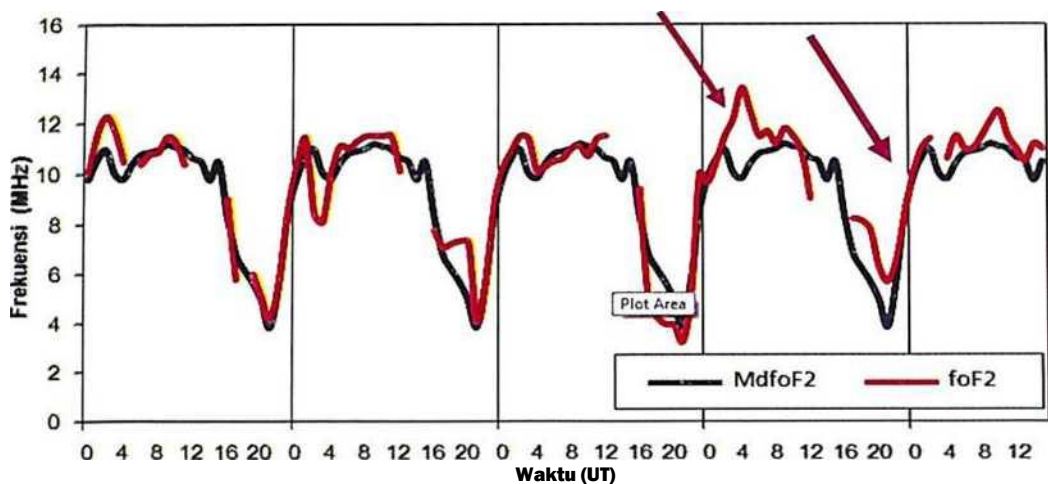


Gambar 4-2: Pola komponen H geomagnet Manado, Kupang dan indeks *Dst* pada 16 - 18 Maret 2013

Secara visual tampak bahwa pola komponen H geomagnet Manado terganggu. Pada Komponen H geomagnet Manado, depresi minimumnya terjadi pukul 12.00 UT tanggal 17 Maret 2013. Sedangkan pada indeks *Dst*, depresi minimumnya terjadi pukul 21.00 UT tanggal 17 Maret 2013. Nilai depresi minimum untuk komponen H geomagnet Manado adalah -149 nT dan untuk indeks *Dst* adalah -131 nT.

Selain menyebabkan gangguan pada magnetosfer, badai geomagnet tanggal 17 Maret 2013 juga menyebabkan gangguan pada ionosfer yang ditunjukkan dengan kenaikan $foF2$ di stasiun Manado sebesar $\pm 2,8$ MHz terhadap mediannya (badai ionosfer positif), seperti ditunjukkan pada Gambar 4-3. Kenaikan $foF2$ di stasiun Manado diduga sudah terjadi dimulai sesaat setelah badai geomagnet mencapai intensitas puncaknya dan berlanjut sampai beberapa jam berikutnya. Puncak kenaikan $foF2$ terjadi pukul 04.00 UT atau dengan kata lain puncak kenaikan $foF2$ terjadi pada saat fase pemulihan (*recovery phase*) badai geomagnet.

Pola $foF2$ ionosfer di Manado Tanggal 15-19 Maret 2013



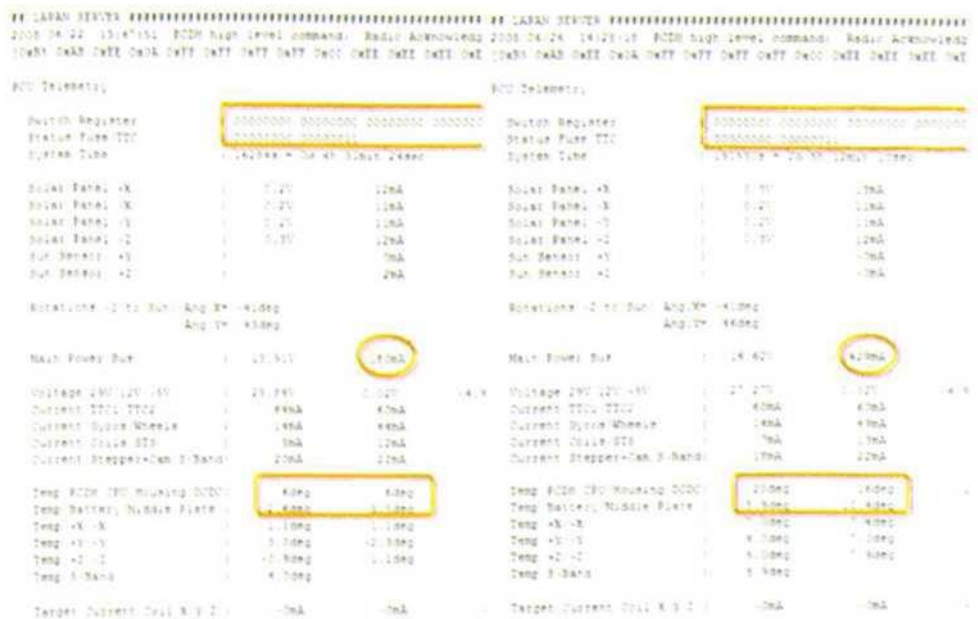
Gambar 4-3: Pola variasi $foF2$ di stasiun Manado dan mediannya pada tanggal 15 - 19 Maret 2013.

4-2. Cuaca Antariksa Ekstrem Sepanjang Tahun 2010-2011: Gangguan Operasional Satelit Lapan TUBSAT

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. Bagian atas berisi baterai, sistem kontrol catu daya & pengaturan data (*Power Control and Data Handling*, PCDH), *air coil*, serta kamera resolusi rendah 50mm. Sedangkan bagian bawah berisi sistem kendali sikap, 3 buah giro laser serat optik, 1 buah sensor bintang, 3 buah *magnetic coil* dan 3 buah sel surya GaAs. Lapan Tubsat memiliki spesifikasi konsumsi daya yang berbeda-beda, baik dalam kondisi *standby*,

momentum bias maupun operasi. Konsumsi daya akan semakin besar pada kondisi cuaca antariksa yang meningkat.

Terkait dengan kondisi tersebut, pada tahun 2012, Nayla Narjati, perekayasa Bidang Teknologi Ruas Bumi, Pusat Teknologi Satelit telah melakukan kajian dampak cuaca antariksa pada operasional satelit Lapan TUBSAT. Penulis melakukan pengamatan terhadap operasional satelit Lapan TUBSAT selama 23 bulan tahun 2010-2011. Selama 23 bulan pengamatan tersebut, ditemukan bahwa tercatat 81 kejadian *Single Event Latch-up* (SEL) pada satelit Lapan TUBSAT ditandai dengan kenaikan arus *{high current}* dengan perincian 55 kejadian SEL terjadi saat satelit Lapan TUBSAT melintas di SAA, 12 kejadian SEL saat satelit Lapan TUBSAT melintas di kutub utara dan 16 kejadian SEL saat satelit Lapan TUBSAT melintas di kutub selatan. Contoh adanya kenaikan arus pada satelit Lapan TUBSAT saat SEL ditunjukkan pada Gambar 4-4.



Gambar 4-4: Rekaman telemetri satelit Lapan TUBSAT pada saat kondisi normal (kiri) dan saat terjadi gangguan (kanan) (Najati, 2012)

Dari pembahasan di atas dapat dikatakan bahwa respon magnetosfer dan ionosfer terhadap fenomena cuaca antariksa dapat dimonitor menggunakan peralatan pengamat cuaca antariksa di Pusat Sains Antariksa, Lapan. Misalnya magnetometer, ionosonda dan GPS. Magnetometer untuk mengukur medan geomagnet yang digunakan untuk interpretasi kondisi magnetosfer. Ionogram

dan GPS digunakan untuk mengamati dinamika ionosfer. Sedangkan dampak cuaca antariksa pada satelit Lapan Tubsat menyebabkan gangguan pada sistemnya baik berupa kenaikan suhu dan arus.

4. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa respon magnetosfer dan ionosfer terhadap fenomena cuaca antariksa dapat dimonitor menggunakan peralatan pengamat cuaca antariksa di Pusat Sains Antariksa, Lapan, misalnya magnetometer, ionosonda dan GPS. Magnetometer untuk mengukur medan geomagnet yang digunakan untuk interpretasi kondisi magnetosfer. Ionosonda dan resiver GPS digunakan untuk mengamati dinamika ionosfer. Sedangkan dampak cuaca antariksa pada satelit Lapan Tubsat menyebabkan gangguan berupa kenaikan suhu dan arus.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Sains Antariksa-Lapan dan Kepala Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa-Lapan beserta seluruh teman-teman anggota Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa yang telah membantu menyediakan data geomagnet. Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi dan Bapak Dadang Nurmali serta anggota Tim Scaling yang telah membantu menyediakan data ionosfer.

Daftar Rujukan

- Najati, N., 2012. Pengaruh Gangguan Lingkungan Antariksa Pada Sistem Elektronik Lapan-TUBSAT, *Jurnal Teknologi Dirgantara* Vol. 10 No. 1, Juni 2012: hal. 50-56.
- anzerotti, L. J., L.V. Medford, C. G. MacLennan, J. S. Kraus, J. Kappenman, and W. Radasky, 2001. Trans-Atlantic Geopotentials During The July 2000 Solar Event and Geomagnetic Storm, *Solar physics*, 204, 351-359, doi: 10.1023/A:1014289410205.
- annon, P., Ivl. Angling, L. Barclay, C. Curry, C. Dyer, R. Edwards, G. Greene, M. Hapgood, R. Home, D. Jackson, J. Mitchell, J. Owen, A. Richards, C. Rogers, K. Ryden, S. Saunders, M. S. Sweeting, R. Tanner, A- Thomson, C. Underwood, 2013. *Extreme Space Weather: Impacts on Engineering Systems and Infrastructure*, Royal Academy of Engineering, Prince Philip House 3 Carlton House Terrace London SW1Y5DG.
- olduc, L., 2002. GIC Observations and Studies in the Hydro-Quebec Power System, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 64, 1793-1802.

Santoso (2015), Respon Magnetosfer dan Ionosfer di Atas Indonesia

Kappenman, J.G., 2003. Storm Sudden Commencement Events and Associated Geomagnetically Induced Current Risks to Ground-Based Systems at Low-Latitude and Mid-Latitude Locations, *Space Weather*, 1, 3, 1016, doi: 10.1029/2003SW000009.

http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201402/index.html

http://www.dhs.gov/xprevprot/programs/editorial_0827.shtm