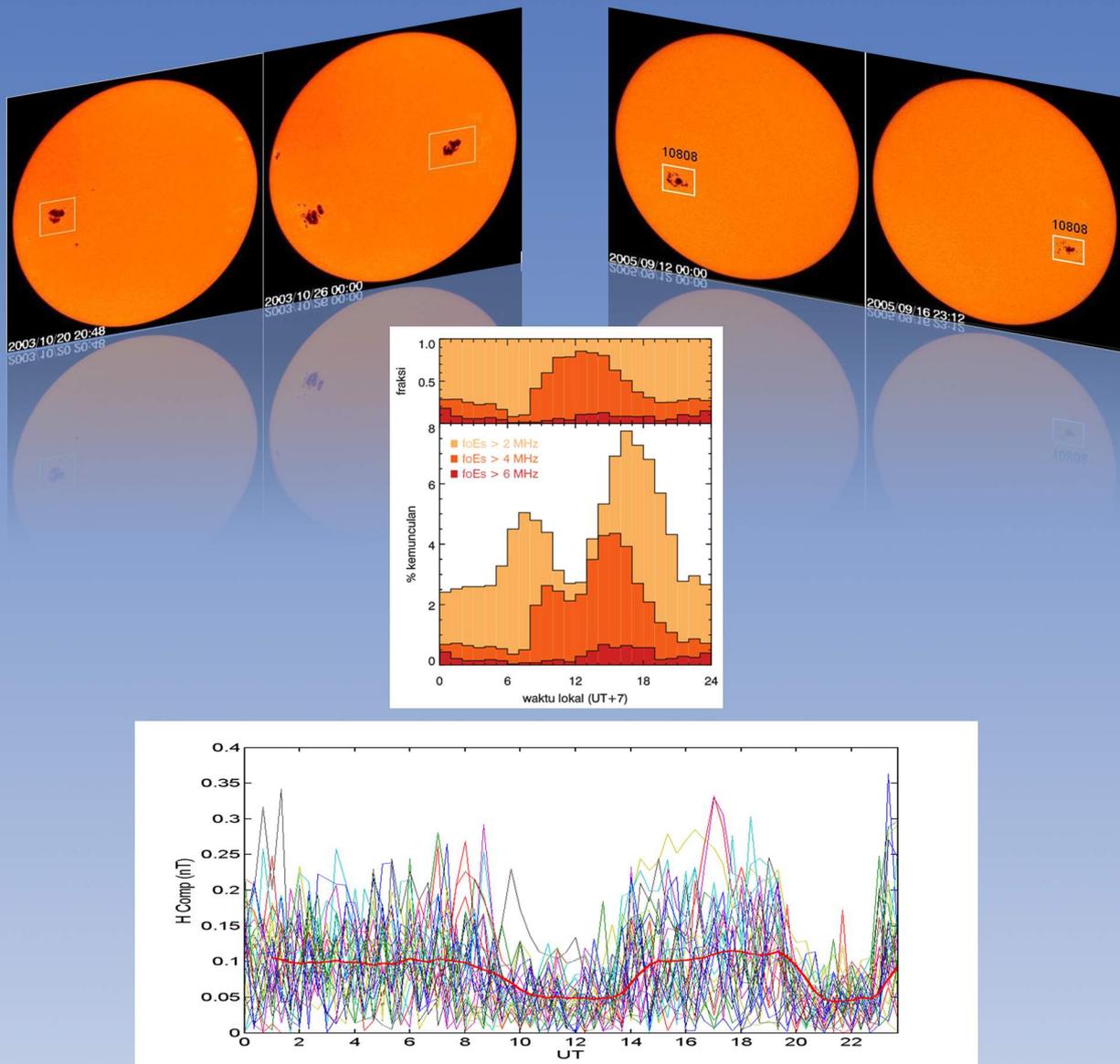


JURNAL SAINS DIRGANTARA Journal Aerospace Sciences

Vol. 13 No. 2 Juni 2016

ISSN 1412-808X

Nomor : 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015



Diterbitkan oleh Lembaga Penerangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jakarta - Indonesia

J. Si. Dirgant	Vol. 13	No. 2	Hal. 63 - 120	Jakarta, Juni 2016	ISSN 1412 - 808X
----------------	---------	-------	---------------	--------------------	------------------

JURNAL

SAINS DIRGANTARA

Journal of Aerospace Sciences

Vol. 13 No. 2 Juni 2016

ISSN 1412-808X

Nomor : 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

Jurnal Sains Dirgantara (JSD) berisi hasil penelitian, pengembangan, dan/atau pemikiran di sains atmosfer dan antariksa. Jurnal Sains Dirgantara (JSD) berisi hasil penelitian, pengembangan, dan/atau pemikiran di bidang sains atmosfer dan antariksa. Jurnal ini terbit sejak tahun 2004 dan dipublikasikan dua kali dalam setahun (Juni dan Desember)

SUSUNAN DEWAN PENYUNTING JURNAL SAINS DIRGANTARA

Penyunting

• Ketua

Drs. Sri Kaloka Prabotosari (Bidang Lingkungan Atmosfer dan Aplikasinya)/LAPAN

• Anggota

Dr. Ina Juani (Bidang Meteorologi/Sains Kebumihan)/LAPAN

Dr. Buldan Muslim (Bidang Fisika Ionosfer dan Magnetosfer)/LAPAN

Drs. Jiyo, M.Si (Bidang Fisika Magnetosferik dan Ionosferik)/LAPAN

Dr. Dadang Subarna (Klimatologi dan Atmosfer Maritim)/LAPAN

Mitra Bestari

Prof. Dr. Thomas Djamaluddin (Astronomi dan Astrofisik)/LAPAN

Prof. The Houw Liong (Model Iklim, Prediksi Banjir, dan Sains Antariksa)/ITB

Dr. Dhani Herdiwijaya (Cuaca Antariksa)/ITB

SUSUNAN SEKRETARIAT REDAKSI JURNAL SAINS DIRGANTARA

Pemimpin Umum

Ir. Christianus Ratrias Dewanto, M.Eng

Pemimpin Redaksi Pelaksana

Ir. Jasyanto, MM

Redaksi Pelaksana

Mega Mardita, S.Sos.,M.Si

Yudho Dewanto, ST

Dwi Haryanto, S.Kom

Tata Letak

M. Luthfi

Berdasarkan SK Kepala LIPI Nomor: 818/E/2015 ditetapkan
Jurnal Sains Dirgantara sebagai Majalah Berkala Ilmiah **Terakreditasi**

Gambar cover, atas [kiri] Kelompok bintang matahari NOAA 10484 (kotak) diamati oleh SOHO/MDI Continuum pada 20 dan 26 Oktober 2003; [kanan] NOAA 10808 hasil pengamatan SOHO/MDI Continuum pada 12 September dan 16 September 2005. Perubahan bentuk grup bintang matahari tampak jelas dalam kurun waktu 4 hari, menunjukkan peluruhan medan medan magnet akibat dari pelepasan energi dalam bentuk *flare* besar (M dan X); **Tengah** Histogram distribusi kemunculan lapisan E-Sporadis sebagai fungsi waktu lokal. Frekuensi ambang yang digunakan adalah 2 MHz (krem), 4 MHz (oranye), dan 6 MHz (merah). Panel atas menunjukkan fraksi kemunculan untuk setiap rentang frekuensi (dinormalisasi terhadap histogram $f_oE_s > 2$ MHz); **Bawah** Variasi harian pulsa magnet Pc3 rentang waktu Februari 2010. Kurva dengan garis tebal merupakan rata-rata variasi harian dalam satu bulan.

Alamat Penerbit

LAPAN Jl. Pemuda Persil No. 1, Rawamangun, Jakarta 13220

Telepon : (021) 4892802 Ext. 142/146 (Hunting), Fax. : (021) 47882726

Email : publikasi@lapan.go.id

Situs : <http://www.lapan.go.id>

<http://jurnal.lapan.go.id>

JURNAL

SAINS DIRGANTARA

Journal of Aerospace Sciences

Vol. 13 No. 2 Juni 2016

ISSN 1412-808X

Nomor : 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

DAFTAR ISI

	Halaman
ANALISIS RESPON MEDAN GEOMAGNET ANTARA STASIUN DI EKUATOR MAGNET DAN STASIUN BIAK SAAT BADAI GEOMAGNET PADA MERIDIAN MAGNET 210 ⁰ MM (ANALYSIS OF THE GEOMAGNETIC FIELD RESPONSE BETWEEN STATIONS AT MAGNETIC EQUATORIAL AND BIAK STATION WHEN GEOMAGNETIC STORM AT 210 ⁰ MM) Anwar Santoso	63 - 72
PENGARUH ORIENTASI MEDAN MAGNET ANTARPLANET PADA GANGGUAN GEOMAGNET DI LINTANG RENDAH (THE EFFECT OF INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD ORIENTATION ON LOW LATITUDE GEOMAGNETIC DISTURBANCES) Anton Winarko dan Anwar Santoso	73 - 86
STUDI GELOMBANG ULF: KORELASI PULSA MAGNET Pc3 DENGAN KECEPATAN ANGIN SURYA DAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET (STUDY OF ULF WAVE: CORRELATION OF Pc3 MAGNETIC PULSATIONS WITH SOLAR WIND VELOCITY AND INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD) Setyanto Cahyo Pranoto, dan Wahyu Srigutomo	87 - 96
ANALISIS PREKURSOR PERISTIWA FLARE/PELONTARAN MASSA KORONA DALAM RANGKA PERINGATAN DINI CUACA ANTARIKSA (THE ANALYSIS OF FLARE/CORONAL MASS EJECTION PRECURSORS RELATED TO THE SPACE WEATHER EARLY WARNING) Agustinus Gunawan Admiranto, Nanang Widodo, Iyus Edi Rusnadi, Heri Sutastio, dan Dasimun	97 - 110
VARIASI DIURNAL DAN MUSIMAN KEMUNCULAN LAPISAN E-SPORADIS DI ATAS SUMEDANG TAHUN 2015 (DIURNAL AND SEASONAL VARIATION OF THE OCCURRENCE OF SPORADIC-E LAYER OVER SUMEDANG IN 2015) Rhorom Priyatikanto, Farahhati Mumtahana, dan Mumen Tarigan	111 - 120

JURNAL

SAINS DIRGANTARA

Journal of Aerospace Sciences

Vol. 13 No. 2 Juni 2016

ISSN 1412-808X

Nomor : 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

Dari Redaksi

Sidang Pembaca yang kami hormati,

Fuji syukur, kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Jurnal Sains Dirgantara Vol. 13, No. 2, Juni 2016, hadir ke hadapan sidang pembaca dengan menyetengahkan 5 (lima) artikel sebagai berikut:

'Analisis Respon Medan Geomagnet Antara Stasiun di Ekuator Magnet dan Stasiun Biak Saat Badai Geomagnet pada Meridian Magnet 210° MM (Analysis of the Geomagnetic Field Response Between Stations at Magnetic Equatorial and Biak Station when Geomagnetic Storm at 210° mm)' ditulis oleh Anwar Santoso; 'Pengaruh Orientasi Medan Magnet Antarplanet pada Gangguan Geomagnet di Lintang Rendah (the Effect of Interplanetary Magnetic Field Orientation on Low Latitude Geomagnetic Disturbances)' ditulis oleh Anton Winarko, dan Anwar Santoso; 'Studi Gelombang Ulf: Korelasi Pulsa Magnet FC3 dengan Kecepatan Angin Surya dan Medan Magnet Antarplanet (Study of Ulf Wave: Correlation of FC3 Magnetic Pulsations with Solar Wind Velocity and Interplanetary Magnetic Field)', ditulis oleh Setyanto Cahyo Pranoto, dan Wahyu Srigutomo; 'Analisis Prekursor Peristiwa Flare/Pelontaran Massa Korona Dalam Rangka Peringatan Dini Cuaca Antariksa (The Analysis of Flare/Coronal Mass Ejection Precursors Related to the Space Weather Early Warning)' ditulis oleh Agustinus Gunawan Admiranto, Nanang Widodo, Iyus Edi Rusnadi, Heri Sutastio, dan Dasimun, Artikel terakhir Variasi Diurnal dan Musiman Kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Sumedang Tahun 2015 (Diurnal and Seasonal Variation of the Occurrence of Sporadic-E Layer Over Sumedang in 2015)' ditulis oleh Rhorom Priyatikanto, Farahhati Mumtahana, dan Mumen Tarigan.

Kepada para Pembaca yang budiman, bersama ini kami sampaikan telah terjadi kesalahan ketik nama Mitra Bestari Drs. Suratno, M.Sc dalam susunan Tim Penerbitan Jurnal Sains Dirgantara Vol. 13 No. 1 Desember 2015 yang seharusnya nama ini tidak ada.

Kami mengundang sidang pembaca yang budiman untuk berpartisipasi aktif dengan mengirimkan karya tulis ilmiah yang sesuai dengan lingkup jurnal ini.

Demikian kami sampaikan, semoga sidang pembaca dapat mengambil manfaatnya.

Jakarta, Juni 2016

JURNAL
SAINS DIRGANTARA
Journal of Aerospace Sciences

ISSN 1412-808X

Vol. 13 No. 1, Desember 2015

No.475/AU2/P2MI-LIPI/08/2012

Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa ijin atau biaya

ABSTRAK

**PROYEKSI AWAL MUSIM DI JAWA BERBASIS HASIL DOWNSCALING CONFORMAL CUBIC ATMOSPHERIC MODEL (CCAM) = (SEASON ONSET PROJECTION IN JAVA BASED ON CCAM DOWNSCALING OUTPUT)/Haries Satyawardhana; Armi Susandi
J. Sains, 13(1) 2015:1-14**

Penelitian mengenai awal musim dengan kriteria Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang menggunakan curah hujan dasarian di Indonesia telah banyak dilakukan, namun data yang digunakan masih memiliki keterbatasan dalam periode analisis, resolusi spasial yang masih rendah dan masih belum dapat menghasilkan proyeksi ke depan. Penggunaan model iklim adalah jawaban untuk mengatasi semua keterbatasan tersebut. Penelitian ini menggunakan *Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM)* untuk *downscaling* dari data model iklim global dan reanalisis *National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)*. Periode waktu yang digunakan adalah periode 1991 – 2010 (20 tahun) sebagai periode *baseline* (kondisi saat ini) dan periode 2011 – 2030 sebagai periode proyeksi ke depan. Penentuan awal musim pada penelitian ini menggunakan kriteria curah hujan dasarian dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa proyeksi dengan menggunakan skenario A2 IPCC menyimpulkan bahwa Awal Musim Kemarau (AMK) di sebagian besar daerah Pulau Jawa datang lebih cepat, sedangkan Awal Musim Hujan (AMH) cenderung mundur atau datang lebih lambat dari *baseline*. Dengan kata lain, Pulau Jawa diproyeksikan mengalami musim kemarau yang lebih panjang dan musim hujan yang lebih pendek dibandingkan kondisi saat ini.

Kata kunci : *CCAM, Downscaling, AMK, AMH*

**ARUS CINCIN DAN PENGARUHNYA TERHADAP MEDAN GEOMAGNET DI WILAYAH INDONESIA = RING CURRENT AND IT'S EFFECT ON THE GEOMAGNETIC FIELD IN INDONESIA REGION/ Mamat Ruhimat
J. Sains, 13(1) 2015 :15-26**

Arus cincin yang mengalir di ionosfer sekitar ekuator dapat diketahui keberadaannya pada kejadian gangguan geomagnet. Dalam peristiwa rekoneksi magnet terjadi transfer energi dari angin surya menuju magnetosfer bagian dalam. Energi ini diteruskan hingga terekam di permukaan Bumi dan menyebabkan adanya penurunan intensitas medan geomagnet yang dikenal dengan gangguan geomagnet. Dengan menggunakan data angin surya dan medan magnet antarplanet, dapat diperkirakan besarnya energi kopling angin surya magnetosfer, medan listrik merger, dan energi injeksi untuk arus cincin. Dari tiga kejadian yang dianalisis, dua di antaranya yaitu pada 3 Mei 2010 dan 29 Mei 2010 memiliki energi injeksi untuk arus cincin masing-masing $Q = 14,8$ nT/jam dan $21,4$ nT/jam. Berdasarkan hasil pemetaan gangguan geomagnet di wilayah Indonesia terlihat adanya pergeseran gangguan geomagnet dari Timur ke Barat. Hal ini menunjukkan adanya aliran arus cincin yang mengalir dari Timur ke arah Barat. Sedangkan kejadian 12 Juni 2010 menghasilkan energi injeksi yang rendah $Q = 2,9$ nT/jam, dan tidak menunjukkan adanya arus cincin.

Kata kunci : *Gangguan geomagnet, Magnetosfer, Angin surya, Transfer energi, Arus cincin*

JURNAL
SAINS DIRGANTARA
Journal of Aerospace Sciences

ISSN 1412-808X

Vol. 13 No. 1, Desember 2015

No.475/AU2/P2MI-LIPI/08/2012

Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa ijin atau biaya

ABSTRAK

**REANALISIS WEATHER RESEARCH AND FORECAST-FOUR DIMENSION DATA ASSIMILIATION (WRF-FDDA) UNTUK MENINGKATKAN AKURASI ESTIMASI POTENSI ENERGI ANGIN DI DAERAH LEPAS PANTAI (STUDI KASUS: PANTAI SELATAN JAWA BARAT) = REANALYSIS WEATHER RESEARCH AND FORECAST-FOUR DIMENSION DATA ASSIMILIATION (WRF-FDDA) TO IMPROVE ACCURACY ESTIMATION OF WIND ENERGY POTENTIAL IN THE OFFSHORE AREAS (CASE STUDY: SOUTH COAST OF WEST JAVA)/Nurry Widya Hesty; Tri Wahyu Hadi
J. Sains, 13(1) 2015 :27-36**

Peta potensi energi angin lepas pantai yang akurat, memiliki resolusi tinggi, dan tidak tergantung pengukuran *insitu* sangat dibutuhkan untuk mengurangi biaya pengukuran langsung dan mendorong pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia. Dalam penelitian ini, dilakukan teknik asimilasi data *nudging* FDDA untuk memperbaiki akurasi model cuaca skala meso WRF di lepas pantai selatan Jawa Barat menggunakan data angin permukaan *laut Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) sebagai data asimilasi. Tes sensitifitas dilakukan dengan membandingkan enam buah parameterisasi *Planetary Boundary Layer* (PBL) terhadap sampel. Hasil uji menyatakan skema PBL *Yonsei University* (YSU) menjadi skema yang paling mendekati data stasiun pengamatan dan terpilih untuk dijalankan sepanjang 2008. Hasil model diverifikasi dengan data stasiun pengukuran di Sukabumi. Hasil verifikasi menunjukkan asimilasi data FDDA dapat mereduksi nilai RMSE dan menghasilkan pola distribusi angin mirip dengan data stasiun pengukuran.

Kata kunci : *WRF, bFDDA, Potensi angin, Lepas pantai*

**EVALUASI DAN PREDIKSI CUACA ANTARIKSA BERDASARKAN PERUBAHAN HARIAN INDEKS AKTIVITAS MATAHARI: SSN, $F_{10.7}$, F_{XRAY} , DAN E_{FLARE} = EVALUATION AND PREDICTION OF SPACE WEATHER BASED ON DAILY CHANGES OF SOLAR ACTIVITY INDICES: SSN, $F_{10.7}$, F_{XRAY} , AND E_{FLARE} /Rhorom Priyatikanto
J. Sains, 13(1) 2015 : 37-46**

Cuaca antariksa menjadi aspek yang penting dalam peradaban modern karena umat manusia semakin mengandalkan teknologi antariksa. Kondisi ini mendorong adanya upaya yang baik dalam mengukur kondisi terkini antariksa dan memperkirakan masa depan. Sejumlah indeks telah didefinisikan sebagai parameter cuaca antariksa, terutama aktivitas magnetik Matahari. Studi ini menelaah variabilitas dan parameter statistik dari empat indeks, yakni bilangan bintik Matahari (SSN), *fluks* radio 10 cm ($F_{10.7}$), *fluks* sinar-X latar belakang (F_{xray}), dan energi total *flare* (E_{flare}). Siklus 23 dan 24 dipilih sebagai batas waktu analisis. Tujuannya adalah untuk mengetahui variabilitas setiap indeks sepanjang siklus Matahari serta mengetahui karakter perubahan harian indeks tersebut. Berdasarkan analisis tersebut, tidak ditemukan perbedaan fase yang signifikan di antara fluktuasi keempat indeks meski amplitudo variasi yang berbeda teramati. Perubahan harian dari indeks tersebut hampir mengikuti distribusi Gaussian sehingga pengelompokkan ke dalam kelas diskrit dapat dilakukan. Batasan statistik $0,25\sigma$ dan $0,85\sigma$ dapat dipakai untuk membedakan perubahan kecil dan besar.

Kata kunci : *Bintik Matahari, Emisi radio, Sinar-X, Energi flare*

JURNAL
SAINS DIRGANTARA
Journal of Aerospace Sciences

ISSN 1412-808X

Vol. 13 No. 1, Desember 2015

No.475/AU2/P2MI-LIPI/08/2012

Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa ijin atau biaya

ABSTRAK

VARIASI DIURNAL UAP AIR DI LAPISAN TROPOSFER BAWAH SAAT MADDEN JULIAN OSCILLATION FASE AKTIF MEMASUKI KAWASAN BARAT INDONESIA BERBASIS ANALISIS DATA GPS = DIURNAL VARIATION OF LOW LEVEL MOISTURE WHEN THE ACTIVE PHASE OF MADDEN JULIAN OSCILLATION ENTERING AREA OF WESTERN INDONESIA BASED ON GPS DATA ANALYSIS/ Aries Kristianto; Tri Wahyu Hadi; Dudy Darmawan Wijaya
J. Sains, 13(1) 2015 :47- 62

Uap air di lapisan troposfer bawah (*Low-level Moisture/LLM*) berperan dalam pertumbuhan awan hujan. Teknologi *Global Positioning System* (GPS) mampu mengekstraksi uap air LLM dengan menerapkan metode kombinasi selisih uap air total hasil ekstraksi *groundbased* GPS dengan *Precipitable Water Vapor* (PWV) di lapisan troposfer atas ECMWF. Variasi diurnal LLM berbasis data GPS di beberapa kawasan yang ada di bagian barat Indonesia, yaitu wilayah Jawa bagian Barat dianalisis terutama saat fase aktif *Madden Julian Oscillation* (MJO) sebagai salah satu variabilitas dominan yang sangat penting di daerah tropis. Kejadian MJO November 2009 di wilayah Jawa bagian Barat memberikan dampak terhadap variasi harian LLM, dimana anomali hariannya meningkat seiring dengan menurunnya anomali OLR saat MJO *onset*, dan menurun saat pasca MJO. Di bagian utara menunjukkan konsentrasi LLM menurun dari barat-timur, sedangkan di bagian selatan konsentrasinya meningkat. Variasi dari utara-selatan menunjukkan konsentrasi LLM yang cenderung berubah-ubah, sementara di bagian timur peningkatan uap air ke arah selatan sesuai dengan analisis vektor angin. Variasi diurnal LLM November 2009 saat fase MJO aktif secara umum konsentrasinya lebih tinggi dibandingkan pra dan pasca MJO. Dari analisis indeks konvektif citra satelit MTSAT IR1 juga menunjukkan LLM saat MJO berkaitan dengan aktivitas konvektif, baik pada periode pra-MJO, saat *onset*, aktif hingga pasca MJO.

Kata kunci : *LLM, GPS, MJO, OLR*

JURNAL
SAINS DIRGANTARA
Journal of Aerospace Sciences

ISSN 1412-808X

Vol. 13 No. 2, Juni 2016

No. 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa ijin atau biaya

ABSTRAK

ANALISIS RESPON MEDAN GEOMAGNET ANTARA STASIUN DI EKUATOR MAGNET DAN STASIUN BIAK SAAT BADAI GEOMAGNET PADA MERIDIAN MAGNET 210° = ANALYSIS OF THE GEOMAGNETIC FIELD RESPONSE BETWEEN STATIONS AT MAGNETIC EQUATORIAL AND BIAK STATION WHEN GEOMAGNETIC STORM AT 210° MM/Anwar Santoso
J. Sains, 13(2) 2015 :63 - 74

Badai geomagnet merupakan gangguan geomagnet yang terjadi secara global. Sampai saat ini dipercaya bahwa dampak terbesar badai geomagnet terjadi di lintang tinggi dan semakin menurun dengan menurunnya lintang sampai di ekuator. Namun, berdasarkan olah data komponen H medan geomagnet dari CPMN diperoleh fenomena lain yaitu H minimum dari stasiun Onagawa (31,15° LU; 212,63° BT koordinat magnet) lebih kecil dari H minimum Balai Penjejukan dan Kendali Wahana Antariksa (BPKWA) Biak (9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet) saat badai geomagnet 15 Juli 2000. Kenyataan ini berbeda dari apa yang telah dipercayai di atas. Untuk memastikan hal ini maka dilakukan analisis respon komponen H medan geomagnet berdasarkan lintang menggunakan data komponen H medan geomagnet dari BPKWA Biak dan stasiun di sekitar 210° MM untuk seluruh kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) selama 1995-2001. Hasil analisis diperoleh bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP). EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU sampai 10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet. Hal terpenting yang perlu diperhatikan dari hasil ini adalah bahwa jika respon geomagnet di Indonesia lebih tinggi dibandingkan di daerah ekuator geomagnet (YAP) maka potensi kemunculan GIC juga lebih besar terjadi di Indonesia.

Kata kunci : *Badai geomagnet, Komponen H medan geomagnet, Respon geomagnet terhadap lintang*

PENGARUH ORIENTASI MEDAN MAGNET ANTARPLANET PADA GANGGUAN GEOMAGNET DI LINTANG RENDAH = THE EFFECT OF INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD ORIENTATION ON LOW LATITUDE GEOMAGNETIC DISTURBANCES/Anton Winarko ; Anwar Santoso
J. Sains, 13(2) 2015 :75 - 88

Medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field/ IMF*) adalah medan magnet matahari yang dibawa oleh angin surya dan menjalar dalam ruang antarplanet. Berdasarkan studi sebelumnya diketahui bahwa kondisi angin surya saat terjadi rekoneksi amat berpengaruh terhadap gangguan geomagnet yang terjadi. Pada makalah ini dibahas respons medan geomagnet di lintang rendah pada berbagai kondisi rekoneksi yaitu pada saat komponen utara-selatan medan magnet antarplanet (IMF Bz) dominan selatan (IMF Bz<0) dalam durasi panjang, IMF Bz berbalik arah setelah rekoneksi, dan IMF Bz cenderung netral (IMF Bz~0). Dari studi kasus menunjukkan bahwa prakondisi IMF Bz <0 mengakibatkan badai geomagnet yang lebih intens dibandingkan IMF Bz~0. Di lintang rendah, prakondisi IMF Bz<0 cenderung mengakibatkan gangguan berupa badai geomagnet sedangkan IMF Bz~0 dapat memicu *Sudden Impulse*. Perubahan arah IMF Bz yang terjadi setelah rekoneksi mempengaruhi laju fase pemulihan (recovery phase), yaitu pada IMF Bz>0, fase pemulihannya cenderung berlangsung lebih cepat dibandingkan saat IMF Bz<0.

Kata kunci : *Gangguan geomagnet, rekoneksi, medan magnet antarplanet Bz*

JURNAL
SAINS DIRGANTARA
Journal of Aerospace Sciences

ISSN 1412-808X

No. 671/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

Vol. 13 No. 2, Juni 2016

Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa ijin atau biaya

ABSTRAK

STUDI GELOMBANG ULF: KORELASI PULSA MAGNET Pc3 DENGAN KECEPATAN ANGIN SURYA DAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET = STUDY OF ULF WAVE: CORRELATION OF Pc3 MAGNETIC PULSATIONS WITH SOLAR WIND VELOCITY AND INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD/ Setyanto Cahyo Pranoto; Wahyu Srigutomo
J. Sains, 13(2) 2015 : 89 - 98

Angin surya merupakan sumber energi bagi proses-proses fisis yang terjadi di magnetosfer Bumi. Untuk dapat memahami dinamika di magnetosfer Bumi dapat ditinjau dari gelombang ULF salah satunya pulsa magnet Pc3. Pulsa magnetik Pc3 merupakan variasi *quasi-sinusoide* pada medan magnet Bumi dalam rentang periode 10 – 45 detik. Pulsa magnet Pc3 umumnya memiliki amplitudo rendah dengan rentang nT (nano Tesla). Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengamati pulsa magnet Pc3 diantaranya dengan menggunakan magnetometer landas Bumi. Dalam makalah ini kami menggunakan data pengamatan magnetometer stasiun Kupang, Manado dan Parepare untuk mempelajari hubungan pulsa magnet Pc3 terkait dengan angin surya dan medan magnet antarplanet. Pulsa magnet Pc3 diekstrak dari data variasi medan magnet dengan menggunakan *Butterworth Filter* dan *Hamming windowing*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pulsa magnet Pc3 memiliki korelasi dengan peningkatan kecepatan angin surya dan medan magnet antarplanet. Hal ini mengindikasikan bahwa angin surya merupakan salah satu sumber yang mengontrol perubahan yang terjadi pada pulsa magnet Pc3.

Kata kunci : *Pulsa magnet Pc3, Ulf, Angin surya*

ANALISIS PREKURSOR PERISTIWA FLARE/ PELONTARAN MASSA KORONA DALAM RANGKA PERINGATAN DINI CUACA ANTARIKSA = THE ANALYSIS OF FLARE/CORONAL MASS EJECTION PRECURSORS RELATED TO THE SPACE WEATHER EARLY WARNING/ Agustinus Gunawan Admiranto; Nanang Widodo; Iyus Edi Rusnadi, Heri Sutastio; Dasimun
J. Sains, 13(2) 2015 : 99 - 114

Dengan melihat dinamika daerah aktif dilakukan analisis prekursor fenomena *flare*/pelontaran massa korona (CME). Dengan asumsi bahwa energi pelontaran massa korona berasal dari konversi energi magnet yang dilihat dari perubahan luas harian bintik Matahari maka dilakukan analisis perubahan luas harian bintik Matahari pada beberapa daerah aktif yang menghasilkan *flare* dan atau CME untuk melihat bagaimana luas daerah-daerah tersebut berubah menjelang terjadinya fenomena *flare*/CME. Didapat bahwa secara umum luas bintik Matahari mengalami penurunan beberapa saat sebelum peristiwa *flare*/CME ini terjadi. Dari sini dapat disimpulkan bahwa penurunan luas Hariian bintik Matahari bisa dijadikan *precursor* atau indikasi akan adanya peristiwa *flare*/CME.

Kata kunci : *Perubahan luas bintik matahari, Flare, Pelontaran massa korona, Precursor*

ABSTRAK

**VARIASI DIURNAL DAN MUSIMAN
KEMUNCULAN LAPISAN E-SPORADIS DI ATAS
SUMEDANG**

**TAHUN 2015 = DIURNAL AND SEASONAL
VARIATION OF THE OCCURRENCE OF
SPORADIC-E LAYER OVER SUMEDANG IN
2015 / Rhorom Priyatikanto; Farahhati**

Mumtahana; Mumen Tarigan

J. Sains, 13(2) 2015 : 115 – 124

Gesekan angin (*wind shear*) telah lama dipercaya sebagai mekanisme penyebab kemunculan lapisan E-Sporadis pada ketinggian 90-120 km. Kemunculan lapisan ini berkaitan dengan gelombang gravitasi, gelombang pasang-surut, serta gelombang atmosfer skala global (*planetary wave*) dengan perulangan yang berbeda. Hujan meteor yang terjadi setiap tahun juga dapat mempengaruhi probabilitas kemunculan lapisan E-Sporadis, sementara aktivitas Matahari dan geomagnet tidak banyak memberikan pengaruh. Pada artikel kali ini, data E-Sporadis hasil pengamatan di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang, Jawa Barat sepanjang tahun 2015 telah dipelajari. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui karakteristik dan pola kemunculan lapisan E-Sporadis di daerah lintang rendah. Beberapa kesimpulan dapat dideduksi dari analisis yang dilakukan. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) cukup tinggi pada bulan Mei-Juli serta Desember-Januari. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis lebih dari 2 MHz dapat mencapai 97%. Variasi diurnal yang teramati adalah peningkatan nilai P menjelang tengah hari yang diikuti penurunan sekitar pukul 12:00 waktu lokal. Nilai P kembali naik dan memuncak pada pukul 16:00 waktu lokal lalu menurun seiring berkurangnya laju ionisasi oleh radiasi Matahari. Pada bulan Mei-Juli, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 6 MHz juga muncul pada malam hari. Pemeriksaan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kaitan antara kemunculan E-Sporadis pada rentang waktu tersebut dan aktivitas hujan meteor dengan fluks tinggi. Selain itu, variasi diurnal dan musiman yang diperoleh dalam studi ini dapat menjadi rujukan bagi proses ramalan cuaca antariksa yang diperlukan bagi sejumlah *stakeholder*.

Kata kunci : *Ionosfer, E-Sporadis, Statistik kemunculan*

**ANALISIS RESPON MEDAN GEOMAGNET ANTARA STASIUN DI
EKUATOR MAGNET DAN STASIUN BIAK SAAT BADAI GEOMAGNET
PADA MERIDIAN MAGNET 210° MM
(ANALYSIS OF THE GEOMAGNETIC FIELD RESPONSE BETWEEN
STATIONS AT MAGNETIC EQUATORIAL AND BIAK STATION WHEN
GEOMAGNETIC STORM AT 210° MM)**

Anwar Santoso

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan 133 Bandung 40173 Indonesia

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

Diterima 11 Januari 2016, Direvisi 9 Juni 2016, Disetujui 24 Juni 2016

ABSTRACT

Geomagnetic storm is a geomagnetic disturbance that occurs globally. Until now believed that the greatest impact of geomagnetic storms occurred in the high latitudes and decreases with decreasing latitude to the equator. However, based on the data component of the geomagnetic field H obtained CPMN other phenomena, that is H minimum of Onagawa station (31,15° LU; 212,63° BT magnetic coordinates) is smaller than the H minimum at Biak station (9,73° latitude; 207,39° BT magnetic coordinates) during geomagnetic storms on July 15, 2000. This reality is different from what was believed to be on top. To ensure this, then done the analysis of the geomagnetic field H component response based on the latitude using the geomagnetic field data from Biak station and stations around 210° MM for the whole event a strong geomagnetic storms (Dst <-100 nT) during 1995-2001. Results of the analysis showed that the response time of geomagnetic field geomagnetic storm in Biak is greater than at the magnetic equator (YAP) with an difference average of H is 59,27 nT. EEJ and CEJ pattern in the EEJ region (10° S to 10° N magnetic coordinate) shown could effected to the response of geomagnetic geomagnetic. The most important to note that if the geomagnetic response in Indonesia higher than in the geomagnetic equator (YAP) then the occurrence probability of GIC in Indonesia is higher.

Keywords : *Geomagnetic storm, H component of geomagnetic field, the Geomagnetic response to latitude*

ABSTRAK

Badai geomagnet merupakan gangguan geomagnet yang terjadi secara global. Sampai saat ini dipercaya bahwa dampak terbesar badai geomagnet terjadi di lintang tinggi dan semakin menurun dengan menurunnya lintang sampai di ekuator. Namun, berdasarkan olah data komponen H medan geomagnet dari CPMN diperoleh fenomena lain yaitu H minimum dari stasiun Onagawa (31,15° LU; 212,63° BT koordinat magnet) lebih kecil dari H minimum Balai Penjejukan dan Kendali Wahana Antariksa (BPKWA) Biak (9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet) saat badai geomagnet 15 Juli 2000. Kenyataan ini berbeda dari apa yang telah dipercayai di atas. Untuk memastikan hal ini maka dilakukan analisis respon komponen H medan geomagnet berdasarkan lintang menggunakan data komponen H medan geomagnet dari BPKWA Biak dan stasiun di sekitar 210° MM untuk seluruh kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) selama 1995-2001. Hasil analisis diperoleh bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP) dengan rata-rata selisih ΔH -nya 59,27 nT. EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU sampai 10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet. Hal terpenting yang perlu diperhatikan dari hasil ini adalah bahwa jika respon geomagnet di Indonesia lebih tinggi dibandingkan di daerah ekuator geomagnet (YAP) maka potensi kemunculan GIC juga lebih besar terjadi di Indonesia.

Kata Kunci : *Badai geomagnet, Komponen H medan geomagnet, Respon geomagnet terhadap lintang*

1 PENDAHULUAN

Respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet tergantung pada lintang magnetnya. Intensitas respon geomagnet tertinggi teramati di lintang tinggi atau area kutub-kutub bumi dan kemudian menurun sampai ke lintang rendah-ekuator magnet. Hal ini terjadi karena daerah lintang tinggi dan kutub bumi merupakan pintu masuknya partikel dari matahari terutama lebih intens pada saat terjadi rekoneksi antara angin surya dan bagian terluar magnetosfer bumi.

Namun, Santoso (2012), telah memperoleh bahwa respon badai geomagnet di daerah lintang geomagnet 9,73° LS (Biak) sedikit lebih kuat dibandingkan di daerah lintang geomagnet 25°-45° LU dan 20°-40° LS pada bujur yang hampir sama dengan Biak (207,39° BT bujur magnet). Padahal seharusnya respon geomagnet di Biak yang terletak di lintang magnet 9,37° LS memiliki respon lebih kecil daripada di lintang menengah magnet. Dalam makalah ini dilakukan analisis respon komponen H medan geomagnet berdasarkan lintang menggunakan data komponen H medan geomagnet dari BPKWA Biak dan stasiun di sekitar 210° MM untuk seluruh kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) selama

1995-2001. Tujuannya adalah untuk mengetahui respon medan geomagnet di ekuator magnet dan stasiun Biak saat badai geomagnet.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Variasi Harian Medan Geomagnet

Bumi mempunyai medan magnet internal yang dibangkitkan oleh efek dynamo arus listrik dalam fluida lapisan terluarnya. Sedangkan medan magnet eksternalnya berasal dari matahari. Kopling antara medan magnet internal dan eksternal menyebabkan variasi medan magnet bumi (geomagnet). Variasi aktivitas matahari mengendalikan variasi medan geomagnet. Saat kondisi tenang, variasi harian medan geomagnet dipengaruhi oleh efek dynamo berkombinasi dengan *Equatorial Electrojet* (EEJ). Pada kondisi badai geomagnet, EEJ lebih intens terjadi saat fase utama maupun saat fase pemulihan (*Equatorial Electrojet Counter*, EEC), seperti yang akan diuraikan pada sub-bab 2.3.

Baker dan Martyn (1953) telah menunjukkan bahwa ortogonalitas dari medan listrik dan medan magnet di atas ekuator magnet membangkitkan konduktivitas besar arah timur sepanjang siang hari dan menyebabkan aliran *equatorial electrojet* (EEJ) dengan

medan listrik S_q normal. Agha dan Agbo (2014) telah menunjukkan bahwa fenomena EEJ juga memiliki ketergantungan yang sangat kuat terhadap aktivitas ionosfer pada ketinggian lapisan E di lokasi dip ekuator. James dan Rastogi (2002) juga telah menunjukkan bahwa korelasi antara variasi harian medan geomagnet di stasiun Trivandrum (terletak di daerah EEJ) dengan stasiun lain pada *longitude* yang sama nilainya menurun drastis terhadap kenaikan lintang. Nilai korelasi turun sebesar 0,5 di sekitar lintang magnet 8° .

Di daerah ekuator, variasi medan geomagnet pada hari tenang menunjukkan peningkatan kuat mengikuti arus listrik yang mengalir ke arah timur sepanjang garis ekuator yang dinamakan *equatorial electrojet*, EEJ (Chapman, 1951). Medan magnet yang terkait hanya diamati pada zona sekitar 12° di kedua sisi dari ekuator magnet. Dalam zona ini, pengamatan geomagnet permukaan mencatat empat vektor medan magnet yang berbeda yakni komponen eksternal dan internal bidang S_q , serta bidang EEJ eksternal dan internal. Fakta lama telah menetapkan bahwa variasi harian medan geomagnet disebabkan oleh empat vektor medan magnet tersebut. Variasi medan geomagnet tersebut berubah terhadap lintang geomagnet (Yumoto, 1996).

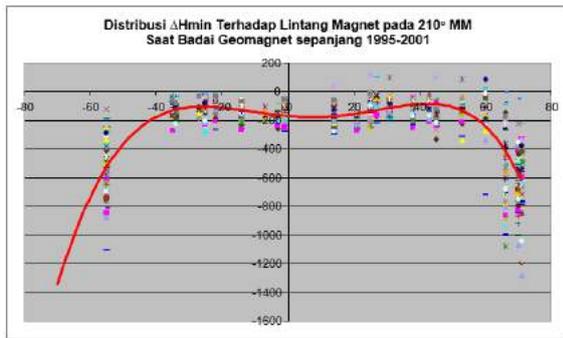
2.2 Pengaruh EEJ dan arus S_q Pada Variasi Geomagnet di Daerah Ekuator Magnet

Arus listrik yang mengalir ke arah timur di sepanjang lintang magnet disebut *Equatorial Electrojet* (EEJ). Di daerah ekuator magnet, variasi medan geomagnet hari tenang (S_q) menunjukkan peningkatan yang kuat yang disebabkan oleh EEJ (Chapman, 1951). Medan magnet yang terkait hanya teramati pada zona sekitar 12° di kedua

sisi dari lintang ekuator magnet. Rigoti et al. (1999) berdasarkan grafik variasi harian komponen H medan geomagnet di enam observatorium berbeda yang ada di lintang rendah magnet, tiga diantaranya berasal dari India, telah menemukan adanya intensifikasi variasi harian komponen H medan geomagnet di atas lintang 0° magnet. Fenomena ini sesuai seperti yang juga telah dijelaskan oleh Chapman (1951) sebagai akibat dari aliran arus listrik arah timur di ionosfer yang disebut sebagai "*Equatorial electrojet*".

2.3 Distribusi Respon Medan Geomagnet Terhadap Lintang Magnet dalam Meridian yang sama pada saat Badai Geomagnet

Ketika terjadi lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection*, CME) yang mengarah ke bumi, partikel dan medan magnet akan terbawa ke bumi bersama dengan angin surya. Saat tumbukan, akan terjadi rekoneksi yang memungkinkan masuknya partikel dan medan magnet dari angin surya ke bagian dalam magnetosfer bumi dan akan semakin efektif jika medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF) mengarah ke selatan ($B_z(-)$). Masuknya partikel dan medan magnet ke magnetosfer bumi dapat menyebabkan gangguan geomagnet global yang disebut badai geomagnet (*geomagnetic storm*) (Gopalswamy, 2009; Vats, 2006; Russell, 2006). Intensitas gangguan badai geomagnet yang teramati di permukaan bumi berbeda-beda bergantung pada lintangnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1. Pada Gambar 2-1 tersebut, nilai komponen H medan geomagnet di lintang tinggi ($60^\circ \text{ LU} < \text{Lintang} > 60^\circ \text{ LS}$) adalah minimum, kemudian meningkat secara eksponensial hingga lintang magnet $25^\circ \text{ LS} - 45^\circ \text{ LS}$ dan $20^\circ \text{ LU} - 40^\circ \text{ LU}$ yang selanjutnya naik lagi menuju ekuator magnet (Santoso, 2012).

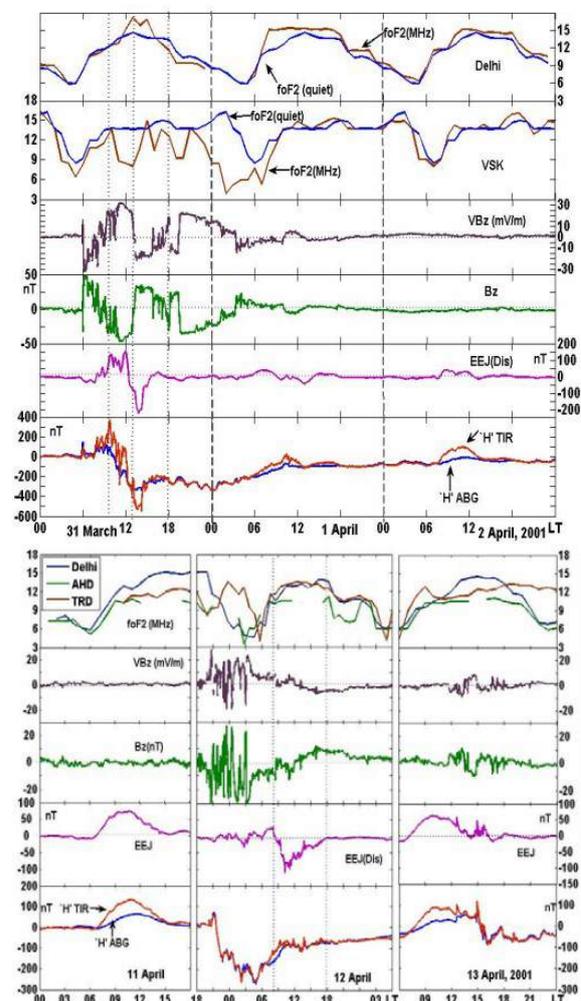


Gambar 2-1: Distribusi ΔH_{min} medan geomagnet di meridian 210° MM terhadap Lintang Magnet (dari lintang tinggi belahan utara sampai selatan) saat badai geomagnet sepanjang tahun 1995-2001 (Santoso, 2012).

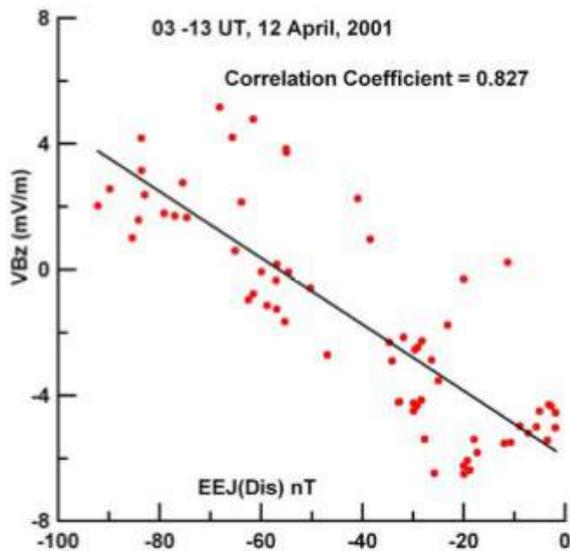
Veenadhari dan Alex (2006) telah memperkirakan kekuatan EEJ terutama saat terjadi badai geomagnet, ketika variasi medan geomagnet di permukaan Bumi menerima kontribusi, tidak hanya dari arus *overhead* di daerah dynamo ionosfer, tetapi juga dari arus magnetosfer yang jauh dari sumber. Hal ini seperti pada Gambar 2-2. Pada Gambar 2-2 tersebut, VBz merupakan parameter penting untuk menyatakan kekuatan badai geomagnet. Demikian juga dengan variasi foF2 pada hari tenang di stasiun Vishakapatnam dan Delhi menyatakan tren saat kondisi tenang relatif. Pada badai geomagnet 31 Maret 2001, selama fase awal badai geomagnet, EEJ mengalami gangguan yang mencolok pukul 09.00 – 13.00 LT di ekuator magnet, yang mengindikasikan bahwa telah terjadi peningkatan medan listrik ke arah timur yang memicu timbulnya medan magnet di permukaan bumi sampai -200 nT. Sedangkan pada badai geomagnet 11 April 2001, EEJ mengalami penurunan selama fase pemulihan badai. Selama fase pemulihan tersebut *Counter Electrojet* (CEJ) teramati di waktu siang. Hubungan antara EEJ dan VBz pada kejadian badai geomagnet 12 April 2001, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-3.

Dalam kasus badai geomagnet 31 Maret 2001, terdapat korelasi antara EEJ dan medan listrik konveksi (VBZ) selama fase awal (00.00-08.00UT), walaupun nilai korelasinya rendah karena diskontinuitas dalam arah Bz.

“Northward turning” dari Bz IMF pada pukul 08.00 UT, 31 Maret 2001 menyebabkan penurunan medan listrik dan elektrojet di sisi siang daerah ekuator. Efek perisai mengurangi intensitas EEJ di sisi siang hari. Hasil studi terhadap 11-13 kejadian badai geomagnet, diperoleh bahwa “Northward turning” dari Bz IMF atau kecenderungan Bz ke arah utara menyebabkan munculnya CEJ selama fase pemulihan badai. Korelasi tersebut tergambar dari adanya nilai korelasi antara EEJ dan VBz sebesar 0,827 selama fase pemulihan (03.00-13.00 UT) 12 April 2001 (Veenadhari dan Alex, 2006).



Gambar 2-2: Variasi foF2 Delhi ($19,02^\circ$ N) dan Vishakapatnam (VSK, $7,95^\circ$ N), medan listrik konveksi (-VBz), Bz IMF, EEJ dan komponen H medan geomagnet stasiun Tirunelveli dan Alibag. (A) saat badai geomagnet 31 Maret 2001, dan (B) saat badai geomagnet 11 April 2001 (Veenadhari dan Alex, 2006).



Gambar 2-3: Korelasi antara Hasil hitung EEJ dan VBz (Veenadhari dan Alex, 2006)

Sebelumnya, Rastogi et al. (2004) juga telah mengemukakan bahwa respon medan geomagnet di Trivandrum (TRD; 0,28° LS magnet) lebih besar dibandingkan di Peredina (PRD; 1,3° LS) saat badai geomagnet tanggal 5 April 1993. Pada saat itu, ΔH_{TRD} dan ΔH_{PRD} mengalami depresi lebih dari -160 nT. Sedangkan pada komponen Z, ΔZ_{TRD} mengalami depresi mencapai nilai -160 nT dan ΔZ_{PRD} mengalami depresi mencapai nilai -125 nT.

3 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data variasi medan geomagnet menit-an hasil pengamatan di BPKWA Biak dan dari stasiun pengamat geomagnet lainnya di sekitar ekuator magnet dan 210° MM yang disediakan oleh Prof. Kiyohumi Yumoto dalam *CPMN Project (Circum Pan-Pacific Magnetometer Network Project)*, Universitas Kyushu-Jepang. Selain itu, juga digunakan data indeks Dst dari *Word Data Center for Geomagnetism*, Universitas Kyoto, Jepang melalui website http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/ yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian dan intensitas badai geomagnet sepanjang tahun 1992 – 2001.

Identifikasi kejadian badai geomagnet kuat dilakukan menggunakan

data indeks Dst ($Dst \leq -100$ nT). Hasil identifikasi menggunakan indeks Dst tahun 1992 sampai 2001 diperoleh 76 kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT). Hasil identifikasi dari peta stasiun yang ada dalam *CPMN Project* (<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/equator/station/STAT95.HTM>) diketahui ada 5 stasiun pengamat geomagnet yang berada di sekitar ekuator magnet dan 210° MM yakni stasiun YAP, Federasi Mikronesia (FSM) (1,02° LU; 209,42°MM); stasiun Pohnpei, Federasi Mikronesia (FSM) (0,08° LU; 229,19°MM); stasiun Cebu, Filipina (1,70° LU; 195,02°MM); stasiun Davao, Filipina (1,37° LS; 196,53°MM) dan Bac Lieu, Vietnam (0,70° LU; 177,12°MM). Namun, setelah dilakukan identifikasi ketersediaan data, maka hanya stasiun Yap, FSM saja yang cukup lengkap yaitu untuk tahun 1993, 1998 dan 1999. Oleh karena itu, dalam makalah ini akan dianalisis respon medan geomagnet antara di BPKWA Biak dan stasiun Yap pada kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) tahun 1998 dan 1999 (Tabel 3-1).

Tabel 3-1: DAFTAR KEJADIAN BADAI GEOMAGNET SEPANJANG 1998-1999 YANG AKAN DIANALISIS DALAM PENELITIAN INI.

No	Tanggal	ΔH_{min}	Kelas
Badai Geomagnet			
1	04 April 1993	-165 nT	Kuat
2	19 Oktober 1998	-112 nT	Kuat
3	27 Agustus 1998	-155 nT	Kuat
4	25 September 1998	-207 nT	Sangat kuat
5	18 Februari 1999	-123 nT	Kuat
6	22 September 1999	-173 nT	Kuat
7	22 Oktober 1999	-237 nT	Sangat Kuat

Sebagai pembanding digunakan data medan geomagnet dari stasiun di sekitar 210° MM dari lintang utara magnet sampai lintang selatan magnet. Pembandingan dilakukan untuk melihat secara visual degradasi kuat respon medan geomagnet saat badai geomagnet dari lintang tinggi ke lintang rendah. Daftar nama stasiun pengamatan dan lokasi stasiun yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: DAFTAR NAMA STASIUN PENGAMAT GEOMAGNET DAN KOORDINATNYA (DI SEKITAR 210° MM).

No	Nama stasiun	Kode stasiun	Geografis		Magnet	
			Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
1	Kotel'nyy-Rusia	KTN	97,10	146,36	69,92	201,03
2	Chokurdakh-Rusia	CHD	70,62	147,89	64,66	212,14
3	Magadan-Rusia	MGD	59,97	150,86	53,49	218,75
4	Moshiri-Jepang	MSR	44,37	142,27	37,28	213,34
5	Kagoshima-Jepang	KAG	31,48	130,72	24,37	202,36
6	Chichijima-Jepang	CBI	27,15	142,30	19,51	213,12
7	Muntinlupa-Filipina	MUT	14,37	121,02	6,26	192,22
8	Yap-FSM	YAP	9,30	138,50	1,02	209,42
9	Biak-Indonesia	BIK	-1,08	136,05	-9,73	207,39
10	Wewak-PNG	WWK	-3,55	143,62	-12,12	215,37
11	Darwin-Australia	DRW	-12,40	130,90	-22,06	202,78
12	Dalby-Australia	DLB	-27,18	151,20	-36,64	226,94

Selanjutnya dilakukan pembuatan plot variasi gangguan komponen H medan geomagnet (ΔH) dari BPKWA Biak (ΔH_{BIK}) dan stasiun pengamat geomagnet lain dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan di sekitar bujur yang sama dengan Biak (stasiun Chokurdaks, ΔH_{CHD} ; stasiun Kotel'nyy, ΔH_{KTN} ; stasiun Magadan, ΔH_{MGD} ; dan seterusnya sampai stasiun Dalby, ΔH_{DLB}) terhadap 76 kejadian badai geomagnet. ΔH diperoleh melalui formulasi :

$$H(t) = H_o(t) + H_{sq}(t) + \Delta H(t) \quad (3-1)$$

$$\Delta H(t) = H(t) - H_o(t) - H_{sq}(t) \quad (3-2)$$

$$H_{sq}(t) = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_5}{5} \quad (3-3)$$

Dengan $H(t)$ adalah medan geomagnet terukur di suatu lokasi, $H_o(t)$ adalah medan geomagnet utama (*baseline*), $H_{sq}(t)$ adalah medan geomagnet hari tenang dan $\Delta H(t)$ adalah medan geomagnet terganggu oleh aktivitas matahari. Q_1 sampai Q_5 adalah 5 hari paling tenang pada bulan dengan kejadian badai geomagnet.

Selanjutnya, grafik ΔH untuk masing-masing stasiun dianalisis polanya dari lintang tinggi ke lintang

rendah menggunakan metode visual dan statistik.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

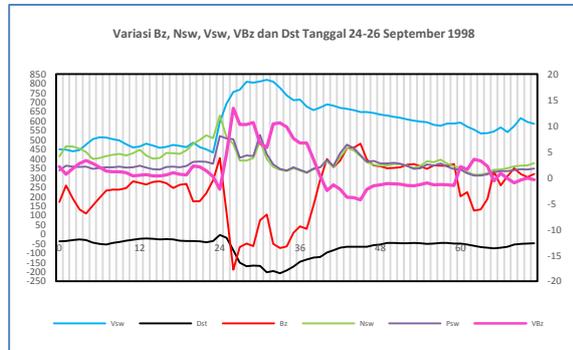
Telah ditunjukkan oleh Santoso (2012) dan Veenadhari da Alex (2006) bahwa respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet di stasiun pengamat geomagnet dekat ekuator magnet ($\pm 3^\circ$ LU/LS, area utama EEJ) sedikit lebih besar dibandingkan di BPKWA (dekat ekuator geografis dan berada di daerah pengamatan EEJ $\pm 12^\circ$ LU/LS lintang magnet). Dari 7 kejadian badai geomagnet sepanjang tahun 1998-1999 yang digunakan sebagai studi (Tabel 3-1), 2 kejadian badai geomagnet digunakan sebagai contoh dan dibahas lebih detail untuk kasus badai geomagnet tanggal 25 September 1998 dan 22 Oktober 1999. Sisanya tetap diolah seperti kedua contoh tersebut, namun tidak dibahas detail dalam makalah ini. Hasil analisis atau pengolahan data ditabulasikan pada bagian akhir bab ini.

a. Variasi Medan Geomagnet di BPKWA Biak dan Yap Pada tanggal 25 September 1998

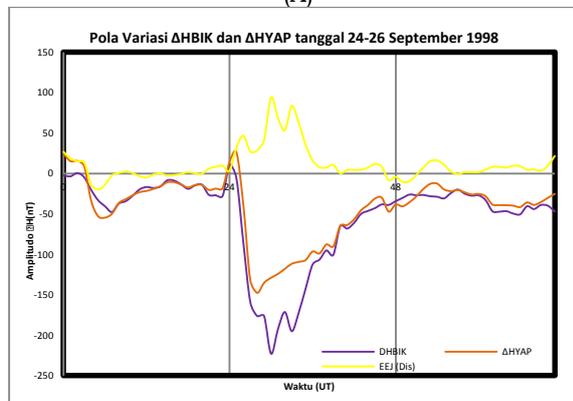
Variasi medan geomagnet komponen H BPKWA Biak (H_{BIK}) dan Yap (H_{YAP}) serta variasi nilai EEJ tanggal 24 - 26 September 1998 ditunjukkan pada Gambar 4-1 tersebut tepatnya saat peristiwa badai geomagnet tanggal 25 September 1998, rekoneksi terjadi pukul 23.00 UT tanggal 24 September 1998 atau pukul 08.00 LT Biak tanggal 25 September 1998. Setelah rekoneksi, 5 jam kemudian (04.00 UT), komponen H medan geomagnet di stasiun YAP mengalami depresi dan mencapai nilai minimum -148 nT. Sedangkan di stasiun Biak, 7 jam setelah rekoneksi (06.00 UT), komponen H-nya terdepresi sampai mencapai nilai -223 nT. Hal ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet di Biak terhadap badai geomagnet tanggal 25 September 1998 lebih besar daripada di YAP. Seperti diketahui bahwa respon medan

geomagnet di lintang tinggi saat badai geomagnet adalah yang paling besar.

Pada kejadian badai geomagnet tanggal 25 September 1998 pukul 11.00 UT ΔH_{KTN} mengalami depresi mencapai nilai -1487 nT. Selisih nilai ΔH Yap dan ΔH Biak adalah sebesar 75 nT.



(A)



(B)

Gambar 4-1: (A) Variasi Bz IMF (nT), Vsw (km/s), Nsw (n/cm³), VBz (mV/m) dan indeks Dst (nT) serta (B) variasi ΔH_{BIK} (nT) dan ΔH_{YAP} (nT) serta EEJ (Dis) (nT) tanggal 24-26 September 1998. Badai geomagnet kelas Sangat Kuat ($-200 \text{ nT} \geq \text{Dst} \geq -300 \text{ nT}$) terjadi tanggal 25 September 1998.

Merujuk pada Gambar 2-1 dan Chapman (1951) serta Rastogi et al. (2004), maka respon medan geomagnet di YAP saat badai geomagnet seharusnya lebih besar dibandingkan daerah yang jauh dari ekuator magnet seperti Biak. Diduga sebagai akibat adanya counter EEJ (CEJ) yang mulai timbul sejak rekoneksi sampai sepanjang fase utama badai geomagnet. Besarnya CEJ dalam peristiwa ini mencapai 94 nT pada pukul 06.00 UT tanggal 5 September 1998 bersamaan dengan ΔH_{BIK} mencapai nilai minimumnya.

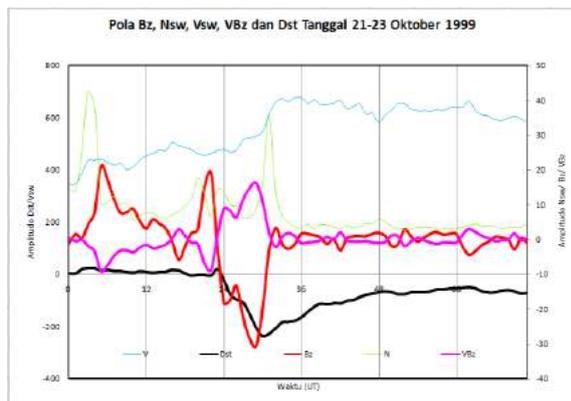
Merujuk hasil Chapman (1951), akibat adanya CEJ ini maka diduga hampir tidak ada medan listrik yang mengalir ke timur sehingga tidak terjadi suplai tambahan medan magnet ke ekuator magnet (daerah utama EEJ, $\pm 3^\circ$ lintang magnet).

b. Variasi Medan Geomagnet di BPKWA Biak dan Yap Pada tanggal 22 Oktober 1999

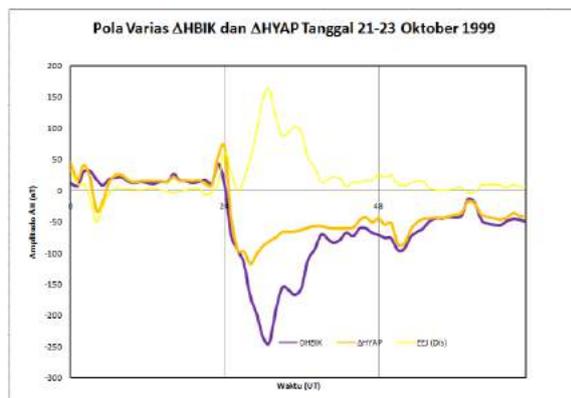
Variasi medan geomagnet komponen H BPKWA Biak (ΔH_{BIK}) dan Yap (ΔH_{YAP}) serta variasi nilai EEJ tanggal 21 - 23 Oktober 1999 ditunjukkan pada Gambar 4-2. Pada gambar tersebut, tepatnya saat peristiwa badai geomagnet tanggal 22 Oktober 1999 ini, rekoneksi terjadi pukul 22.00 UT tanggal 21 Oktober 1999 atau pukul 07.00 LT Biak 22 Oktober 1999. Setelah rekoneksi, 6 jam kemudian tepatnya pukul 04.00 UT, medan geomagnet komponen H di stasiun YAP mengalami depresi dan mencapai nilai -117 nT.

Sedangkan di stasiun Biak, 9 jam setelah rekoneksi tepatnya pukul 07.00 UT (16.00 LT Biak), komponen H-nya terdepresi sampai mencapai nilai -244 nT. Fakta ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet di Biak terhadap badai geomagnet tanggal 22 Oktober 1999 lebih besar daripada di YAP. Bahkan deviasi ΔH_{YAP} dengan ΔH_{BIK} sangat besar yakni hampir 127 nT (nilai deviasi ini lebih besar dari nilai $\Delta H_{YAP} = -117 \text{ nT}$). Hal ini bisa dimaklumi karena pada kejadian ini CEJ yang timbul selama fase utama badai geomagnet cukup besar yakni mencapai nilai 163 nT bersamaan dengan ΔH_{BIK} mencapai minimum.

Sedangkan nilai ΔH_{KTN} (stasiun Kotel'nyy di $69,92^\circ \text{ LU}$; $201,03^\circ \text{ MM}$) pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999 ini terdepresi sampai mencapai nilai -484 nT pada pukul 15.00 UT. Hasil ini berlawanan dengan Gambar 2-1 dan Chapman (1951) serta Rastogi et al. (2004).



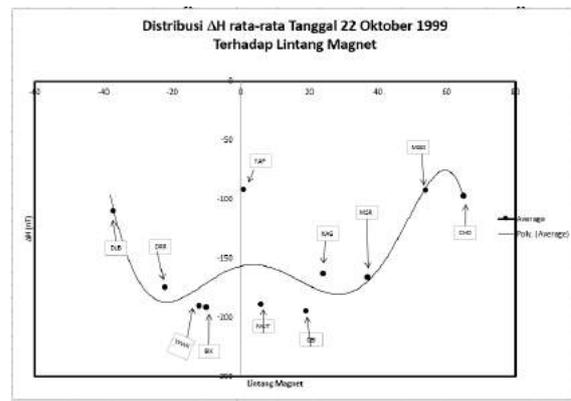
(A)



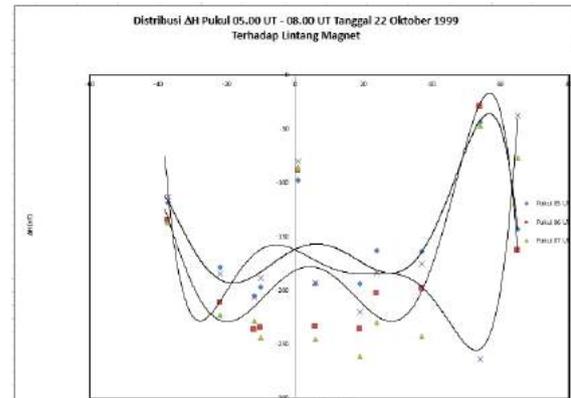
(B)

Gambar 4-2: (A) Variasi Bz IMF (nT), Vsw (km/s), Nsw (n/cm³), VBz (mV/m) dan indeks Dst (nT) serta (B) variasi ΔH_{BIK} (nT) dan ΔH_{YAP} (nT) serta EEJ(Dis) (nT) tanggal 21-23 Oktober 1999. Badai geomagnet kelas Sangat Kuat (-200 nT ≥ Dst ≥ -300 nT) terjadi tanggal 22 Oktober 1999

Pada kedua kejadian badai geomagnet (25 September 1998 dan 22 Oktober 1999), tidak ada medan listrik yang mengalir ke timur (tidak ada EEJ). Yang ada adalah CEJ sehingga pada kedua badai geomagnet tidak terjadi tambahan medan magnet ke ekuator magnet. Untuk membuktikannya maka dilakukan pembuatan plot per-jam-an medan geomagnet komponen H terganggu (ΔH) stasiun dari lintang magnet tinggi utara sampai tinggi selatan di sekitar 210° MM (Tabel 3-2), terutama pukul 05.00 UT sampai 07.00 UT (waktu fase utama). Hasil plot ΔH pukul 05.00 UT – 07.00 UT tanggal 22 Oktober 1999 dari masing-masing stasiun seperti ditunjukkan pada Gambar 4-3.



(A)



(B)

Gambar 4-3: (A) Distribusi ΔH rata-rata stasiun pengamat geomagnet dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan tanggal 22 Oktober 1999 dan (B) Distribusi ΔH stasiun pengamat geomagnet pada pukul 05.00 UT-07.00 UT tanggal 22 Oktober 1999

Hasil pada Gambar 4-3(A) memperkuat hasil yang telah diperoleh pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2 yaitu bahwa respon medan geomagnet di Biak saat badai geomagnet lebih besar daripada di stasiun YAP. Hal ini menunjukkan sedikit perbedaan dengan hasil yang telah diperoleh oleh Rastogi et al. (2004) dan Veenadri dan Alex (2006) yakni di wilayah India, respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet di stasiun pengamatan geomagnet dekat ekuator magnet (daerah utama EEJ) lebih besar daripada di lintang yang lebih besar dalam daerah pengamatan EEJ (10° LU/LS magnet). Dari Gambar 4-3 (B) terlihat bahwa ΔH di bagian lintang selatan magnet dari 40° LS turun sampai 20° LS dan kemudian naik sampai ekuator

magnet. Sedangkan di bagian lintang utara magnet dari kutub utara medan magnet naik sampai 45° LU, lalu turun sampai 25° LU dan kemudian naik lagi sampai ekuator magnet.

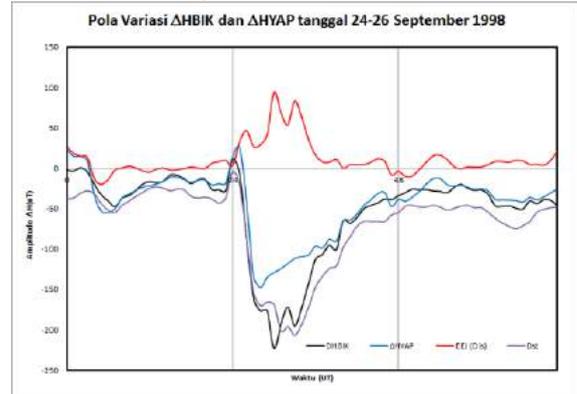
Gambar 4-3, juga dapat memberikan dugaan bahwa respon geomagnet di Biak akan lebih besar dari indeks Dst karena indeks Dst diperoleh dari superposisi ΔH stasiun pengamat di sekitar 30-40° LU/LS magnet. Untuk memastikannya, maka dilakukan plot ΔH_{BIK} dan ΔH_{YAP} bersama dengan Dst dan EEJ.

Gambar 4-4. Menunjukkan pola variasi ΔH medan geomagnet 25 September 1998 dan 22 Oktober 1999. Tampak bahwa nilai ΔH_{BIK} minimum pada kedua kejadian badai geomagnet lebih besar nilai indeks Dst minimum. Pada kejadian badai geomagnet tanggal 25 September 1998, selisih nilai antara Dst minimum (-207 nT) dengan ΔH_{BIK} minimum (-223 nT) adalah 16 nT (Dst minimum - ΔH_{BIK} minimum). Sedangkan pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999, selisih nilai Dst minimum (-237 nT) dengan ΔH_{BIK} (-244 nT) adalah 7 nT (Dst minimum - ΔH_{BIK} minimum).

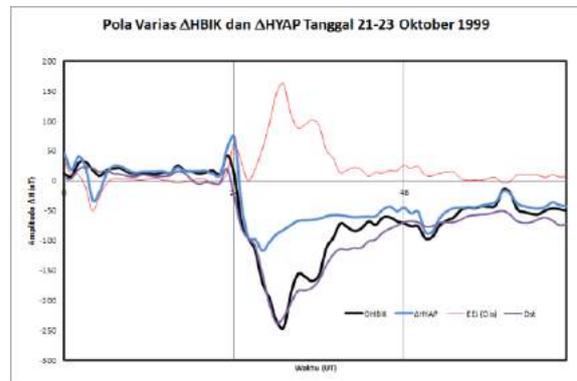
Hasil keseluruhan untuk 5 kejadian badai geomagnet lainnya ditampilkan pada Tabel 4-1.

Adapun nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{BIK} dengan indeks Dst pada kejadian badai geomagnet 25 September 1998 berturut-turut adalah 97,32% dan 12,6 nT. Sedangkan nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{YAP} dengan indeks Dst berturut-turut adalah 92,74% dan 45,5

nT. Pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999, nilai



(A)



(B)

Gambar 4-4: Variasi ΔH_{BIK}, ΔH_{YAP}, EEJ(Dis) dan indeks Dst (A) 25 September 1998), dan (B) 22 Oktober 1999

korelasi dan deviasi antara ΔH_{BIK} dengan indeks Dst berturut-turut adalah 97,90% dan 13,7 nT. Sedangkan nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{YAP} dengan indeks Dst berturut-turut adalah 83,76 dan 39,11 nT.

Hasil ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP). EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU magnet sampai

Tabel 4-1: DAFTAR KEJADIAN BADAI GEOMAGNET SEPANJANG 1998-1999 YANG AKAN DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN STUDI KASUS

No	Tanggal Badai Geomagnet	Intensitas	Selisih		Korelasi		Deviasi	
			ΔHYAP-ΔHBIK	Dst - ΔHBIK	Dst - ΔHBIK	Dst - ΔHYAP	Dst - ΔHBIK	Dst - ΔHYAP
1	04 April 1993	-165 nT	55 nT	24 nT	95,58%	19,72 nT	77,18%	197,3 nT
2	27 Agustus 1998	-155 nT	53 nT	43 nT	90,74%	41,44 nT	91,32%	55,84 nT
3	25 September 1998	-207 nT	76 nT	16 nT	97,31 %	12,63 nT	92,75%	45,50 nT
4	19 Oktober 1998	-112 nT	25 nT	19 nT	92,41%	14,53 nT	90,41%	43,10 nT
5	18 Februari 1999	-123 nT	45 nT	28 nT	91,66%	25,35 nT	90,60%	52,63 nT
6	22 September 1999	-173 nT	34 nT	-3 nT	98,00%	12,60 nT	97,78%	33,75 nT
7	22 Oktober 1999	-237 nT	127 nT	7 nT	97,90%	13,60 nT	83,76%	39,11 nT
RATA-RATA			59,29 nT	19,14 nT	94,80%	19,90 nT	89,11%	66,75nT

10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet saat badai geomagnet sesuai dengan hasil Chapman, (1951); Rigoti et al., (1999); Rastogi et al., (2004).

5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (stasiun YAP) dengan rata-rata selisih ΔH -nya adalah 59,27 nT dan bahkan umumnya lebih besar dari indeks Dst. Nilai korelasi dan deviasi antara respon ΔH_{BIK} dengan badai geomagnet (Indeks Dst) yakni sebesar 94,80% dan 19,90 nT juga lebih baik daripada respon ΔH_{YAP} dengan badai geomagnet (indeks Dst) yakni sebesar 89,11% dan 66,75 nT. Hasil ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP). EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU magnet sampai 10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet saat badai geomagnet sesuai dengan hasil Chapman, (1951); Rigoti et al., (1999); Rastogi et al., (2004).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dra. Clara Yono Yatini, M.Sc., Kepala Pusat Sains Antariksa dan Drs. Jiyo, M.Si., Kepala Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa selama proses penyusunan makalah ini sebelum dikirimkan ke Pukasi LAPAN. Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. K. Yumoto, dkk dari Kyoto University atas diperkenalkannya dalam menggunakan data geomagnet CPMN.

DAFTAR RUJUKAN

Agha S. O., and Agbo G. A., 2014. *An Espository Study On The Equatorial Electrojet*, European Journal of Physical and Agricultural Sciences, Vol. 2 No. 2, ISSN: 2056-5879.

Baker W. G. dan Martyn D. F., 1953. *Electric Currents in the Ionosphere: I. The Conductivity*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Science, Vol. 246, No. 913, 281-294.

Chapman S., 1951. *The Equatorial Electrojet as Detected from the Abnormal Electriccurrents Distribution Above Huancayo, Peru and elsewhere*: Arch. Metrol. Geophys. Bioklimatol, A4, 368-390.

Gopalswamy N., 2009. *Halo Coronal Mass Ejections and Geomagnetic Storm*, Earth Planet Space, 61, 1-3.

James, M. E. dan Rastogi, R. G., 2002. *Critical Study of the Solar Daily Range of Geomagnetic H Field as Indo-Russian Chain of Stations*, J. Ind. Geophys. Union, 4(4), 182-194.

Rastogi R. G., Kitamura T., and Kitamura K., 2004. *Geomagnetic Field Variations at the Equatorial Electrojet Station in Sri Lanka, Peredinia*, Annales Geophysicae, 22, 2729-2739.

Rigoti A., Chamalaun F. H., Trivedi N. B., and Padilha A. L., 1999. *Characteristics of the Equatorial Electrojet determined from an array of magnetometers in N-NE Brazil*, Earth Planets Space, 51, 115-128.

Russell C.T., 2006. *The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: Tutorial*, Department of Earth and space sciences and Institute of Geophysics and Space Physics of University of California, Los Angeles.

Santoso A., 2012. *Respon Latitudinal Medan Geomagnet di Sekitar Biak (1.08° LS; 136.05° BT) saat badai geomagnet*, Seminar Nasional Fisika 2012, Serpong 4-5 Juli 2012, ISBN: 2088-4176.

Vats H. O., 2006. *Geo-effectiveness of Solar Wind Extremes*, Journal of Astrophysics and Astronomy, Volume 27, Issue 2-3, 227-235.

Veenadhari B. and Alex S., 2006. *Space Weather Effects on Low Latitude Geomagnetic Field and Ionospheric Plasma Response*, ILWS Workshop 2006, GOA, February 19-24 2006.

Yumoto K., 1996. *The 210° MM Magnetic Observation Group, the Step 210° Magnetic Meridian Network Project*, J. Geomag. Geoelectr., 48.

PENGARUH ORIENTASI MEDAN MAGNET ANTARPLANET PADA GANGGUAN GEOMAGNET DI LINTANG RENDAH (THE EFFECT OF INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD ORIENTATION ON LOW LATITUDE GEOMAGNETIC DISTURBANCES)

Anton Winarko dan Anwar Santoso

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan 133 Bandung 40173 Indonesia

e-mail: anton.winarko@lapan.go.id

Diterima 18 April 2016, Direvisi 23 Juni 2016, Disetujui 28 Juni 2016

ABSTRACT

Interplanetary Magnetic Field (IMF) is a part of the Solar magnetic field that is carried into interplanetary space by the solar wind. Based on previous study it is known that solar wind condition when reconnection occurs has important role on geomagnetic disturbance. This paper discusses low-latitude geomagnetic field responses to various condition of reconnection, i.e. when north-south component of Interplanetary Magnetic Field (IMF B_z) was south-directed (<0) in long duration, IMF B_z switch to opposite direction after reconnection, and neutral IMF B_z (~ 0). Case studies show that precondition which IMF $B_z < 0$ prompt more intense geomagnetic storm compared to IMF $B_z \sim 0$. At low latitude, precondition of IMF $B_z < 0$ tend to trigger disturbance in the form of geomagnetic storm, while the IMF $B_z \sim 0$ one could trigger Sudden Impulse. Change of IMF B_z direction after reconnection affected recovery phase acceleration, that was on IMF $B_z > 0$, recovery phase took less time compared to IMF $B_z < 0$.

Keywords: *Geomagnetic disturbance, Reconnection, Interplanetary magnetic field B_z*

ABSTRAK

Medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) adalah medan magnet matahari yang dibawa oleh angin surya dan menjalar dalam ruang antarplanet. Berdasarkan studi sebelumnya diketahui bahwa kondisi angin surya saat terjadi rekoneksi amat berpengaruh terhadap gangguan geomagnet yang terjadi. Pada makalah ini dibahas respons medan geomagnet di lintang rendah pada berbagai kondisi rekoneksi yaitu pada saat komponen utara-selatan medan magnet antarplanet ($IMF B_z$) dominan selatan ($IMF B_z < 0$) dalam durasi panjang, $IMF B_z$ berbalik arah setelah rekoneksi, dan $IMF B_z$ cenderung netral ($IMF B_z \sim 0$). Dari studi kasus menunjukkan bahwa prakondisi $IMF B_z < 0$ mengakibatkan badai geomagnet yang lebih intens dibandingkan $IMF B_z \sim 0$. Di lintang rendah, prakondisi $IMF B_z < 0$ cenderung mengakibatkan gangguan berupa badai geomagnet sedangkan $IMF B_z \sim 0$ dapat memicu *Sudden Impulse*. Perubahan arah $IMF B_z$ yang terjadi setelah rekoneksi mempengaruhi laju fase pemulihan (*recovery phase*), yaitu pada $IMF B_z > 0$, fase pemulihannya cenderung berlangsung lebih cepat dibandingkan saat $IMF B_z < 0$.

Kata kunci: *Gangguan geomagnet, Rekoneksi, Medan magnet antarplanet B_z*

1 PENDAHULUAN

Cuaca antariksa, berdasarkan UU No. 21 Tahun 2013, penjelasan Pasal 11, ayat (2), huruf b, adalah kondisi di matahari, ruang antara matahari dan Bumi, magnetosfer, serta ionosfer yang dapat mempengaruhi kondisi dan kemampuan sistem teknologi ruas antariksa (*space segment*) dan ruas Bumi (*ground segment*). Penelitian mengenai cuaca antariksa merupakan pokok kegiatan di Pusat Sains Antariksa LAPAN untuk mempelajari sumber pembangkit, mekanisme proses dan karakteristik cuaca antariksa sehingga dapat melakukan mitigasi dampaknya terhadap lingkungan Bumi.

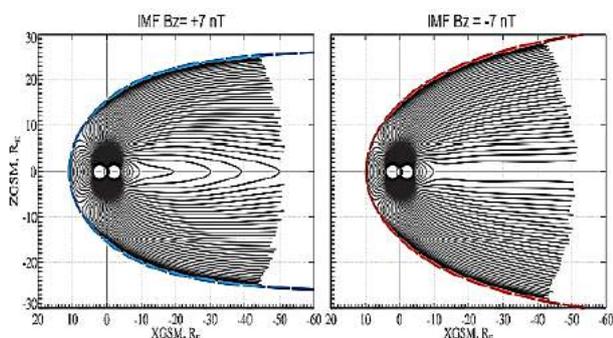
Angin matahari (*solar wind*) adalah partikel bermuatan yang sebagian besar terdiri dari proton dan elektron bebas (plasma) dengan energi sekitar 1 keV, yang mengalir keluar dari matahari ke segala arah. Dalam kejadian aktivitas matahari tertentu seperti *Coronal Mass Ejection* (CME) atau *Co-rotating Interaction Region* (CIR), energi angin surya yang berinteraksi dengan magnetosfer akan mengakibatkan perubahan topologi medan magnet Bumi, disertai perubahan energi magnet menjadi energi termal dan energi mekanik, proses ini disebut rekoneksi.

Rekoneksi terjadi saat medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) yang dibawa angin

surya mengarah ke selatan, mengakibatkan partikel-partikel plasma masuk melalui kutub dan menjalar ke lintang rendah. Dalam proses rekoneksi, kecepatan dan tekanan plasma Matahari secara signifikan berkorelasi dengan variasi gangguan geomagnet dibandingkan densitas dan temperatur (Rathore *et al.*, 2014). Keadaan magnetosfer sangat berpotensi mempengaruhi geomagnet dan ionosfer, memicu *Geomagnetically Induced Currents* (GIC) dan mengakibatkan saturasi pada transformator jaringan listrik (Pranoto, 2010). Studi baru-baru ini menggunakan metode analisis transformasi Hilbert-Huang menunjukkan respons frekuensi transformator listrik di lintang rendah hingga sebesar 3 mHz (Liu *et al.*, 2016).

Selain dipengaruhi kondisi medan magnet antarplanet, terjadinya rekoneksi juga dipengaruhi oleh medan magnet Bumi. Secara teori, medan magnet Bumi dibangkitkan dari sumber internal dan eksternal. Berdasarkan teori *self excited geodynamo*, sumber internal medan magnet Bumi dibangkitkan dari pergerakan inti Bumi. Sedangkan sumber eksternal medan magnet Bumi dibangkitkan dari interaksi matahari-Bumi (Olson *et al.*, 2014). Magnetosfer yang berinteraksi dengan angin surya mengakibatkan geometri garis gaya medan magnet Bumi tidak simetris, yaitu sisi

siang akan lebih mampat, sedangkan sisi bagian malam lebih terentang sangat jauh sebagaimana ilustrasi pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1: Model magnetosfer T13. Kiri: pada kondisi IMF Bz positif; kanan: pada IMF Bz negatif dan terjadi flare (Tsyganenko, 2013)

Di lintang rendah, indeks gangguan yang lazim digunakan sebagai indikator gangguan geomagnet diantaranya Indeks Dst. Indeks Dst merupakan indikator gangguan geomagnet di ketinggian ionosfer dan magnetosfer akibat pertumbuhan arus cincin yang mempengaruhi medan geomagnet di daerah lintang ekuator (Rastätter *et al.*, 2013). Stasiun-stasiun pengamatan Dst berada pada daerah di sekitar lintang rendah-menengah seperti ditunjukkan pada Tabel 1-1.

Badai geomagnet merupakan gangguan geomagnet yang berlangsung *global*, sehingga dapat diamati di seluruh stasiun pengamat. Adapun tingkatan kuat badai geomagnet berdasarkan indeks

Dst dapat dikelompokkan seperti pada Tabel 1-2.

Studi oleh Liu *et al* (2014) menyimpulkan, badai geomagnet akan semakin intens apabila diiringi dengan kondisi medan magnet antarplanet yang cenderung mengarah ke selatan dalam waktu yang lama dan kuat. Secara visual, indikator masuknya angin surya ke dalam magnetosfer Bumi dapat diamati dengan keberadaan aurora di kutub-kutub Bumi.

Selanjutnya, gangguan menjalar ke lintang menengah dan rendah yang ditandai dengan perubahan indeks gangguan geomagnet. Kondisi ini sekaligus mengindikasikan bahwa gangguan geomagnet berlangsung *global*. Studi sebelumnya oleh Boudouridis *et al.* (2003 dan 2004) telah dilakukan untuk menganalisis respons aurora di lintang tinggi terhadap berbagai kondisi angin surya saat rekoneksi. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa tekanan dan orientasi medan magnet antarplanet angin surya sesaat sebelum terjadi rekoneksi dapat mempengaruhi karakteristik fase badai geomagnet yang terjadi di lintang tinggi. Semakin luas cakupan aurora maka hal ini mengindikasikan bahwa jumlah partikel yang masuk semakin banyak.

Tabel 1-1: DAFTAR STASIUN DST

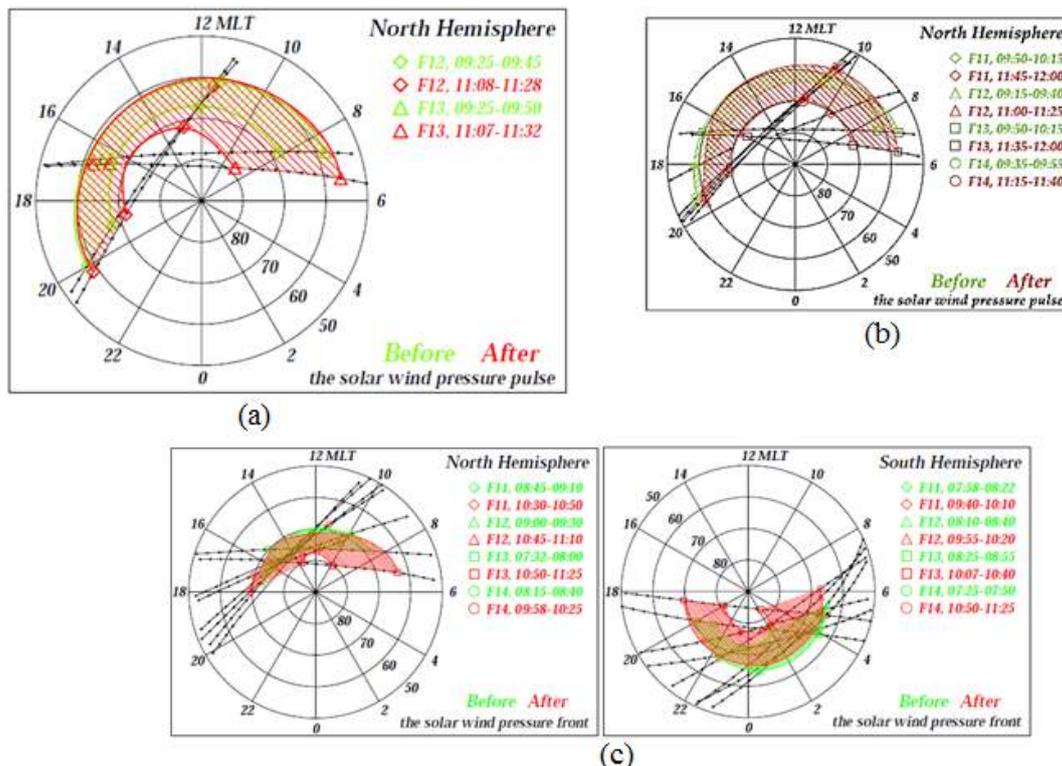
No	Nama Stasiun	Geografis		Lintang Dipol Geomagnet
		Bujur (BT)	Lintang	
1	Hermanus (Afsel)	19.22°	-34.40°	-33.3°
2	Kakioka (Jepang)	140.18°	36.23°	26.0°
3	Honolulu (USA)	201.98°	21.32°	21.1°
4	San Juan (USA)	293.88°	18.38°	29.9°

(sumber: Rastätter *et al*, 2013)

Tabel 1-2 : KLASIFIKASI BADAI GEOMAGNET BERDASARKAN INDEKS DST

No	Kategori badai geomagnet	Rentang indeks Dst
1	Lemah	-30 nT ≥ Dst > -50 nT
2	Sedang	-50 nT ≥ Dst > -100 nT
3	Kuat	-100 ≥ Dst > -200 nT
4	Sangat kuat	-200 ≥ Dst > -300 nT
5	Super badai	Dst ≤ -300 nT

(sumber: Loewe and Prolls, 1997; Adekoya et al., 2012)



Gambar 1-2: Respons aurora berdasarkan Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). (a) Saat IMF Bz dominan selatan dalam durasi panjang tanggal 10 Januari 1997; (b) Saat IMF Bz berbalik arah tanggal 18 Februari 1999; (c) Saat IMF Bz ~0 tanggal 30 April 1998 (Boudouridis et al, 2003 dan 2004)

Gambar 1-2 menunjukkan pergeseran dan ekspansi simpul aurora yang menyebabkan *polar cap* (topi kutub) menyempit. Pada Gambar 1-2a, terjadi respons aurora yang cepat disertai peningkatan pulsa tekanan dan peningkatan presipitasi elektron di daerah polar akibat panjangnya durasi IMF Bz arah selatan. Gambar 1-2b menunjukkan penyempitan *polar cap* di kutub utara pada badai geomagnet yang lebih signifikan dibandingkan kutub selatan, diakibatkan pengaruh *substorm* yang lebih berefek pada sisi Bumi

bagian malam dibandingkan sisi Bumi bagian siang. Sedangkan Gambar 1-2c mendeskripsikan keadaan penyempitan *polar cap* yang tidak begitu signifikan dibandingkan 1-2a dan 1-2b. Artinya, intensitas arah IMF Bz saat rekoneksi mempengaruhi seberapa besar ekspansi aurora yang menyebabkan *polar cap* menyempit.

Pada makalah ini dianalisis respons medan geomagnet pada berbagai kondisi angin surya dan medan magnet antar planet Bz di lintang rendah. Tujuannya adalah mengetahui

dan memahami seberapa besar pengaruh orientasi medan magnet antarplanet terhadap gangguan geomagnet di lintang rendah. Diharapkan dengan pengetahuan dan pemahaman tersebut maka akan diperoleh pola respons medan geomagnet di daerah lintang rendah pada berbagai kondisi yang terjadi.

2 DATA DAN METODOLOGI

Terdapat 3 kondisi utama yang menjadi batasan masalah : kondisi geomagnet saat IMF Bz arah selatan berdurasi panjang, IMF Bz berbalik arah saat fase utama badai terjadi, dan IMF Bz~0. Parameter angin surya yang digunakan selain komponen utara-selatan medan magnet antarplanet (IMF Bz) yaitu densitas (Nsw), kecepatan (Vsw), dan tekanan (Psw) dari omniweb NASA (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>).

Data lintang rendah yang digunakan sebagai bahan analisis adalah komponen H medan geomagnet yang dipisahkan dari komponen hari tenangnya, menggunakan hasil pengamatan data geomagnet Balai Penjejukan dan Kendali Wahana Antariksa (BPKWA) Biak (1,08° LS; 136,98° BT) pada 10 Januari 1997, 4 Mei 1998 dan 28 Oktober 2001 (IMF Bz dominan selatan selama proses rekoneksi pada durasi yang panjang), 18 Februari 1999 (IMF Bz berbalik arah saat rekoneksi telah terjadi) dan 30 April

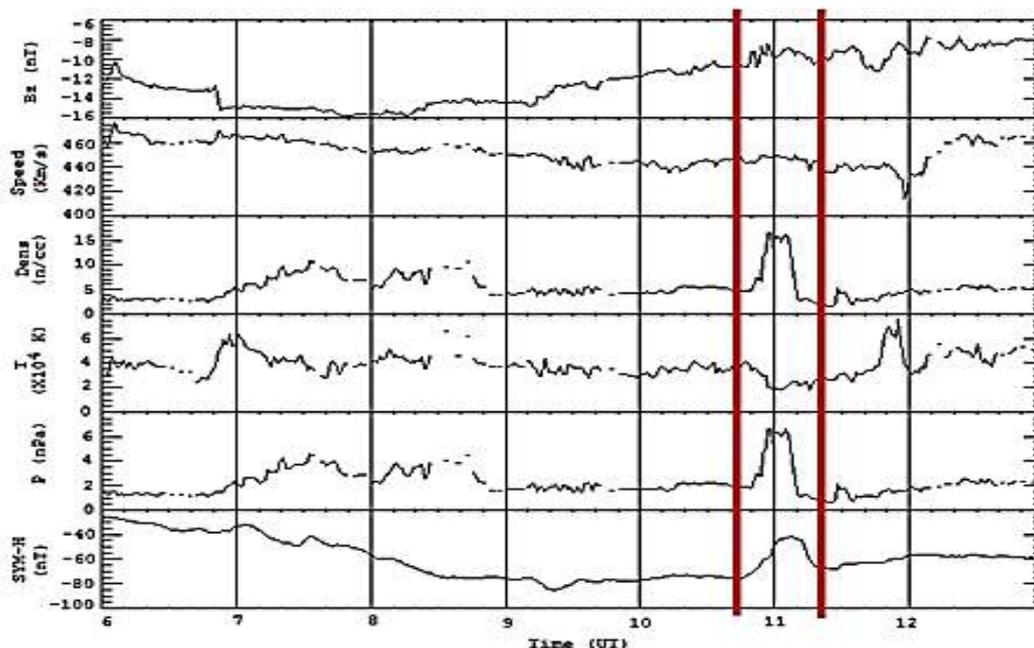
1998 (IMF Bz mendekati nol). Data indeks Dst diperoleh dari *World Data Center for Geomagnetism Kyoto* (http://wdc.kugi.kyoto.ac.jp/dst_final/index.html), data geomagnet yang digunakan adalah data sebelum tahun 2011 untuk mendapatkan data final komponen hari tenang dan indeks gangguan.

Selanjutnya data indeks Dst dan medan geomagnet Biak dicocokkan dengan hari terpilih. Kemudian dilakukan analisis respons geomagnet berdasarkan indeks Dst dengan metode visual dan statistik didukung data angin surya dan IMF Bz. Terakhir, ditarik kesimpulan dari hasil analisis yang diperoleh.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Respons Geomagnet pada saat IMF Bz < 0 Durasi Panjang

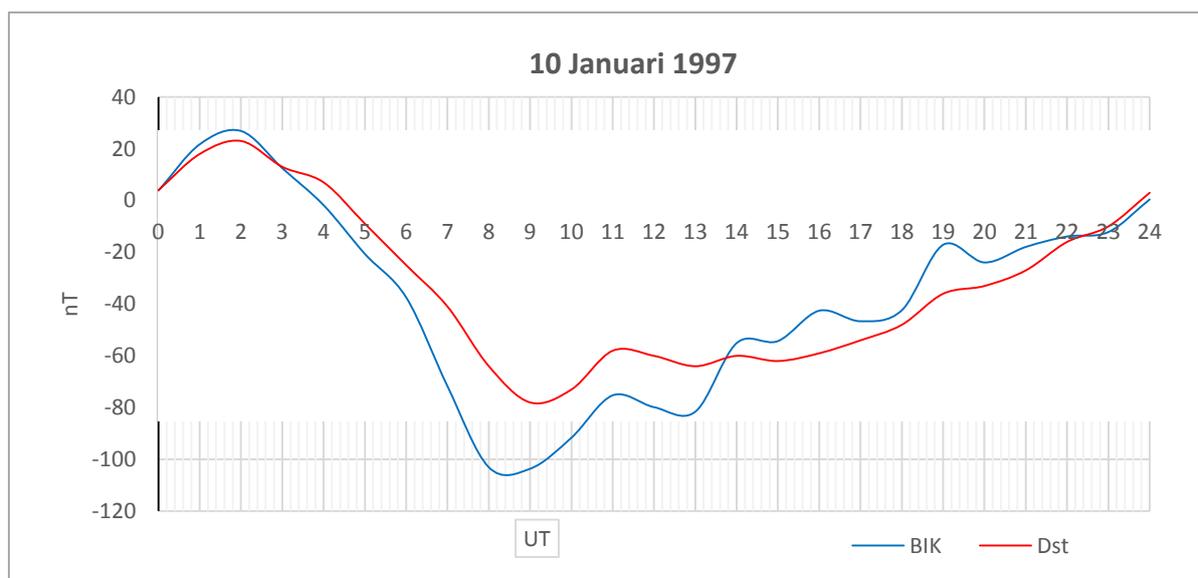
Tekanan dinamik angin surya bersamaan dengan IMF Bz arah selatan menyebabkan kenaikan respons magnetosfer yang kemudian menginduksi respons *global* terhadap arus ionosfer dan presipitasi aurora sehingga membangkitkan kenaikan intensitas aurora dan peningkatan suhu termosfer (Knipp et al.,2013; Boudouridis et al., 2003 dan 2004)). Ilustrasi ideal untuk menggambarkan kondisi tersebut terjadi pada badai geomagnet 10 Januari 1997, 4 Mei 1998, dan 12 Agustus 2000.



Gambar 3-1: Parameter angin surya 10 Januari 1997 pukul 6-12 UT berturut-turut grafik dari atas ke bawah : medan magnet antar planet (nT), kecepatan angin surya (km/s), densitas (n/cc), suhu (K), tekanan (nPa) dan indeks sym-H (nT) (sumber : <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Badai geomagnet 10 Januari 1997 dipicu oleh angin surya yang membawa partikel bermuatan berinteraksi dengan magnetosfer bumi. Kerapatan partikel mengalami peningkatan disertai dengan angin surya yang berakselerasi, menyebabkan tekanan dinamik meningkat. Kondisi IMF Bz yang bernilai negatif dalam durasi yang panjang menyebabkan terjadinya rekoneksi. Interaksi di magnetosfer tersebut melibatkan transfer energi, yang menyebabkan partikel yang semula rapat menjadi renggang setelah didorong oleh angin surya yang kecepatannya meningkat, sehingga kemudian masuk ke magnetosfer. Kondisi angin surya dan IMF Bz sebelum dan sesudah badai geomagnet pada 10 Januari 1997, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Pola kondisi angin surya pada Gambar 3-1 menunjukkan kenaikan tekanan secara signifikan saat badai geomagnet terjadi yang disebabkan oleh kenaikan densitas ion (ditunjukkan oleh dua garis tebal vertikal warna merah). Kenaikan tekanan tidak serta-merta mempengaruhi kecepatan dan kecepatan angin surya cenderung tetap selama peningkatan tekanan. Yang terjadi adalah *delayed response*, yaitu setelah tekanan menurun kembali, dalam ~1 jam berikutnya terjadi peningkatan kecepatan dan temperatur, yang mengindikasikan terjadinya proses konversi energi. Peningkatan pulsa tekanan hingga ~3 kali lipat, peningkatan kecepatan, serta arah IMF Bz selatan berdurasi panjang sebelum peristiwa terjadi, memicu gangguan pada magnetosfer dan menyebabkan badai geomagnet.



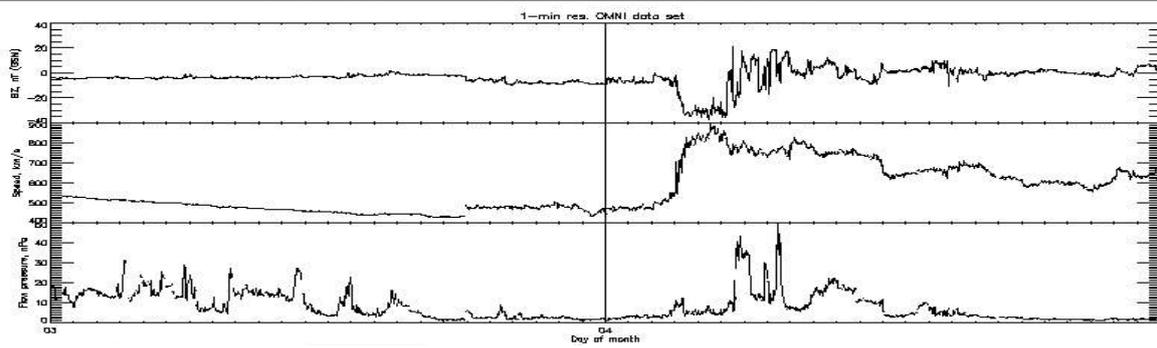
Gambar 3-2: Perbandingan intensitas geomagnet pada 10 Januari 1997 di lintang rendah. Absis adalah waktu dalam jam, ordinat adalah intensitas komponen H geomagnet dalam nano Tesla (nT)

Ilustrasi badai geomagnet 10 Januari 1997 di lintang rendah ditunjukkan pada Gambar 3-2. Pada gambar tersebut, medan geomagnet Biak tampak memiliki pola yang serupa dengan indeks Dst, namun nilai minimumnya lebih rendah dibandingkan indeks Dst. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat gangguan geomagnet di Biak lebih kuat dibandingkan tingkat gangguan secara *global*. Berdasarkan data indeks Dst, onset badai geomagnet di ekuator terjadi pada 10 Januari pukul ~02.00 UT. Didahului dengan kenaikan mendadak medan geomagnet sebagai indikasi adanya *shock* antara angin surya dan magnetosfer, kemudian diikuti penurunan medan geomagnet dalam fase utama badai geomagnet yang terjadi

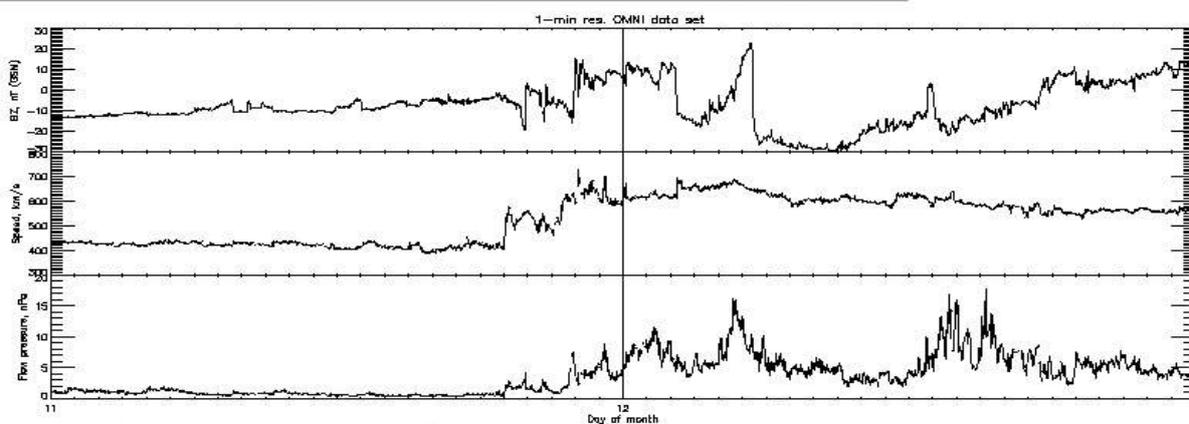
6 jam setelahnya. Puncak penurunan medan geomagnet terjadi pada pukul 10.00 UT. Akhir fase pemulihan adalah pada tanggal 11 Januari 1997 pukul 01.00 UT. Sementara IMF Bz mengarah ke selatan dimulai pada 10 Januari 1997 pukul ~02.00 UT, kemudian mulai mengalami fluktuasi pukul ~03.00 UT hingga ~05.00 UT dan setelahnya cenderung dominan ke arah selatan hingga ~21.00 UT.

Kondisi angin surya serupa, yaitu IMF Bz dominan selatan dalam durasi panjang juga terjadi pada badai geomagnet 4 Mei 1998 dan 12 Agustus 2000 sebagaimana ilustrasi pada Gambar 3-3, sementara badai geomagnet yang ditimbulkannya (data lokal Biak dan indeks Dst) digambarkan pada Gambar 3-4.

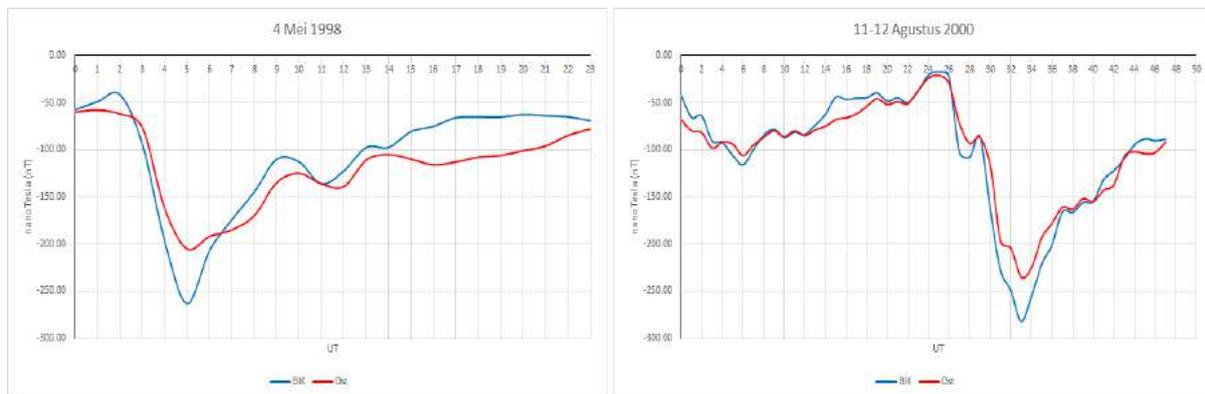
Plot omni_min data from 19980503 to 19980504



Plot omni_min data from 20000811 to 20000812



Gambar 3-3 :IMF Bz, kecepatan dan tekanan angin surya pada badai geomagnet 4 Mei 1998 (atas), dan 12 Agustus 2000 (bawah). Garis merah menandakan perkiraan waktu onsets badai (sumber : <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)



Gambar 3-4:Plot indeks Dst dan komponen H geomagnet Biak pada badai geomagnet 4 Mei 1998 dan 12 Agustus 2000

Ketiga kejadian badai geomagnet di atas disertai dengan IMF Bz negatif (dominan selatan) dalam durasi waktu yang panjang yaitu selama >12 jam dan bertipe *Sudden Commencement* (SC). Ketiga badai geomagnet yang terjadi terklasifikasi ke dalam badai geomagnet kuat (<100 nT). Terdapat persamaan

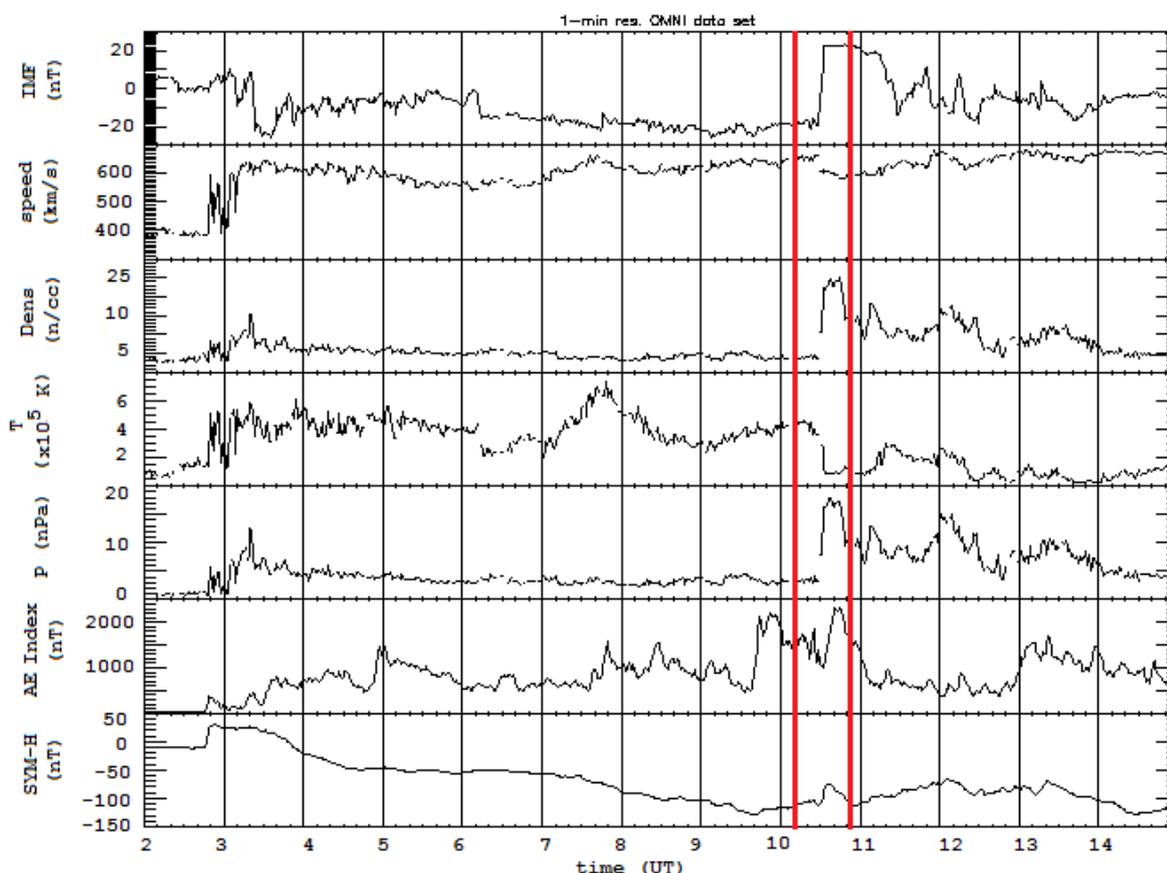
dalam ketiga contoh kasus, yaitu adanya pulsa peningkatan drastis tekanan dinamik angin surya (~3 kali lipat) beberapa saat setelah rekoneksi. Peningkatan drastis tekanan angin surya inilah yang memicu *shock* pada magnetosfer Bumi sehingga terjadi badai geomagnet yang didahului peningkatan

intensitas geomagnet mendadak atau badai bertipe SC.

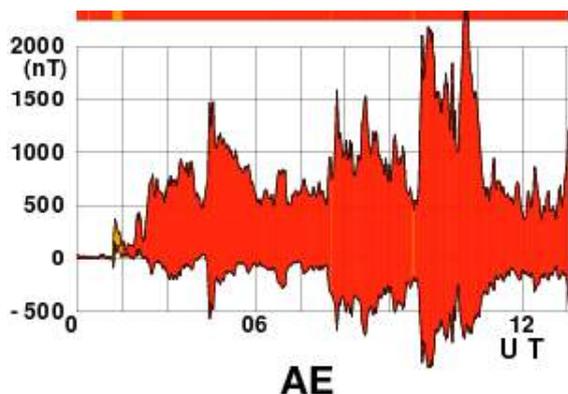
3.2 Respons Geomagnet Ketika IMF Bz >0 pada saat Fase Utama Badai Geomagnet

IMF Bz dominan selatan adalah trigger utama rekoneksi antara medan magnet antarplanet dan medan geomagnet yang memicu badai geomagnet. Pada saat badai geomagnet masih berlangsung, IMF Bz dapat berbalik ke arah dominan utara. Untuk studi kasus badai geomagnet seperti ini, digunakan data geomagnet pada tanggal 18 Februari 1999, 20 Juli 2000, dan 14 Oktober 2000. Ilustrasi keadaan angin surya pada badai geomagnet tanggal 18 Februari 1999 ditunjukkan pada Gambar 3-5.

Gambar 3-5 menunjukkan bahwa pada pukul 10 UT saat fase utama badai berlangsung, IMF Bz berubah arah dominan ke utara, terlihat dari nilai IMF Bz pada kisaran -20 nT (sebelum pukul ~10.30 UT) menjadi 20 nT (setelah pukul ~10.30 UT). Tekanan angin surya meningkat ~5 kali lipat, bertahan selama sekitar 20 menit, kemudian mulai turun kembali secara signifikan sekitar 2 jam setelahnya. Keadaan ini memicu *substorm* di sisi Bumi bagian malam yang digambarkan sebagai puncak (*peak*) indeks AE pada pukul ~10.40 UT (Gambar 3-6). Hal ini menandakan bahwa terjadi presipitasi ion dan elektron di sekitar kutub Bumi yang dapat memicu munculnya aurora dan badai geomagnet.

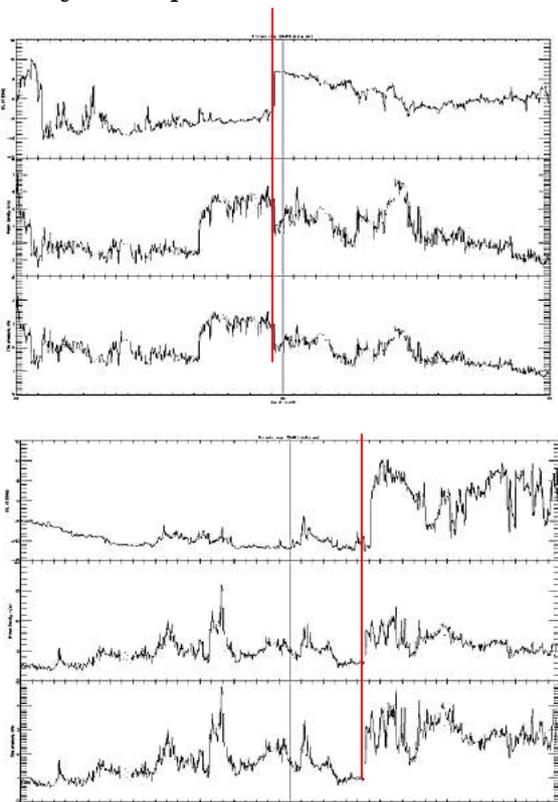


Gambar 3-5: Parameter angin surya pada badai geomagnet 18 Februari 1999. Sepasang garis tebal vertikal berwarna merah menandakan saat terjadinya perubahan arah IMF Bz. (sumber : <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)



Gambar 3-6: Indeks AE 18 februari 1999 (sumber : http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_provisional/199902/index_19990218.html)

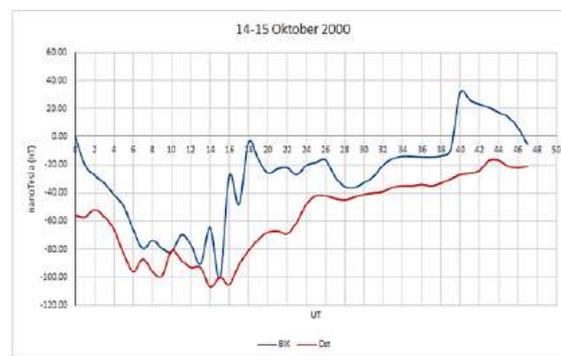
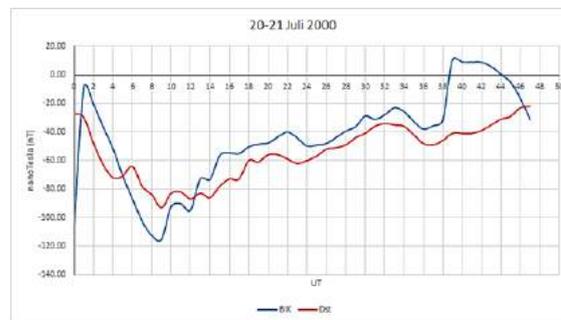
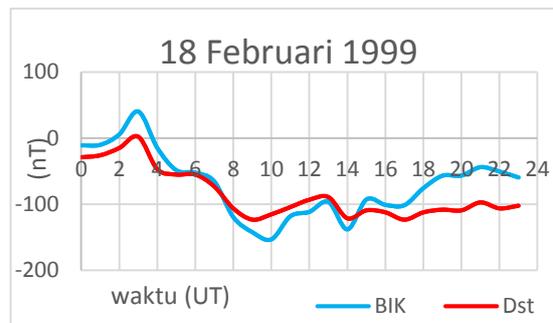
Parameter angin matahari (IMF Bz, kecepatan dan tekanan) pada 20 Juli 2000 dan 14 Oktober 2000 ditunjukkan pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7: IMF Bz, densitas, dan tekanan angin surya pada badai geomagnet 20 Juli 2000 (atas) dan 14 Oktober 2000 (bawah). Garis merah menunjukkan saat perubahan orientasi IMF Bz. (sumber: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Sementara fase gangguan geomagnet ditinjau dari data geomagnet ekuator, tampak bahwa fase utama badai geomagnet terjadi pada pukul

~10.00 UT, dengan nilai indeks Dst minimum adalah -123 nT. Sementara itu di Biak, nilai intensitas minimum geomagnet adalah -152 nT, lebih kuat dibandingkan dengan indeks Dst. Keadaan serupa terjadi pada badai geomagnet 20 Juli 2000 dan 14 Oktober 2000.



Gambar 3-8: Perbandingan intensitas geomagnet stasiun Biak (BIK-warna biru) dan indeks Dst (Dst-warna merah) pada badai geomagnet 18 Februari 1999, 20 Juli 2000 dan 14 Oktober 2000

Pada badai geomagnet 18 Februari 1999, saat IMF Bz berubah arah ke utara, medan geomagnet berada dalam fase *recovery*, ditunjukkan dengan nilai intensitas geomagnet yang bergerak ke arah positif pada 10-13 UT (Gambar 3-8). Pada pukul ~11.30 UT IMF Bz berfluktuasi, dan pada pukul ~12.30, IMF Bz kembali ke arah

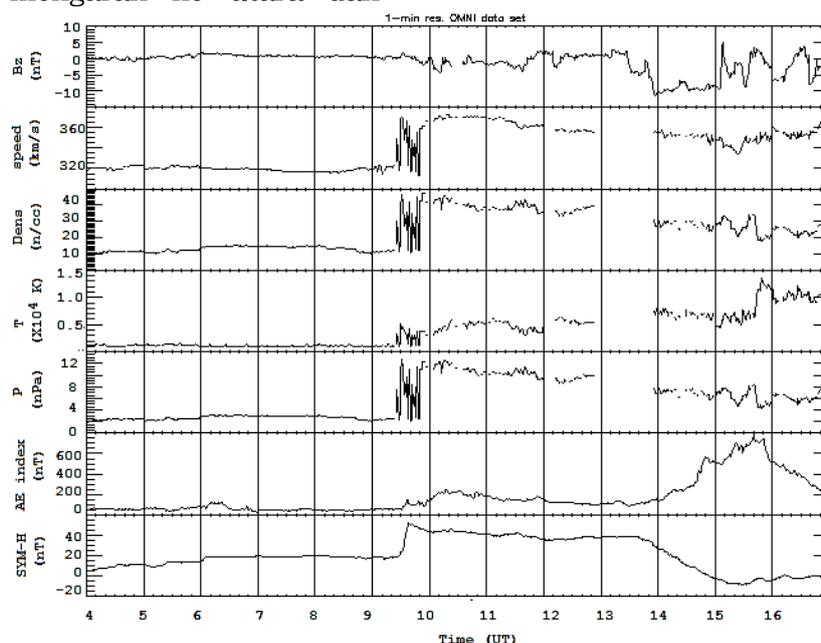
dominan selatan. IMF Bz yang mengarah ke utara pada pukul ~10.30 mendorong terjadinya percepatan proses *recovery*, namun IMF Bz yang kembali mengarah ke selatan ±1 jam setelahnya mengakibatkan medan geomagnet kembali terdepresi (pukul 14.00 UT). Meskipun medan geomagnet tetap mengalami pemulihan setelahnya, namun saat IMF Bz mengarah ke selatan proses pemulihan badai berjalan lebih lambat dibandingkan proses pemulihan pada saat IMF Bz mengarah ke utara. Hal ini seperti ditunjukkan pada indeks Dst Gambar 3-8, plot medan geomagnet lebih landai pada pukul 14.00 UT dan setelahnya dibandingkan dengan pemulihan pada periode 09.00 – 14.00 UT. Pada badai geomagnet 20 Juli 2000 dan 14 Oktober 2000, percepatan fase pemulihan bukan tampak sebagai kurva yang curam melainkan sebagai pergerakan ke arah positif karena terjadi pada trend menurun.

3.3 Respons Geomagnet pada Kondisi IMF Bz ~0 Beberapa Saat Sebelum Gangguan Geomagnet Terjadi

Dalam interaksinya dengan magnetosfer, IMF Bz dapat bernilai positif atau mengarah ke utara dan

selanjutnya berbelok ke magnetosheath, maupun negatif atau mengarah ke selatan, yang berpotensi mengakibatkan gangguan geomagnet sebagaimana dibahas pada 2 studi kasus sebelumnya. Namun, apa yang akan terjadi apabila IMF Bz cenderung netral atau bernilai ~0? Untuk menjelaskan hal ini, kita dapat menganalisis gangguan geomagnet pada 30 April 1998 sebagai studi kasus.

Keadaan angin surya pada 30 April 1998 ditunjukkan pada Gambar 3-9. Sebelumnya, IMF Bz bernilai ~0 selama sekitar 8 jam dimulai pukul ~00.30 UT. Tekanan angin surya yang memicu peningkatan kecepatan, densitas dan temperatur terjadi pada ~09.30 UT. Bertepatan dengan fluktuasi tekanan tersebut, IMF Bz mulai mengalami penurunan secara gradual sedangkan indeks AE meningkat. Fluktuasi tekanan, kecepatan, temperatur dan densitas berlangsung sekitar 20 menit dan setelahnya mengalami peningkatan, bersamaan dengan IMF Bz yang kembali menuju ke arah ~0. Gangguan geomagnet yang ditunjukkan oleh indeks AE akibat peristiwa tersebut sekitar 200 nT.

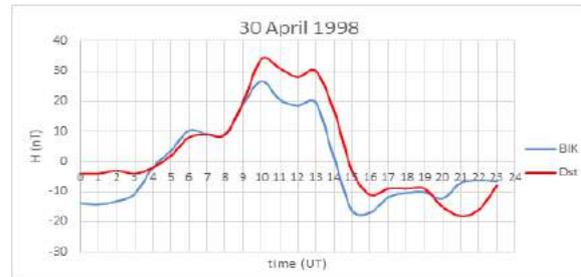


Gambar 3-9:Keadaan angin surya pada 30 April 1998 (sumber: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

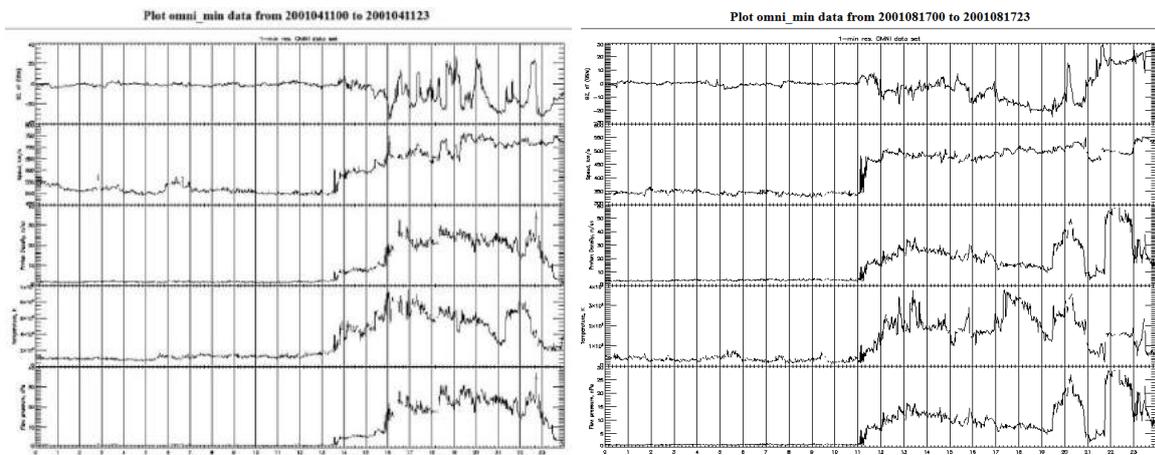
Berdasarkan indeks AE, onset gangguan geomagnet adalah pada ~09.30 UT. Sementara untuk daerah lintang rendah, ilustrasi gangguan geomagnet di sekitar lintang rendah ditunjukkan pada Gambar 3-10. Berbeda dengan 2 kasus sebelumnya, respons geomagnet di daerah sekitar ekuator tidak menunjukkan adanya penurunan intensitas geomagnet, melainkan terjadi *Sudden Impulse* (SI), yaitu indeks Dst mengalami peningkatan hingga mencapai ~35nT pada pukul 10.00 UT. Gangguan geomagnet berupa SI ini memenuhi karakteristik sebagaimana dijelaskan dalam Santoso et al (2008) dan tidak disertai dengan badai geomagnet bertipe SC.

Kondisi angin matahari yang serupa (IMF Bz~0) terjadi pada tanggal 11 April 2001 dan 17 Agustus 2001 sebagaimana gambar 3-11 namun yang membedakannya adalah IMF Bz~0

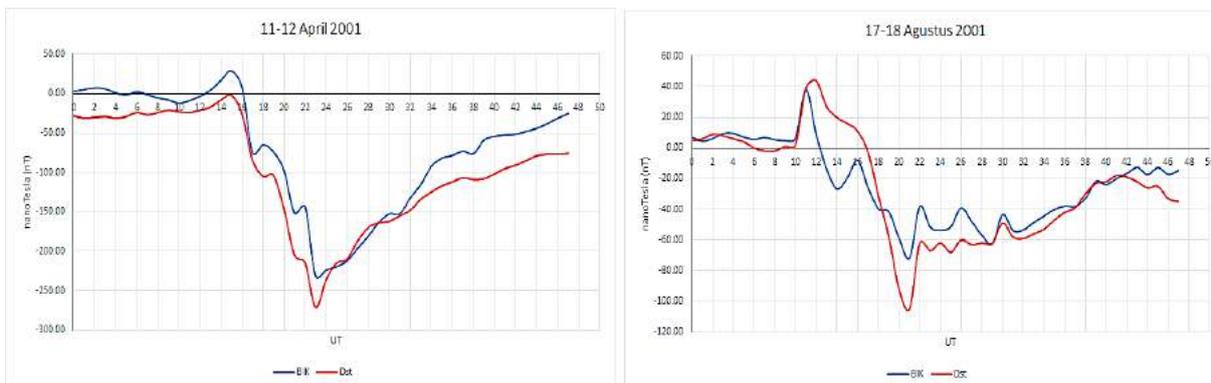
diikuti dengan perubahan ke arah selatan (negatif) sehingga memicu rekoneksi. Respons geomagnetnya di lintang rendah sebagaimana gambar 3-12. Seperti pada kejadian 30 April 1998, terjadi SI pada saat IMF Bz~0, namun karena diikuti oleh IMF Bz negatif yang memicu rekoneksi, maka selanjutnya terjadi badai geomagnet bertipe SC.



Gambar 3-10:Perbandingan intensitas geomagnet Biak (BIK, biru) dan indeks Dst (Dst, merah) pada 30 April 1998



Gambar 3-11:IMF Bz, kecepatan, densitas, temperatur, dan tekanan angin surya pada 11 April 2001 (kiri) dan 17 Agustus 2001 (kanan) (sumber: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)



Gambar 3-12 : Gangguan geomagnet pada 11 April 2001 dan 17 Agustus 2001

Intensitas geomagnet di Biak dan indeks Dst memiliki pola variasi sama pada ketiga kondisi, yaitu respons geomagnet di Biak lebih kuat dibandingkan indeks Dst. Dengan menggunakan model *Thermosphere-Ionosphere-Electrodynamics General Circulation Model* (TIE-GCM), diketahui bahwa intensitas geomagnet di sekitar ekuator yang lebih terganggu ini dikarenakan adanya kontribusi dari *Equatorial Electrojet* (EEJ) (Yamazaki et al, 2014).

Ditinjau dari seluruh studi kasus, dapat ditarik kesimpulan bahwa orientasi IMF Bz adalah faktor terpenting pemicu rekoneksi, dengan IMF Bz arah selatan adalah “pintu utama” masuknya partikel-partikel dari plasma matahari ke magnetosfer Bumi. Jika pintu masuk partikel tersebut terbuka dalam waktu yang sama, maka dapat memicu munculnya pulsa tekanan yang memicu badai geomagnet intens bertipe SC sebagaimana yang terjadi pada studi kasus IMF Bz<0 dalam waktu yang lama (paparan 3.1). Perubahan arah dominan IMF Bz dari selatan ke utara sebagaimana dipaparkan di bagian 3.2 tidak mengakibatkan fluks partikel bermuatan serta merta menjadi terhenti. Peningkatan fluks dan presipitasi ion dan elektron tetap terjadi saat IMF Bz berubah arah ke utara. Pengaruh orientasi IMF Bz setelah proses rekoneksi terjadi lebih kepada laju fase pemulihan (*recovery phase*), yaitu pada IMF Bz arah dominan utara, fase pemulihan badai cenderung berlangsung lebih cepat dibandingkan IMF Bz arah dominan selatan. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa prakondisi IMF Bz saat proses rekoneksi lebih berpengaruh terhadap medan magnet Bumi dibandingkan keadaan setelah onset.

4 KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan studi kasus dapat ditarik kesimpulan bahwa di lintang rendah prakondisi IMF Bz <0

pada durasi panjang yang disertai pulsa tekanan mengakibatkan badai geomagnet yang lebih intens dibandingkan IMF Bz~0. Prakondisi IMF Bz<0 cenderung mengakibatkan gangguan berupa badai geomagnet sedangkan IMF Bz~0 dapat memicu *Sudden Impulse*, atau *Sudden Commencement* bila diikuti dengan IMF Bz arah selatan yang memicu badai geomagnet. Perubahan arah IMF Bz yang terjadi setelah rekoneksi mempengaruhi laju fase pemulihan (*recovery phase*), yaitu pada IMF Bz>0, fase pemulihannya cenderung berlangsung lebih cepat dibandingkan saat IMF Bz<0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada operator magnetometer BPKWA Biak yang telah memberikan bantuan penyediaan data.

DAFTAR RUJUKAN

- Adekoya B. J.; V. U.Chukwuma; N.O Bakare and T.W David, 2012. *Effects of Geomagnetic Storm on Middle Latitude Ionospheric F2 During Storm of 2-6 April 2004*, Indian Journal of Radio & Space Physics, Vol. 41, pp 606-616.
- Boudouridis, A.; E. Zesta; L. R. Lyons; P. C. Anderson and D. Lummerzheim, 2003. *Effect of Solar Wind Pressure Pulses on the Size and Strength of the Auroral Oval*, J. Geophys. Res., 108(A4), 8012, doi:10.1029/2002JA009373.
- Boudouridis, A.; E. Zesta; L. R. Lyons; P. C. Anderson and D. Lummerzheim, 2004. *Magnetospheric Reconnection Driven by Solar Wind Pressure Fronts*, Ann. Geophys., 22, 1367-1378.
- Knipp, D; L. Kilcommons; L. Hunt; M. Mlynczak; V. Pilipenko; B. Bowman; Y. Deng; and K. Drake, 2013. *Thermospheric Damping Response To Sheath-Enhanced Geospace Storms*, Geophysical Research Letters, 40(7), 1263-1267. doi:10.1002/grl.50197.
- Liu, J.; L. Liu; T. Nakamura; B. Zhao; B. Ning; and A. Yoshikawa, 2014. *A Case Study*

- Of Ionospheric Storm Effects During Long-Lasting Southward IMF Bz-Driven Geomagnetic Storm*, J. Geoph. Res. Space Physics, 119(9), 7716-7731.
- Liu, J., C-B. Wang, L. Liu, and W-H. Sun, 2016. *The Response of Local Power Grid at Low-Latitude to Geomagnetic Storm: An Application of the Hilbert Huang Transform*, Space Weather J., 14, 300–312, doi:10.1002/2015SW001327.
- Loewe, C.A. and G.W Prolls, 1997. *Classification and Mean Behaviour of Magnetic Storms*, J. Geophys. Res., 102, 14209-14213.
- Olson, P.; L.A. Hinnov; and P.E. Driscoll, 2014. *Nonrandom Geomagnetic Reversal Times And Geodynamo Evolution*, Earth and Planetary Science Letters, 388, 9-17.
- Pranoto, S.C., 2010. *Metode Pengukuran GIC Pada Transformator Jaringan Listrik*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY hal 71-76.
- Rastätter, L., M. M. Kuznetsova; A. Glocer; D. Welling; X. Meng, J. Raeder; M. Wiltberger; V. K. Jordanova; Y. Yu; S. Zaharia; R. S. Weigel; S. Sazykin; R. Boynton; H. Wei; V. Eccles; W. Horton; M. L. Mays; and J. Gannon, 2013. *Geospace Environment Modeling 2008–2009 Challenge: Dst Index*, Space Weather the Int. Journal, 11(4), 187–205. doi : 10.1002/swe.20036.
- Rathore, B. S.; Gupta, D. C.; Parashar K. K., 2014. *Relation between Solar Wind Parameter and Geomagnetic Storm Condition during Cycle-23*, International Journal of Geosciences, 5, 1602-1608.
- Santoso, A.; Habirun; S. Rachyany; H. Bangkit, 2008. *Karakteristik Sudden Commencement dan Sudden Impulse di SPD Biak Periode 1992-2001*, Jurnal Sains Dirgantara Vol 6 No.1 Desember : 60-70.
- Tsyganenko, N. A, 2013. *Data-Based Modelling Of The Earth's Dynamic Magnetosphere: A Review*, Annales Geophysicae (Vol. 31, No. 10, pp. 1745-1772). Copernicus GmbH.
- Yamazaki, Y.; A. D. Richmond; A. Maute; Q. Wu; D. A. Ortland; A. Yoshikawa; I. A. Adimula; B. Rabi; M. Kunitake; and T. Tsugawa, 2014. *Ground Magnetic Effects Of The Equatorial Electrojet Simulated By The TIE-GCM Driven By TIMED Satellite Data*, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 119.4 (2014): 3150-3161.

STUDI GELOMBANG ULF: KORELASI PULSA MAGNET Pc3 DENGAN KECEPATAN ANGIN SURYA DAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET (STUDY OF ULF WAVE: CORRELATION OF Pc3 MAGNETIC PULSATIONS WITH SOLAR WIND VELOCITY AND INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD)

Setyanto Cahyo Pranoto^{1*)} dan Wahyu Srigutomo^{)}**

^{*)} Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan No. 133 Bandung 40173 Indonesia

^{)} Institut Teknologi Bandung**

Jl. Ganesha NO. 10 Bandung 40116 Indonesia

¹e-mail: setyanto.cahyo@lapan.go.id

Diterima; 8 April 2016; Direvisi: 13 Juni 2016; Disetujui; 30 Juni 2016

ABSTRACT

Energy for the Earth's magnetospheric processes is provided by solar wind. Pc3 magnetic pulsation is one of geomagnetic ULF wave. Pc3 magnetic pulsation has been studied to understand the dynamic of magnetosphere. Geomagnetic pulsations are quasi-sinusoidal variations in the Earth's magnetic field in the period range of 10-45 seconds. The magnitude of these pulsations ranges from fraction of a nT (nano Tesla) to several nT. These pulsations can be observed in a number of ways such as applied of ground based magnetometer. We used the magnetometer data of Manado, Parepare, and Kupang stations to study the effect of the solar wind and interplanetary magnetic field on these pulsations. To extract Pc3 magnetic pulsations we applied second order of Butterworth filter and using Hamming windowing. The result showed that Pc3 magnetic pulsation have correlation with increasing solar wind velocity and interplanetary magnetic field-IMF, it is mean that solar wind controls Pc3 magnetic pulsations occurrence.

Keywords: Pc3 magnetic pulsations, ULF, Solar wind

ABSTRAK

Angin surya merupakan sumber energi bagi proses-proses fisis yang terjadi di magnetosfer Bumi. Untuk dapat memahami dinamika di magnetosfer Bumi dapat di tinjau dari gelombang ULF salah satunya pulsa magnet Pc3. Pulsa magnet Pc3 merupakan variasi *quasi-sinusoide* pada medan magnet Bumi dalam rentang periode 10 – 45 detik. Pulsa magnet Pc3 umumnya memiliki amplitudo rendah dengan rentang nT (nano Tesla). Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengamati pulsa magnet Pc3 diantaranya dengan menggunakan magnetometer landas Bumi. Dalam makalah ini kami menggunakan data pengamatan magnetometer stasiun Kupang, Manado, dan Parepare untuk mempelajari hubungan pulsa magnet Pc3 terkait dengan angin surya dan medan magnet antarplanet. Pulsa magnet Pc3 diekstrak dari data variasi medan magnet dengan menggunakan *Butterworth Filter* dan *Hamming windowing*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pulsa magnet Pc3 memiliki korelasi dengan peningkatan kecepatan angin surya dan medan magnet antarplanet. Hal ini mengindikasikan bahwa angin surya merupakan salah satu sumber yang mengontrol perubahan yang terjadi pada pulsa magnet Pc3.

Kata Kunci: *Pulsa magnet Pc3, Ulf, Angin surya*

1 PENDAHULUAN

Matahari merupakan sistem dinamis sebagai faktor utama penggerak perubahan di lingkungan antariksa Bumi. Matahari secara terus menerus melontarkan partikel bermuatan yang disebut angin surya menuju ruang antarplanet. Fluktuasi angin surya dapat mengeksitasi gelombang hidromagnetik pada berbagai rentang frekuensi pada daerah *ultra low frequency* (ULF). Berdasarkan mekanisme resonansi (Menk, 2011), gelombang ULF yang dibangkitkan melalui interaksi magnetosfer dengan angin surya yang berfluktuasi, dapat menjalar melewati magnetosfer dan ionosfer sehingga terekam oleh magnetometer di permukaan Bumi dalam bentuk pulsa magnet. Pulsa magnet yang terekam di permukaan Bumi mengindikasikan integrasi beberapa sinyal yang terdapat di magnetosfer dalam bentuk *broadband* frekuensi (Feygin *et al.*, 2009).

Pulsa magnet Pc3 merupakan osilasi gelombang hidromagnetik pada frekuensi gelombang *Ultra Low Frequency* (ULF) dengan rentang periode 10 – 45 detik (Jacobs *et al.*, 1964). Pembangkitan pulsa magnet ini terjadi secara eksternal maupun internal di

magnetosfer. Hal ini terlihat dari variasi spasial dan temporal kejadian pulsa magnet Pc3 di daerah *quasi-parallel bow shock* (Vallee *et al.*, 2007). Sumber eksternal pulsa magnet berasal dari gelombang permukaan (*surface wave*) di *magnetopause* sebagai akibat ketidakstabilan *Kelvin-Helmholtz* dan pembangkitan gelombang di daerah *bowshock* atau *magnetosheath* yang mengalami propagasi ke magnetosfer. Sedangkan sumber internal berasal dari ketidakstabilan plasma di dalam magnetosfer. Beberapa penelitian pernah membahas hal ini diantaranya; energi gelombang Pc3-4 berasal dari aliran plasma di *magnetosheath* menuju *magnetopause* (Yumoto dan Saito, 1984). Pulsa magnet Pc3 dicirikan oleh dua mode osilasi dominan yang berasal dari sumber penggerak eksternal (*upstream waves*), dan sebuah penguatan signal (*resonant waves*) pada frekuensi osilasi fundamental pada garis medan lokal (Villante *et al.*, 2003).

Pulsa magnet Pc3 umumnya memiliki amplitudo kecil. Pulsa ini biasanya terpolarisasi di sepanjang garis medan magnet dan gelombang magnetosfer paling kuat teramati pada daerah dekat *plasmopause* pagi hari. Pudovkin dan Shumilov (1969), berpendapat bahwa medan listrik

magnetosfer tidak hanya diakibatkan oleh aliran plasma matahari melainkan dapat juga dikarenakan variasi medan magnet antarplanet. Akibatnya gangguan pada angin surya yang bergerak melintasi Bumi menambahkan nilai medan Bumi selain medan magnet antarplanet yang diakibatkan oleh arus di permukaan *magnetopause*.

Aliran angin surya akan melewati *subsolar bowshock* dan *magnetosheath* menuju ke area sekitar *subsolar magnetopause* dan mengalir sepanjang *magnetopause* pada kedua sisi baik dalam arah timur-barat maupun utara-selatan. Ketika kecepatan angin surya mengalami percepatan di atas *threshold* tertentu, maka akan mengakibatkan terjadinya ketidakstabilan *Kelvin-Helmholtz* dan peningkatan amplitudo dari gelombang permukaan menuju magnetosfer dalam bentuk pulsa magnet. Semakin tinggi peningkatan kecepatan dari angin surya maka semakin besar amplitudo pulsa magnet di magnetosfer (Taroyan *et al.*, 2009).

Pada saat yang sama terjadi pembangkitan gelombang pada daerah *quasi-parallel bow shock* yang mendominasi di *magnetosheath* sekitar pagi dan menuju *magnetopause*. Mekanisme propagasi dan konveksi gelombang akan menstimulasi *magnetopause* untuk mengirimkan gelombang ke area magnetosfer di sisi siang. Ketika terjadi perubahan orientasi medan magnet antarplanet dan kecepatan angin surya, maka mengakibatkan gelombang permukaan di *sheath* memiliki periode *cyclotron* sekitar 10 – 100 detik dan terjadi pembangkitan pulsa di magnetosfer

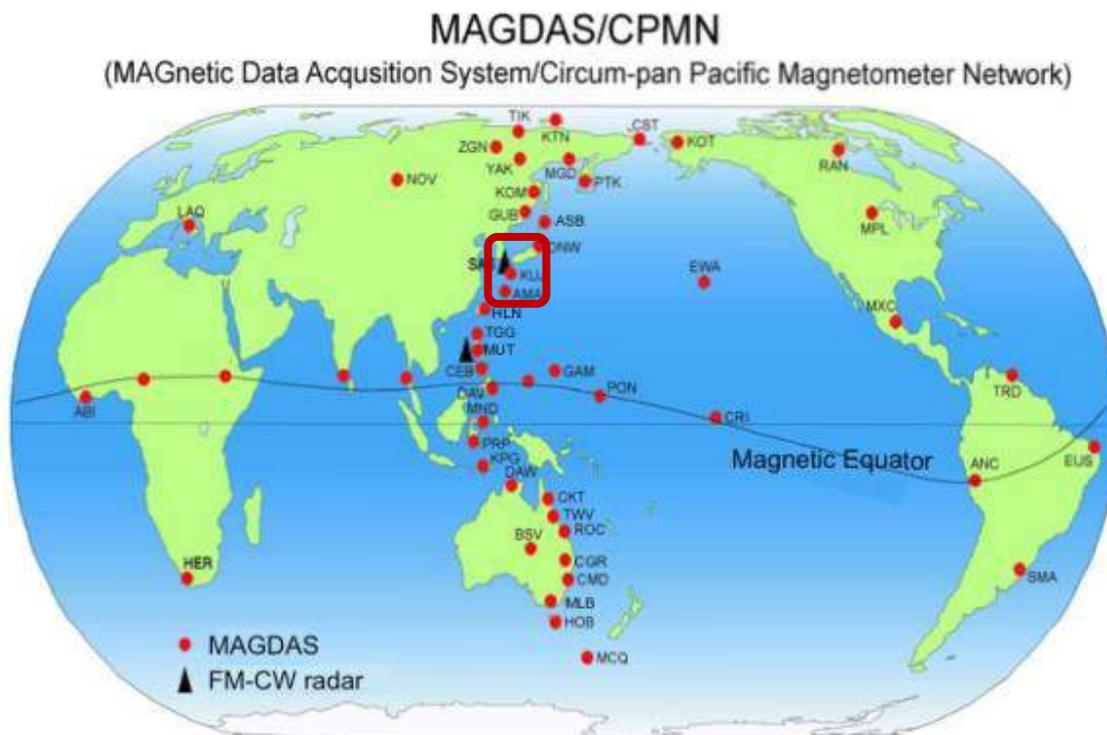
pada rentang periode yang sama. Selain meningkatkan pertumbuhan gelombang permukaan, kecepatan angin surya yang lebih tinggi juga meningkatkan efisiensi konveksi gelombang *quasi-parallel* menuju magnetosfer, serta menyediakan sumber gangguan yang diperlukan untuk memicu ketidakstabilan *Kelvin-Helmholtz* (Mazur dan Chuiko, 2013).

Dalam makalah ini memaparkan keterkaitan antara pulsa magnet Pc3 dengan peningkatan kecepatan angin surya (V_{sw}) dan perubahan medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field, IMF*) selama rentang periode 2010-2011. *Output* dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk membantu penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme pembangkitan pulsa magnet Pc3.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Dalam studi ini digunakan data medan magnet Bumi hasil rekaman magnetometer stasiun pengamatan Kupang (KPG) (-10,2°S, 123,4°E), Manado (MND) (1,44°N, 124,84°E), dan Parepare (PRP) (-3,6°S, 119,4°E), rentang waktu tahun 2010-2011. Magnetometer ini mengukur tiga komponen variasi medan magnet Bumi; H (komponen horizontal arah utara-selatan), D (komponen horizontal arah timur-barat), Z (komponen arah vertikal) dengan resolusi 1 detik dan merupakan salah satu magnetometer pada jaringan magnetometer global MAGDAS (*Magnetic Data Acquisition Systems*) dan CPMN (*Circum-pan Pacific Magnetometer Network*).



Gambar 2-1: Jaringan magnetometer MAGDAS/CPMN dan lokasinya di Indonesia Sumber: http://www.serc.kyushu-u.ac.jp/magdas/MAGDAS_Project.files/image002.jpg

2.2 Metode Penelitian

Beberapa metode dalam melakukan pengolahan data medan magnet Bumi terkait dengan gelombang ULF pernah dilakukan di antaranya; pulsa magnet Pc3 diekstrak dari data variasi medan magnet Bumi menggunakan *Butterworth filter* dan *Hamming windowing* (Musafar, 2009). Fungsi *butterworth* ditunjukkan dalam persamaan (2-1), dengan z merupakan variabel kompleks, $a(n)$ dan $b(n)$ menyatakan koefisien dari polinomial pada orde ke- n . Sedangkan window *hamming* diberikan oleh persamaan (2-2), dengan n menyatakan lebar *window*.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1)+b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{1+a(2)z^{-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}} \quad (2-1)$$

$$w[k + 1] = 0,54 - 0,46 \cos\left(2\pi \frac{k}{n-1}\right) \quad (2-2)$$

Metode *fast fourier transform* (FFT) sering digunakan untuk mengidentifikasi maupun menganalisis fenomena gelombang seperti halnya

pulsa magnet (Bortnik *et al.*, 2007). Penerapan fungsi diskrit FFT satu dimensi juga digunakan untuk menghitung frekuensi dominan dan energi maksimum dari pulsa magnet Pc3 dalam rentang waktu setiap 20 menit. (Pranoto, 2011; Bortnik *et al.*, 2007). FFT diskrit dan inversinya diberikan dalam persamaan (2-3) dan (2-4).

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (2-3)$$

$$x(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(k)\omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad (2-4)$$

Pulsa magnet Pc3 yang dianalisis dalam penelitian ini diekstrak dari data medan magnet Bumi menggunakan *Butterworth filter* dan *Hamming windowing* pada rentang frekuensi pulsa magnet Pc3 (0,1 - 0,2 Hz), sedangkan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) digunakan untuk mendapatkan frekuensi dominan dari pulsa magnet

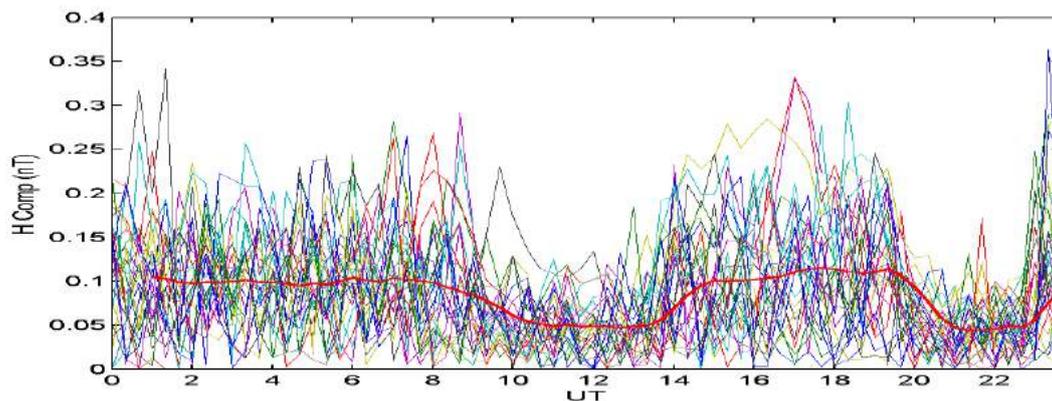
Pc3. Gangguan angin surya terhadap medan magnet bumi bersifat dominan pada bidang horizontal maka untuk analisis digunakan data komponen H saja dan parameter yang berkaitan dengan pulsa magnet Pc3 diekstrak setiap 20 menit. Selain data magnetometer landas Bumi digunakan pula data angin surya hasil pengamatan satelit *Advanced Composition Explorer* (ACE) untuk dilakukan analisis terkait hubungannya dengan pulsa magnet Pc3.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

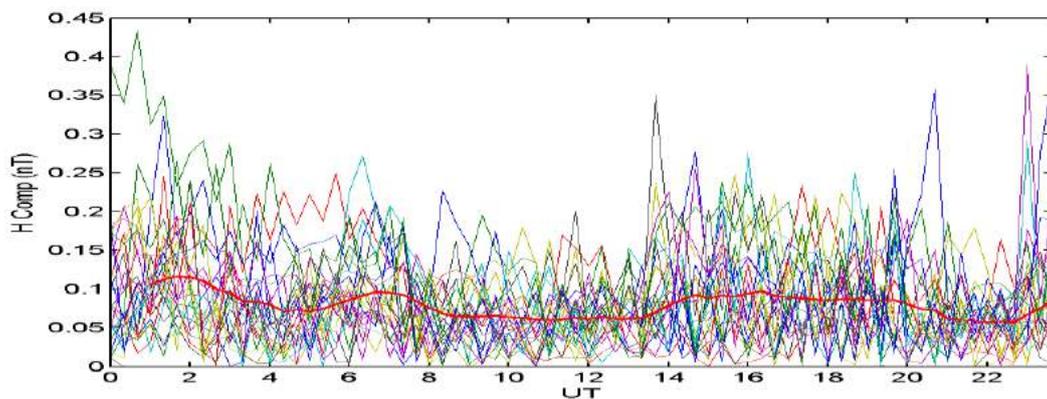
Gangguan angin surya terhadap medan magnet Bumi bersifat dominan pada komponen horizontal karenanya sifat-sifat pulsa magnet Pc3 dapat diamati dari data komponen H ataupun D. Untuk mendapatkan sinyal pulsa magnet Pc3 dilakukan ekstraksi terhadap variasi medan magnet Bumi setiap 20 menit secara berturutan. Gambar 3-1 memperlihatkan variasi harian dari pulsa magnet Pc3 untuk stasiun KPG, MND, dan PRP selama bulan Februari 2010. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa amplitudo pulsa magnet Pc3 memiliki kecenderungan mengalami peningkatan pada waktu siang dan malam serta mengalami penurunan pada waktu pagi dan petang. Masing-masing kurva dalam gambar tersebut merepresentasikan variasi harian dari amplitudo pulsa magnet Pc3. Sedangkan kurva dengan garis tebal merupakan rata-rata dari amplitudo pulsa magnet Pc3 dengan menggunakan metode *moving average*. Amplitudo pulsa magnet Pc3 diplot dalam UT (*universal time*) yang dinyatakan sebagai sumbu horisontal

sedangkan sumbu vertikalnya menyatakan amplitudo pulsa magnet Pc3 dalam satuan nT (nano Tesla).

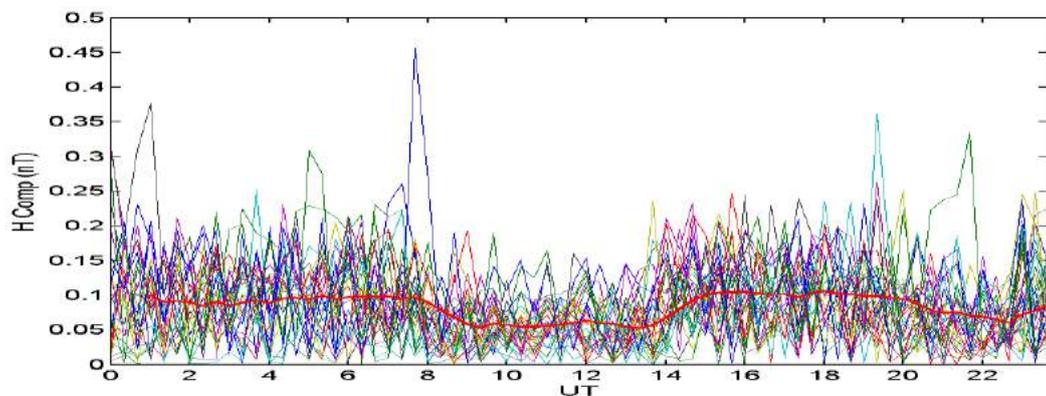
Dari Gambar 3-1 terlihat bahwa pada rentang waktu ~23-07 UT (~07-15 LT) dan ~13-20 UT (~21-04 LT) amplitudo pulsa magnet Pc3 mengalami peningkatan. Sedangkan, pada rentang waktu ~07-13 UT (~15-21 LT) dan ~20-23 UT (~04-07 LT) amplitudo pulsa magnet Pc3 mengalami penurunan. Peningkatan dan penurunan amplitudo pulsa magnet Pc3 ini berkaitan dengan kekuatan sumber pulsa magnet Pc3 yaitu angin surya. Pembangkitan pulsa magnet Pc3 dipicu oleh interaksi antara angin surya dengan medan magnet Bumi yang selanjutnya mengakibatkan ketidakstabilan *Kelvin-Helmholtz* di permukaan *magnetopause*. Ketidakstabilan tersebut mengalami penguatan dari daerah magnetosfer sekitar tengah hari dan menjalar menuju daerah magnetosfer belahan pagi (*dawn*) dan petang (*dusk*). Selama penjarannya terjadi pelemahan energi sehingga gelombang ULF yang mencapai daerah pagi dan petang tersebut mengalami penurunan. Pada sisi lain, garis medan magnet Bumi beresilasi dengan frekuensi-eigen tertentu. Peningkatan amplitudo pulsa magnet Pc3 di belahan siang dan malam yang teramati pada permukaan Bumi ini bersesuaian dengan peningkatan ketidakstabilan yang terjadi pada permukaan *magnetopause*. Gelombang ULF yang terbangkitkan di *magnetopause* menjalar menuju permukaan Bumi melalui resonansi antara gelombang tersebut dengan osilasi garis medan magnet di magnetosfer.



(a) Stasun Kupang (KPG)



(b) Stasun Manado (MND)

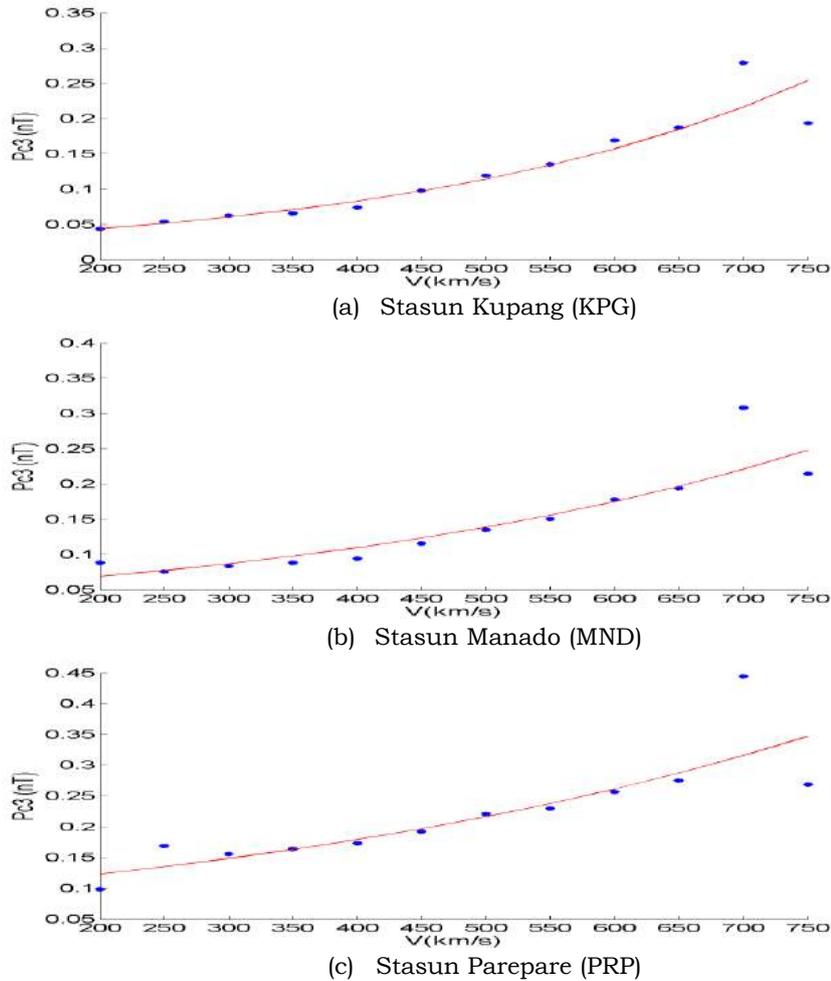


(c) Stasun Parepare (PRP)

Gambar 3-1: Variasi harian pulsa magnet Pc3 rentang waktu Februari 2010. Kurva dengan garis tebal merupakan rata-rata variasi harian dalam satu bulan

Pulsa magnet Pc3 digerakkan oleh perubahan dinamis angin surya. Interaksi antara angin surya dengan magnetosfer Bumi mengimplikasikan adanya transfer energi angin surya ke dalam magnetosfer Bumi. Untuk menyelidiki hal tersebut dilakukan uji hubungan antara amplitudo pulsa magnet Pc3 dengan kecepatan angin surya. Distribusi amplitudo pulsa magnet Pc3 yang teramati di stasiun

KPG, MND, dan PRP terhadap perubahan kecepatan angin surya ditunjukkan pada Gambar 3-2. Kecepatan angin surya diplot dalam satuan (km/s) yang dinyatakan sebagai sumbu horisontal sedangkan sumbu vertikalnya menyatakan amplitudo pulsa magnet Pc3 dalam satuan nT (nano Tesla).



Gambar 3-2: Hubungan amplitudo pulsa magnet Pc3 terhadap kecepatan angin surya rentang waktu 2010-2011. Plot (•) dan (-) merupakan amplitudo pulsa magnet Pc3 dan interpolasinya

Pada Gambar 3-2 untuk kecepatan lebih kecil dari 700 km/detik hubungan antara amplitudo pulsa magnet Pc3 dengan kecepatan angin surya hampir bersifat linier atau merupakan fungsi eksponensial dengan koefisien kecil. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai berikut. Jika amplitudo pulsa magnet Pc3 memenuhi hubungan linear dengan kecepatan angin surya, maka ini dapat diartikan bahwa energi gelombang pulsa magnet Pc3 adalah kuadrat dari amplitudonya dan sebanding dengan energi kinetik partikel angin surya yang ditentukan oleh kuadrat kecepatannya.

Jika amplitudo pulsa magnet Pc3 didekati oleh fungsi eksponensial dari kecepatan angin surya dengan koefisien kecil maka dapat diartikan bahwa amplitudo pulsa magnet Pc3 sebanding

dengan energi kinetik angin surya dan koefisien yang kecil dapat menyatakan bahwa energi pulsa magnet Pc3 sangat sensitif terhadap perubahan kecepatan angin surya. Kedua pendekatan tersebut memiliki implikasi adanya transfer energi angin surya ke magnetosfer Bumi menentukan besar atau kecilnya amplitudo pulsa magnet Pc3 yang menjalar di magnetosfer dan yang terekam di permukaan Bumi.

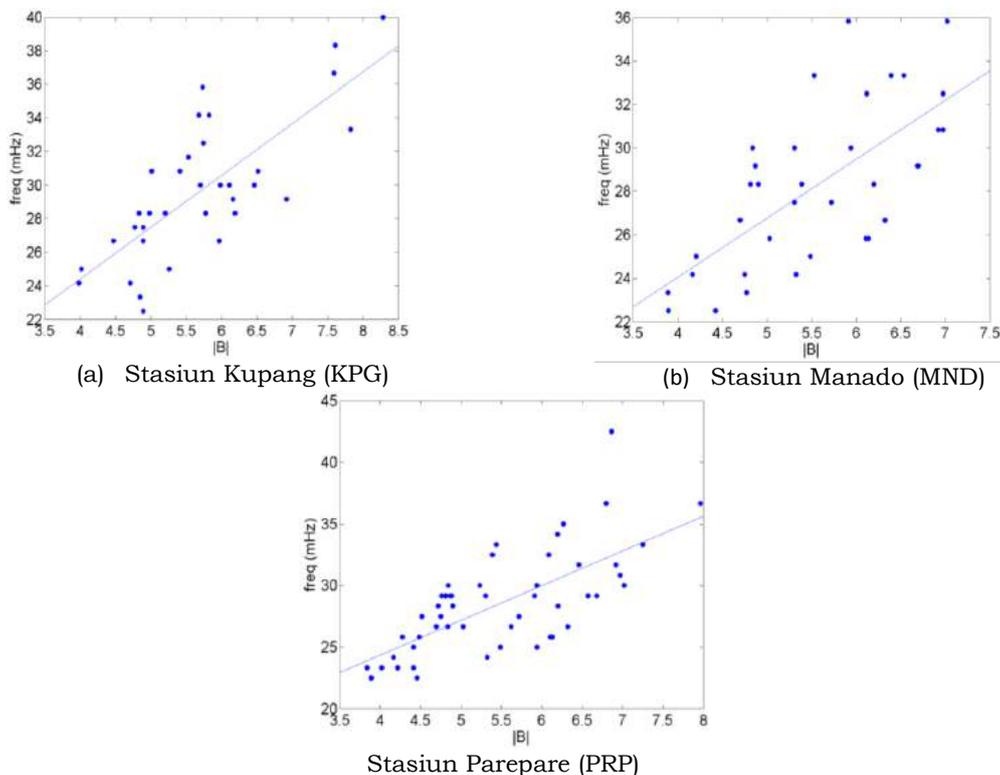
Pada sisi lain, untuk kondisi angin surya dengan kecepatan lebih besar dari 700 km/detik amplitudo pulsa magnet Pc3 mengalami penurunan. Akan tetapi kami tidak dapat menguji hal ini lebih lengkap karena pada rentang tahun 2010-2011 sangat sedikit peristiwa angin surya dengan kecepatan melebihi 750 km/detik. Penurunan amplitudo pulsa magnet Pc3 akibat peningkatan

kecepatan partikel angin surya berenergi tinggi dapat terjadi dikarenakan partikel-partikel yang memiliki kecepatan tinggi biasanya disertai oleh *shock* dalam angin surya. Pada saat kecepatan partikel angin surya mengalami peningkatan, maka kerapatan partikel mengalami penurunan. Namun analisis lebih lanjut terkait hal ini tidak dapat dilakukan karena tidak lengkapnya data kerapatan angin surya yang tersedia dari satelit.

Untuk memahami sumber utama dari mekanisme pembangkitan pulsa magnet Pc3 maka dapat dilakukan dengan melihat karakteristik dari pulsa magnet Pc3 tersebut dalam keterkaitannya dengan *interplanetary* dan struktur magnetosfer. Hubungan antara frekuensi dominan dari pulsa magnet Pc3 ($20\text{mHz} < f < 100\text{ mHz}$) dengan magnitudo (**B**) dari medan magnet antarplanet-IMF dapat menjelaskan keterkaitan antara pulsa magnet dengan ion *cyclotron* dari sumber penggerak eksternal (*upstream waves*) yang dibangkitkan di *foreshock region* selama garis medan magnet antarplanet-IMF terhubung dengan *quasi-parallel bow shock* (Yumoto, 1986; Yumoto dan Saito,

1984). Dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan (Troitskaya dan Bolshakova, 1988) didapatkan hubungan empiris antara frekuensi dominan pulsa magnet Pc3 dengan medan magnet antarplanet-IMF, $f(\text{mHz}) \sim 6(\text{nT})$.

Analisis tentang hubungan antara frekuensi dominan dari pulsa magnet Pc3 dengan magnitudo (**B**) dari medan magnet antarplanet-IMF telah dilakukan dengan seleksi paket-paket pulsa untuk semua stasiun yang teramati. Estimasi frekuensi diperoleh dari power spektrum pada saat puncak maksimum setiap rentang waktu 20 menit. Hubungan antara frekuensi dominan pulsa magnet Pc3 dengan medan magnet antarplanet-IMF ditunjukkan pada Gambar 3-3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk setiap stasiun menunjukkan nilai korelasi sebesar ($r = 0,7688$, KPG; $r = 0,6862$, MND; $r=0,7088$, PRP) dan berdasarkan regresi linier diperoleh hubungan empiris pada masing-masing stasiun KPG $f(\text{mHz}) = \sim 5,2B(\text{nT})$, MND $f(\text{mHz}) = \sim 4,9B(\text{nT})$, PRP $f(\text{mHz}) = \sim 4,7 B(\text{nT})$.



Gambar 3-3: Hubungan frekuensi dominan pulsa magnet Pc3 terhadap medan magnet antarplanet-IMF

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data medan magnet Bumi stasiun Kupang, Manado dan Parepare pada 2010-2011, diperoleh bahwa amplitudo pulsa magnet Pc3 memiliki kecenderungan mengalami peningkatan pada waktu siang dan malam serta mengalami penurunan pada fajar dan petang. Hal ini terkait penjalaran gelombang ULF menuju arah-barat atau arah-timur yang dipengaruhi oleh ketidakstabilan *Kelvin-Helmoltz* di permukaan *magnetopause*. Perubahan kecepatan angin surya yang mempengaruhi amplitudo pulsa magnet Pc3 mengindikasikan peningkatan energi gelombang ULF pulsa magnet sebanding dengan energi kinetik partikel angin surya. Dari analisis terhadap frekuensi pulsa magnet Pc3 terkait dengan kondisi medan magnet antarplanet-IMF menunjukkan bahwa frekuensi dominan Pc3 berada pada rentang frekuensi 0,03-0,05 Hz dengan koefisien korelasi sebesar ($r = 0,7688$, KPG; $r = 0,6862$, MND; $r = 0,7088$, PRP). Dari hasil tersebut mengindikasikan bahwa angin surya merupakan salah satu sumber yang mengontrol perubahan yang terjadi pada pulsa magnet Pc3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Kiyohumi Yumoto sebagai peneliti utama dari proyek CPMN/MAGDAS *International Center for Space Weather Science and Education* (ICSWSE) yang telah menginstal magnetometer di Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Bortnik, J., J. W. Cutler., C. Dunson., and T. E. Bleier, 2007. *An Automatic Wave Detection Algorithm Applied To Pc1 Pulsations*, Journal of Geophysical Research, Volume 112, A04204, Doi: 10.1029/2006JA011900.
- Feygin, F.Z., Karel Prikner., and Jorma Kangas, 2009. *Pc1 With a Broad Frequency Spectrum - Goose Pulsations*, Studia Geophysica et Geodaetica, Volume 53, Issue 4, 519-536.
- Jacobs, J. A., Y. Kato., S. Matsushita., and V. A. Troitskaya, 1964. *Classification of Geomagnetic Micropulsations*, Journal of Geophysical Research, Volume 69, 180.
- Mazur, V. A., and D. A. Chuiko, 2013. *Kelvin-Helmholtz Instability on The Magnetopause, Magnetohydrodynamic Waveguide in The Outer Magnetosphere, and Alfvén Resonance Deep in The Magnetosphere*, Plasma Physics Reports Book Series, Volume 39, Issue 6, p: 488-503.
- Menk, F.W, 2011. *Magnetospheric ULF Waves: A Review*, the Dynamic Magnetosphere IAGA Special Sopron Book Series, Volume 3, 223-256.
- Musafar, L. M, 2009. *Pc3 Magnetic Pulsations Observed by Ground-Based Magnetometer At Biak*, Prosiding Seminar Nasional, Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, 449-452.
- Pranoto, S. C, 2011. *Identifikasi Karakteristik Pulsa Magnet Pc3 Menggunakan Data Magnetometer Landas Bumi Stasiun Biak*, Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Pusat Sains Antariksa, LAPAN, 464-473.
- Pudovkin, M.I., and Shumilov, O.I, 1969. *On The Theory of Polar Substorms*, Annales de Geophysique, Volume 25, N 1, 125-134.
- Taroyan, Y., and M. S. Ruderman, 2011. *MHD Waves and Instabilities in Space Plasma Flows*, Space Science Reviews Book Series, Volume 158, Issues 2-4, 505-523.
- Troitskaya, V. A., and O. V. Bolshakova, 1988. *Diagnostics of The Magnetosphere Using Multipoint Measurements of ULF-Waves*, Advances in Space Research, Volume 8, Issues 9-10, 413-425.
- Vallee, M.A., Larry Newitt., Ian R. Mann., Mouhamed Moussaoui., Re´ Gis Dumont., and Pierre Keating, 2007. *The*

- Spatial and Temporal Characteristics of Pc3 Geomagnetic Activity over Canada in 2000, as a Guide to Planning the Times of Aeromagnetic Surveys*, Pure Appl. Geophys, Volume 164, Issue 1, 161–176.
- Villante, U., P. Francia., M. Vellante, and P. di Giuseppe, 2003. *Some Aspects of the Low Latitude Geomagnetic Response under Different Solar Wind Conditions*, Space Science Reviews, Volume 107, 207–217.
- Yumoto, K., And Saito, T, 1984. *Relationship Between The IMF Magnitude And Pc3 Magnetic Pulsations In The Magnetosphere*, Journal of Geophysical Research, Volume 89, A11, 9731-9740.
- Yumoto, K, 1986. *Generation And Propagation Mechanisms Of Low-Latitude Magnetic Pulsations*, A review, Journal of Geophysical Research, Volume 60,79-105.

ANALISIS PREKURSOR PERISTIWA FLARE/PELONTARAN MASSA KORONA DALAM RANGKA PERINGATAN DINI CUACA ANTARIKSA (THE ANALYSIS OF FLARE/CORONAL MASS EJECTION PRECURSORS RELATED TO THE SPACE WEATHER EARLY WARNING)

Agustinus Gunawan Admiranto¹, Nanang Widodo, Iyus Edi Rusnadi, Heri Sutastio, dan Dasimun

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jalan Dr Djundjuran 133 Bandung 40173 Indonesia

¹e-mail: gunawan.admiranto@lapan.go.id

Diterima: 28 April 2016; direvisi: 3 Juni 2016; disetujui: 14 Juni 2016

ABSTRACT

Based on active regions dynamics we analyzed the precursors of flare/coronal mass ejections. From the assumption that the energy of coronal mass ejection/flare are from magnetic energy conversion that can be deducted from the changes of sunspots area we analyzed some active regions which produced flare/CME to identify the area changes before the occurrence of the event. We found that in general the sunspots area decreased before the flare/CME occurred, so it is concluded that the decrease of sunspots area can be used as precursors of flare/CME.

Keywords: *Sunspots area changes, Flare, Coronal mass ejection, Precursor*

ABSTRAK

Dengan melihat dinamika daerah aktif dilakukan analisis prekursor fenomena *flare*/pelontaran massa korona (CME). Dengan asumsi bahwa energi pelontaran massa korona berasal dari konversi energi magnet yang dilihat dari perubahan luas harian bintik Matahari maka dilakukan analisis perubahan luas harian bintik Matahari pada beberapa daerah aktif yang menghasilkan *flare* dan atau CME untuk melihat bagaimana luas daerah-daerah tersebut berubah menjelang terjadinya fenomena *flare*/CME. Didapat bahwa secara umum luas bintik Matahari mengalami penurunan beberapa saat sebelum peristiwa *flare*/CME ini terjadi. Dari sini dapat disimpulkan bahwa penurunan luas Harian bintik Matahari bisa dijadikan *precursor* atau indikasi akan adanya peristiwa *flare*/CME.

Kata kunci: *Perubahan luas bintik Matahari, Flare, Pelontaran massa korona, Precursor*

1 PENDAHULUAN

Peristiwa pelontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection*, CME) merupakan salah satu peristiwa di Matahari yang dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan antariksa di Bumi serta teknologi di permukaan Bumi. Dampak yang dihasilkannya antara lain adalah gangguan medan magnet Bumi yang bisa mengganggu kinerja satelit atau putusnya jaringan listrik seperti yang pernah terjadi pada Maret 1989 (Cid *et al.*, 2013). Oleh sebab itu, pengetahuan tentang hal-hal yang terkait dengan berbagai peristiwa fisik yang mendahulunya menjadi sangat penting.

Berdasarkan penampakkannya di sekitar piringan okultasi (*occluding disk*) koronagraf, CME bisa digolongkan menjadi CME partial dan CME halo. Penggolongan ini terkait dengan daerah sumber CME, di mana CME yang daerah sumbernya berada didekat garis meridian tengah (*central meridian*) cenderung menghasilkan tipe halo. Sedangkan bila posisi daerah sumber CME lebih dekat ke piringan matahari maka yang teramati adalah tipe parsial. Secara umum, CME tipe halo lebih memiliki kemungkinan memberikan dampak ke Bumi daripada tipe parsial (Wang, *et al.* 2011).

Berbagai penelitian dilakukan untuk meninjau fenomena CME dan dampak yang diberikannya pada lingkungan Bumi. Gopalswamy *et al.* (2009a) melakukan analisis pada 17 CME halo (yang terdapat di piringan dan tepi) yang berlangsung pada siklus Matahari ke 23 dan badai medan magnet

Bumi yang dihasilkannya. Mereka mendapatkan bahwa CME halo tepi memiliki *geoeffectiveness* lebih rendah daripada CME halo piringan. Selain itu waktu tunda memiliki nilai sekitar 20% lebih kecil pada CME halo tepi daripada CME halo piringan.

Pada kesempatan lain, Fainshtein dan Egorov (2015) melakukan analisis pada CME yang berlangsung di tepi piringan Matahari dan mempelajari pergerakannya. Semua CME ini berlangsung setelah terjadinya *prominence* eruptif dan terkait dengan *flare* sinar X. Mereka mendapatkan adanya korelasi positif antara ketinggian CME dengan struktur awal CME sebelum fenomena ini mulai bergerak.

Grechnev *et al.* (2014) melakukan penelitian pada sumber di Matahari yang menghasilkan badai medan magnet Bumi yang berlangsung pada 20 November 2013. Mereka mendapatkan bahwa pada 18 November 2003 di Matahari berlangsung sebuah peristiwa eruptif di daerah aktif AR 10501 (sebuah CME halo piringan) pada pukul 07:29 UT. Ternyata peristiwa ini adalah sebuah CME yang terkait dengan *flare* kelas M1.2 dan selanjutnya diikuti dengan semburan radio tipe II dan IV. Selanjutnya mereka melakukan analisis lebih lanjut pada CME tersebut dan didapat bahwa fenomena ini memancarkan partikel-partikel energi tinggi yang sampai di daerah sekitar Bumi dan menghasilkan badai medan magnet Bumi sebagaimana teramati pada 20 November 2013. Penelitian mereka ini

ternyata sesuai dengan penelitian Gopalswamy *et al.* (2013) di atas yang mengatakan bahwa CME halo piringan memiliki kemungkinan lebih besar untuk menghasilkan sebuah badai medan magnet Bumi.

Salah satu penanda adanya daerah aktif di Matahari adalah adanya bintik matahari. Oleh sebab itu, beberapa peneliti juga melakukan analisis hubungan CME dengan bintik matahari seperti yang dilakukan Gopalswamy *et al.* (2009b) dengan memanfaatkan data CME yang sudah diamati oleh SOHO/LASCO dan disimpan dalam katalog (Gopalswamy *et al.*, 2009c). Di sini mereka mendapatkan bahwa pola sebaran CME mirip dengan pola sebaran bintik matahari dalam bentuk diagram kupu-kupu. Ini menyarankan bahwa sebagian besar CME datang dari daerah-daerah aktif.

Dumbovic *et al.* (2014) menggunakan data CME yang diambil dari SOHO/LASCO dalam kurun waktu Januari 1996 sampai 30 Juni 2011 melakukan analisis statistik untuk melihat kaitan antara *flare*/CME dengan Dst. Mereka menggunakan sampel 1392 CME dan 1617 *flare* yang berarti ada beberapa CME yang terkait dengan lebih dari satu *flare*. Dari analisis ini mereka mendapatkan bahwa parameter badai medan magnet Bumi memiliki kaitan dengan beberapa parameter seperti kecepatan awal CME, sudut dan posisi, serta kelas *flare*. Analisis mereka juga menunjukkan bahwa interaksi antar CME memiliki korelasi positif dengan badai yang kuat. Selanjutnya, mereka mendapatkan juga bahwa CME bukan halo yang terkait dengan *flare* kelas B atau C cenderung tidak akan menghasilkan badai kuat.

Yang diuraikan di atas terkait dengan upaya untuk mendapatkan informasi awal mengenai mekanisme yang memunculkan sebuah peristiwa CME. Ini penting untuk ditelaah lebih lanjut karena bila *precursor* atau mekanisme dan proses fisis yang mendahului sebuah CME bisa diketahui,

maka prakiraan terjadinya sebuah CME diperoleh. Ini terkait pula dengan fakta bahwa penjalaran plasma CME dari matahari memerlukan waktu tertentu untuk bisa sampai di Bumi dan memberikan dampak yang bisa teramati. Pada peristiwa CME yang terjadi pada 29 Oktober 2003 (*Halloween Flare*), waktu tempuh ini adalah sekitar 19 jam (Tsurutani *et al.* (2005). Dengan demikian masih ada kesempatan bagi para peneliti untuk memberikan peringatan dini tentang sebuah peristiwa erupatif yang berlangsung di Matahari yang diduga bisa memberikan dampak yang signifikan di Bumi. Penelitian ini berupaya mendapatkan informasi mengenai mekanisme yang terjadi sebelum peristiwa CME berlangsung dengan melihat fenomena daerah aktif yang tampil dalam dinamika bintik matahari.

2 DATA DAN METODOLOGI

Data yang dipakai dalam penelitian ini diambil dari *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO), dan *Transition Region and Coronal Explorer* (TRACE) yang diambil dalam kurun 1998 sampai 2004. Penitikberatan analisis adalah pada kelompok bintik matahari yang memiliki ukuran luas yang cukup signifikan atau memiliki konfigurasi medan magnet yang cukup kompleks.

Prekursor CME yang terkait dengan *flare* besar (M/X), dapat ditelusuri dari evolusi bintik matahari dari hari ke hari, atau beberapa jam selang citra. *Data Solar Region Summary* adalah data harian, sehingga perubahan yang terjadi dalam waktu kurang dari 24 jam tidak tampak. Oleh sebab itu, kejadian *flare* yang tercatat harian harus diartikan sebagai peristiwa yang terjadi dalam 24 jam terakhir. Perubahan morfologi bintik matahari (luas, panjang dalam arah bujur, jumlah bintik matahari, kelas McIntosh dan tipe magnetik) dari hari ke hari, harus dibaca sebagai perubahan dalam 24 jam. Perubahan morfologi inilah yang dapat dijadikan sebagai

pendeteksi adanya prekursor *flare* yang disertai CME.

Metodologi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- (a) Menghitung luas daerah aktif (bintik matahari) dan perubahannya dari waktu ke waktu. Penambahan luas harian menunjukkan terjadinya peningkatan energi medan magnet dan penurunannya menunjukkan adanya peluruhan energi medan magnet;
- (b) melakukan perhitungan untuk menentukan peningkatan atau penurunan jumlah bintik matahari di daerah aktif. Hal ini terkait dengan kemungkinan terjadinya rekoneksi medan magnet melalui *loop-loop interaction* yang bisa memicu terjadinya CME;
- (c) melakukan analisis data SOHO (LASCO, EIT, MDI) untuk mengetahui terjadinya CME dan menentukan daerah sumber CME. Posisi daerah sumber CME terkait dengan kemungkinan dampak CME tersebut pada Bumi (*geoeffectiveness*);

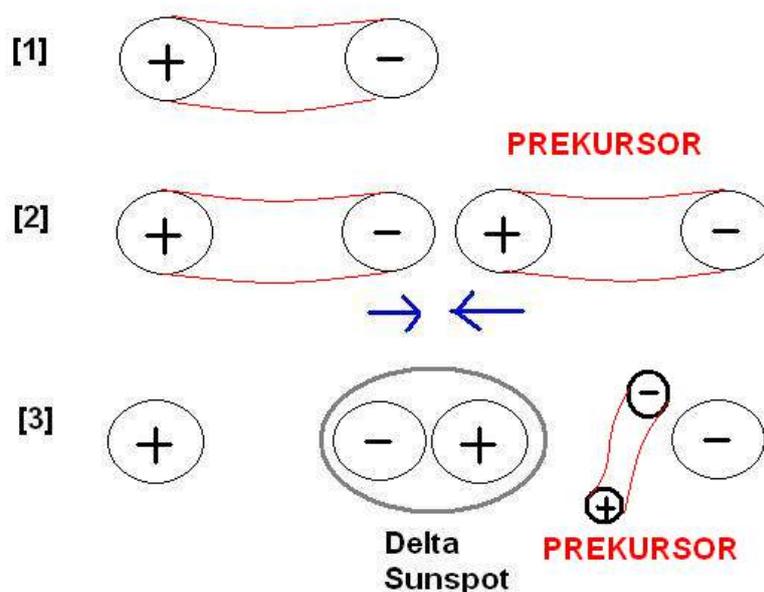
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan luas harian bintik Matahari dapat diartikan sebagai adanya penambahan energi magnet bintik matahari bila luas meningkat, sedangkan apabila luas menurun diartikan sebagai pelepasan energi magnet bintik Matahari dalam bentuk *flare* yang disertai/tidak disertai CME. Akan tetapi, ini tidak menutup kemungkinan pada saat luas meningkat karena jumlah *sunpot* bertambah bisa terjadi peristiwa *flare*. Dalam kasus ini peningkatan jumlah bintik matahari dalam grup diartikan sebagai peningkatan kompleksitas topologi medan magnet bintik matahari, yang berarti kemungkinan terjadinya rekoneksi akibat dari interaksi antar-*loop* medan magnet (*loop-loop interaction*) yang semakin besar sehingga terjadi *flare*. Penurunan jumlah bintik matahari juga dapat dijadikan

sebagai indikator telah terjadinya pelepasan energi medan magnet, karena setelah *flare* ada kecenderungan topologi medan magnet menuju kesetimbangan baru sehingga sistem cenderung menuju ke kondisi yang paling stabil (energi magnet terendah).

Perubahan kelas McIntosh (tiga karakter, misal Dkc, Fkc) atau kelas Zurich (satu karakter, A- F, H), memberikan informasi tentang morfologi (luas, panjang arah bujur dan jumlah bintik matahari, atau bentuk bintik matahari). Perubahan kelas bintik matahari dari A ke D dalam waktu dua hari memberikan indikasi kuat potensi bintik matahari untuk menjadi sangat produktif dalam menghasilkan *flare*. Perubahan dari D ke E merupakan “*warning*” bahwa bintik matahari akan mungkin menghasilkan *flare* besar. Dan apabila perubahan dari D ke F sangat cepat, maka jumlah *flare* besar yang dihasilkan cenderung lebih banyak, seperti terjadi pada kasus NOAA 10484, 10486 dan 10488, pada Oktober-November 2003.

Seperti tampak pada Tabel 3-1, NOAA 10484 dan 10486 telah berevolusi menjadi tipe magnet Beta-Gamma-Delta, konfigurasi medan magnet yang sangat potensial menghasilkan CME karena ada dua polaritas positif dan negatif yang berada pada satu penumbra. Gerak relatif polaritas positif yang mendekati (tumbukan) polaritas negatif akan cenderung menghasilkan *magnetic stress* yang tinggi sehingga medan magnet berada pada kondisi sangat tidak stabil sehingga akan mudah terjadi rekoneksi medan magnet yang menghasilkan *flare* besar (kelas M atau X) yang kemungkinan besar akan disertai CME. Dengan demikian, evolusi menuju tipe Beta-Gamma-Delta merupakan PREKURSOR CME yang terkait dengan *flare* besar. Gambar 3-1 memperlihatkan proses pembentukan bintik matahari kelas delta.



Gambar 3-1: Evolusi bintang matahari menuju tipe magnet Delta akibat dari tumbukan dua *coronal loops* dengan polaritas yang berbeda. Munculnya tabung medan magnet baru di dekat Delta bintang matahari dapat dijadikan sebagai Prekursor Flare yang disertai CME

3.1 STUDI KASUS PREKURSOR CME

Studi kasus untuk bintang matahari yang dikategorikan sebagai daerah super-aktif dilakukan pada NOAA 10484 dan 10808. Kedua daerah super-aktif ini muncul pada saat siklus matahari berada pada fase menurun (2003-2005).

Kasus #1. NOAA 10484

Contoh hasil *plot* parameter bintang matahari NOAA 10484 diberikan pada Gambar 3-2. Luas bintang matahari mengalami perubahan dari 200 MSH pada 19 Oktober hingga mencapai 1800 MSH pada 22 Oktober (3 hari). Pertumbuhan yang sangat cepat. Ini menandakan ada *magnetic flux emergence* yang berlangsung cepat. Panjang grup bintang matahari pada arah bujur juga membesar dan mencapai puncak pada 22 Oktober. Jumlah bintang matahari mengalami kenaikan dari 20 pada 19 Oktober hingga 70 pada 22 Oktober. Luas bintang matahari relatif besar [> 1000 *millionth of solar hemisphere* (MSH) atau perseribu luas setengah piringan Matahari] hingga 29 Oktober. Ini menandakan bintang matahari mempunyai energi medan magnet yang

besar. Panjang grup pada arah bujur mengalami penurunan, demikian pula jumlah bintang matahari. Ini berarti bahwa terjadi pelepasan energi magnetik dalam bentuk *flare* pada bagian Timur atau Barat grup bintang matahari. Kenaikan jumlah bintang matahari menunjukkan kenaikan dalam kompleksitas konfigurasi medan magnet yang dapat memicu adanya rekoneksi medan magnet sehingga terjadi *flare*. Tipe magnet Beta-Gamma-Delta telah terbentuk sejak 20 Oktober 2003 hingga 29 Oktober 2003.

Berdasarkan hasil studi kasus, maka dapat diterapkan kriteria prekursor peristiwa *flare* besar yang disertai CME sebagai berikut:

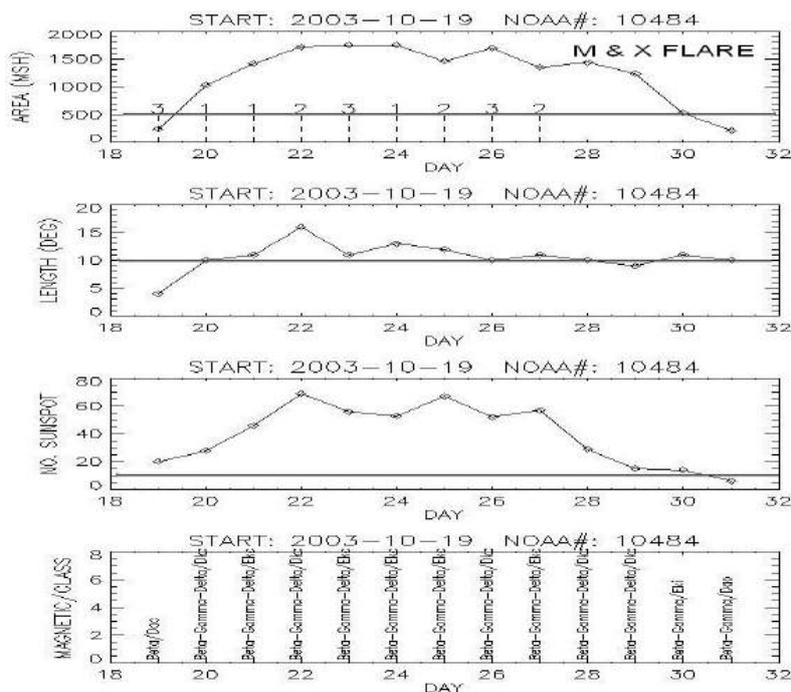
AREA > 500 MSH

PANJANG ARAH BUJUR > 10 DERAJAT

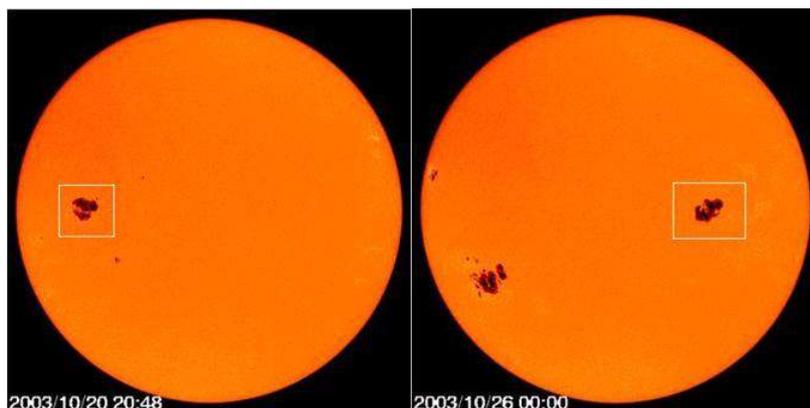
JUMLAH BINTIK MATAHARI DALAM GRUP > 10

TIPE MAGNET: BETA-GAMMA-DELTA

Pada Gambar 3-2, kriteria nilai ambang ini ditampilkan sebagai garis mendatar.



Gambar 3-2: Evolusi bintik matahari NOAA 10484 dari 19 – 31 Oktober 2003: luas dalam *Millionths of Solar Hemisphere* (MSH), panjang arah bujur dalam derajat, jumlah bintik dalam grup dan tipe magnetic/kelas McIntosh



Gambar 3-3: Kelompok bintik matahari NOAA 10484 (kotak) diamati oleh SOHO/MDI Continuum pada 20 dan 26 Oktober 2003

Pada Gambar 3-3, diberikan citra *full-disk* dari pengamatan SOHO/MDI A Continuum pada 20 dan 26 Oktober 2003. Tampak adanya perubahan pada bentuk dan luas bintik matahari yang cenderung meningkat, menunjukkan adanya *magnetic flux emergence*.

Kasus #2. NOAA 10808

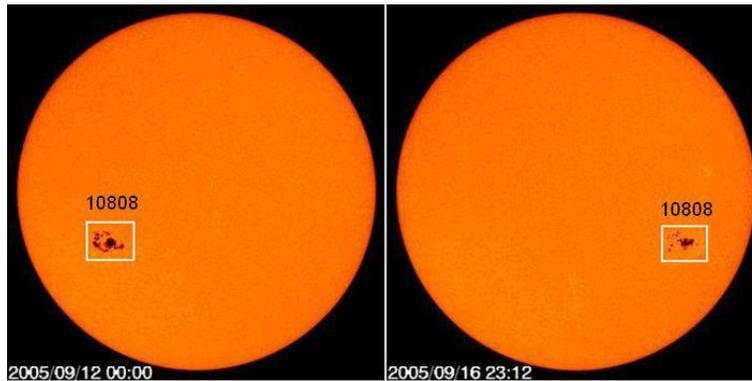
Pada 8 September 2005, bintik matahari mempunyai tipe magnet Alpha. Karena posisinya berada di dekat tepi Timur matahari, pengukuran luas, panjang dan jumlah bintik matahari tidak dapat dilakukan dengan akurat. Pada hari berikutnya, ada peningkatan tipe

magnet menjadi Beta-Gamma (9/9) dan menjadi Beta-Gamma-Delta 10 – 17 September 2005. Luas bintik matahari naik menjadi 500 MSH pada (9/9) dan meningkat lagi menjadi 1500 MSH (10/9) kemudian menurun namun tetap di atas 1000 MSH (12/9), *flare* besar (kelas M & X) terjadi ketika luas bintik matahari lebih besar dari 500 MSH, panjang lebih besar dari 10 derajat, jumlah bintik matahari lebih dari 10, tipe magnet Beta-Gamma atau Beta-Gamma-Delta dan kelas Zurich E atau F. Sebagai rangkuman, NOAA 10808 mempunyai aktivitas sebagai berikut:

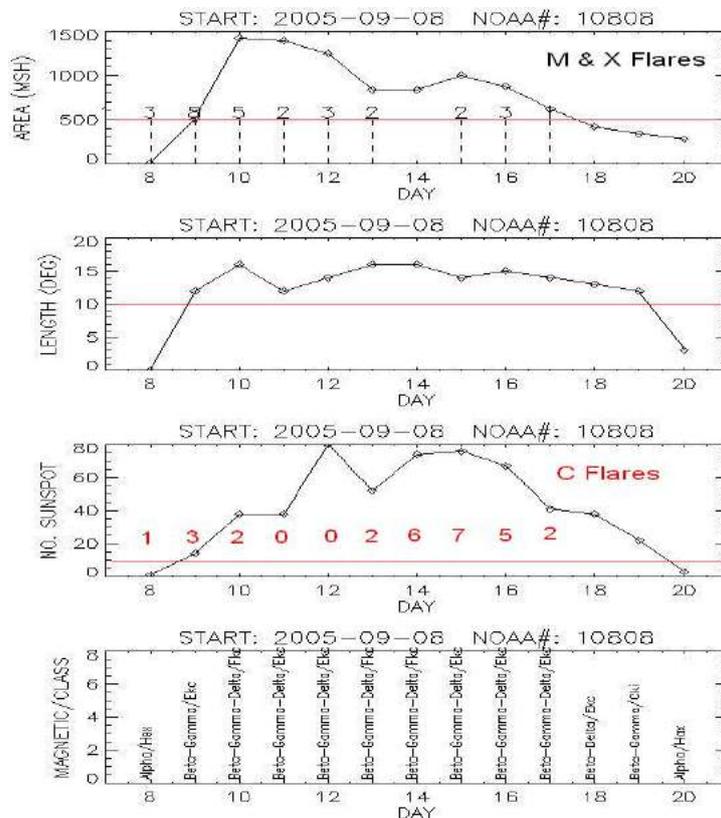
- Menghasilkan *flare*: 29 kelas C, 20 kelas M dan 10 kelas X dalam rentang: 7 – 17 September 2005 (10 hari) atau 3 *flare* besar setiap hari.
- *Flare* X17 pada 7 September 2005, super-*flare* terjadi karena adanya konsentrasi *fluks* medan magnet pada satu bintik matahari grup (tidak ada grup bintik matahari lain).
- NOAA 10808 lahir pada sisi belakang Matahari, dan berevolusi sangat cepat

sehingga menjadi daerah super-aktif pada sisi matahari yang menghadap ke Bumi.

- Fakta tersebut menunjukkan bahwa meskipun matahari dalam fase siklus menurun (2003-2005), namun daerah super-aktif masih terbentuk dan memberikan potensi gangguan pada lingkungan antariksa dan Bumi dalam bentuk *flare* besar dan CME.



Gambar 3-4: NOAA 10808 hasil pengamatan SOHO/MDI Continuum pada 12 September dan 16 September 2005. Perubahan bentuk grup bintik matahari tampak jelas dalam kurun waktu 4 hari, menunjukkan peluruhan medan medan magnet akibat dari pelepasan energi dalam bentuk *flare* besar (M dan X)



Gambar 3-5: Perubahan parameter bintik matahari (luas, panjang, jumlah bintik matahari dan tipe magnet dan kelas McIntosh dari NOAA 10808 dibandingkan dengan jumlah kejadian flare kelas C, M dan X

3.2 Tinjauan Daerah Aktif yang Menghasilkan Flare Kelas X>3 Dalam Kurun Waktu 1998-2004

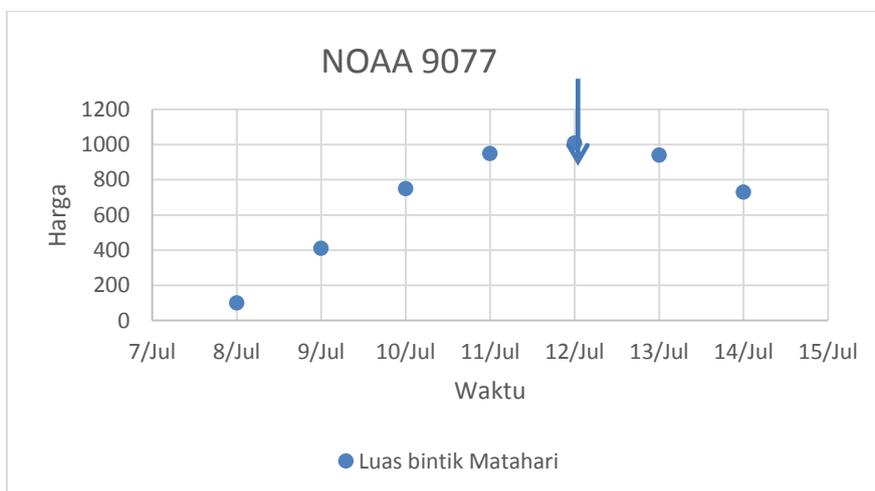
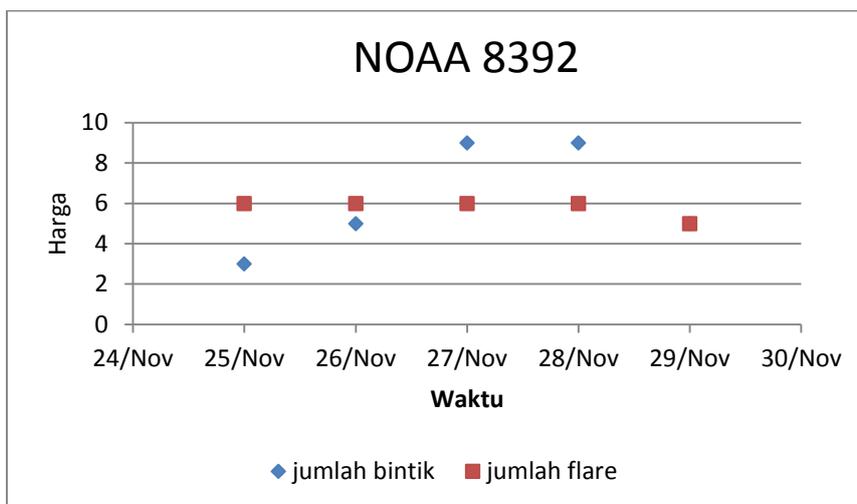
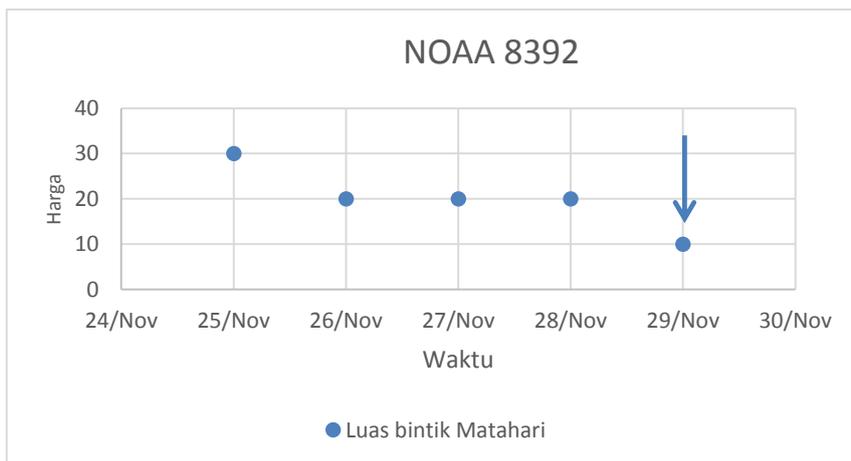
Selanjutnya, untuk mendapatkan gambaran yang lebih menyeluruh tentang bagaimana proses evolusi medan magnet daerah aktif yang akan memicu terjadinya CME, dilakukan analisis terhadap daerah-daerah aktif dalam kurun 1998-2004 yang memiliki flare kelas X > 3. Di sini akan dilihat bagaimana daerah aktif itu berevolusi selama beberapa hari sebelum flare terjadi, dan ditinjau proses perubahan luas, jumlah bintik matahari, dan jumlah flare yang berlangsung selama

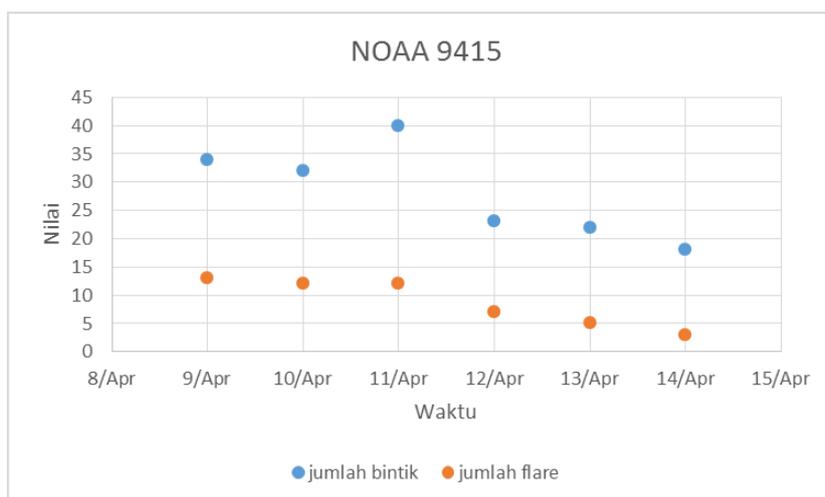
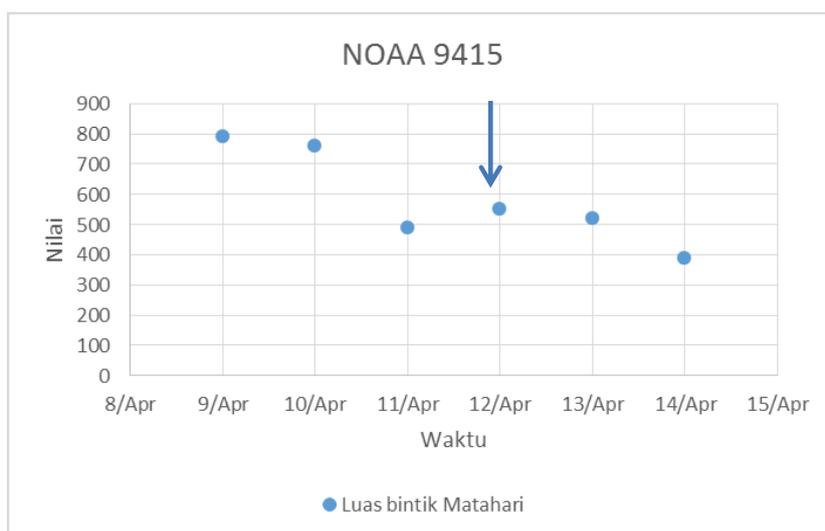
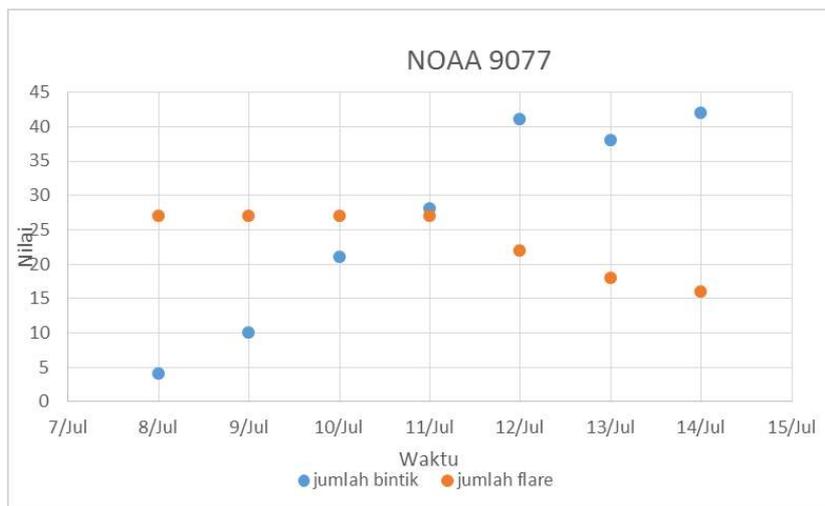
kurun waktu itu. Daerah-daerah aktif yang dimaksud bisa dilihat di Tabel 3-1.

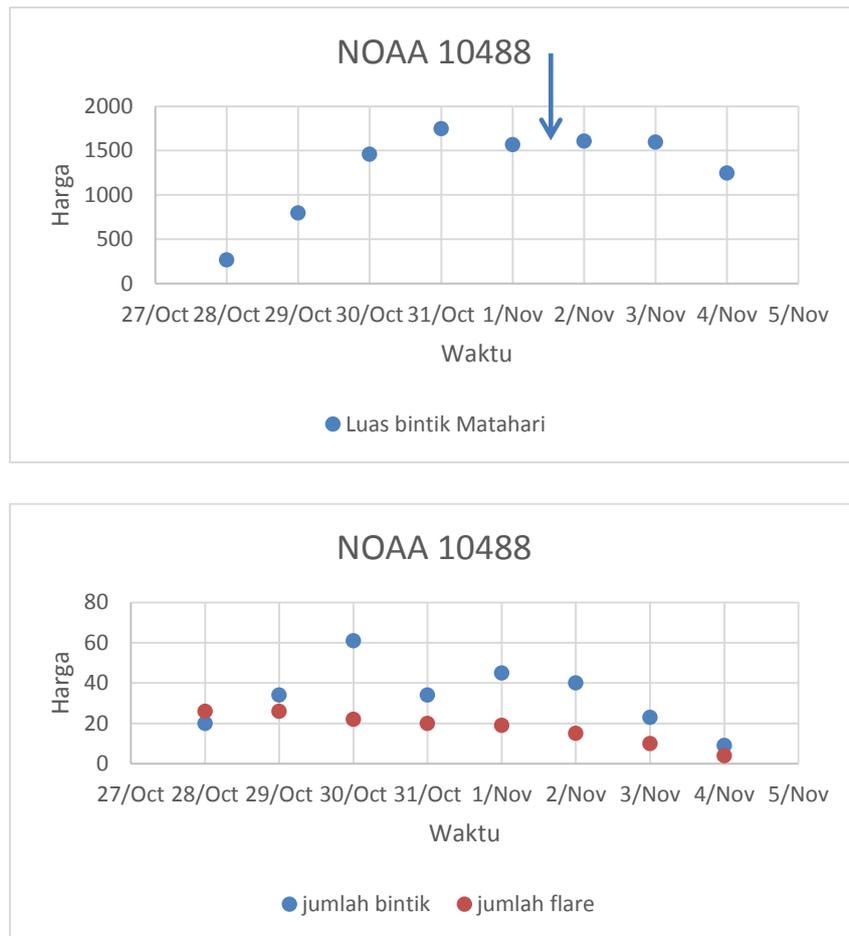
Kemudian, untuk masing-masing daerah aktif tersebut di atas evolusi daerah aktif selama 5 hari sebelum flare terjadi diamati, dengan melihat perubahan luas daerah aktif, jumlah bintik matahari, dan jumlah flare yang terjadi pada kurun itu. Gambar 3-6 di bawah menunjukkan perubahan yang berlangsung pada beberapa daerah aktif terpilih. Yang dipilih di sini adalah yang tampak sangat jelas menunjukkan penurunan luas daerah aktif beberapa saat sebelum flare terjadi.

Tabel 3-1: DAFTAR DAERAH AKTIF DALAM KURUN WAKTU 1998-2004 DENGAN KELAS SINAR X FLARE > 3

Tanggal	NOAA	Puncak	Kelas flare
22-Nov-98	8392	6:42:00	X3.7
28-Nov-98	8395	5:52:00	X3.3
14-Jul-00	9077	10:24:00	X5.7
15-Apr-01	9415	13:50:00	X14.4
25-Aug-01	9591	16:45:00	X5.3
15-Jul-02	10030	20:08:00	X3.0
23-Jul-02	10035	0:35:00	X4.8
24-Aug-02	10085	1:12:00	X3.1
23-Oct-03	10484	8:35:00	X5.4
28-Oct-03	10484	11:10:00	X17.2
29-Oct-03	10486	20:49:00	X10.0
02-Nov-03	10488	17:25:00	X8.3
04-Nov-03	10488	19:50:00	X28
04-Nov-03	10488	19:53:00	X17.4
16-Jul-04	10649	13:55:00	X3.6







Gambar 3-6: Proses evolusi beberapa daerah aktif yang menghasilkan *flare* dengan kelas X >3 dalam kurun waktu 1998-2004. Tanda panah menunjukkan saat *flare* terjadi. Luas harian bintik Matahari dinyatakan dalam satuan per sejuta luas permukaan Matahari

Dari gambar-gambar tersebut di atas, tampak bahwa secara umum jumlah bintik matahari mencapai puncaknya 1-2 hari sebelum *flare* terjadi. Demikian juga, luas daerah aktif mengalami kenaikan sejak diamati, tetapi 1-2 hari sebelum *flare* terjadi kenaikannya tidak terlalu signifikan. Hal ini juga terjadi pada perubahan jumlah *flare*.

Dari analisis tersebut di atas, tampak bahwa pengamatan pada daerah aktif secara kontinu bisa dipakai sebagai salah satu sarana dalam membuat pra kiraan tentang *flare* atau CME yang akan terjadi.

Dari beberapa pengamatan di atas tampak bahwa terjadinya *flare* bisa diduga dengan melakukan pengamatan pada satu kelompok bintik Matahari selama beberapa hari. Meskipun demikian, penggunaan cara ini dalam

membuat prakiraan tentang saat terjadinya *flare* tidak bisa lebih teliti dari satu hari karena data yang dipakai hanya berselang satu hari.

Selain itu, dari berbagai data yang diamati, tampak bahwa peristiwa terjadinya *flare* tidak selalu didahului dengan kecenderungan menurunnya luas daerah aktif beberapa hari sebelum *flare* terjadi.

4 KESIMPULAN

Pelontaran massa korona (CME) dan *flare* adalah dua gejala di matahari yang bisa memberikan dampak cukup besar bagi Bumi. Analisis pada daerah-daerah aktif yang memiliki kemungkinan cukup besar untuk menghasilkan dua gejala ini patut dilakukan dalam rangka mendapatkan informasi mengenai prekursor peristiwa CME dan *flare* tersebut.

Dalam hubungan ini, analisis pada daerah-daerah super aktif (seperti pada daerah yang menghasilkan *flare Halloween* dan *flare Hari Bastille*) serta daerah-daerah aktif lainnya memberikan kesempatan cukup luas dalam menelaah prekursor kedua peristiwa tersebut. Seperti yang terlihat pada Gambar 3-6 di atas, pengamatan pada evolusi daerah aktif selama beberapa waktu bisa memberikan informasi mengenai kapan peristiwa CME atau *flare* tersebut berlangsung. Informasi ini cukup penting untuk memberikan semacam peringatan dini tentang akan terjadinya CME atau *flare* tersebut.

Analisis pada perubahan luas daerah aktif yang diduga akan menghasilkan *flare* perlu dilakukan dengan lebih mendalam, terutama pada daerah-daerah aktif yang cukup kompleks kelas magnetiknya. Ini terutama untuk mempelajari dengan lebih mendalam perilaku daerah-daerah aktif tersebut, mengapa ada yang mengalami penurunan luas dan ada yang tidak mengalami penurunan luas sebelum *flare* terjadi.

Lalu apa yang sebenarnya terjadi dalam proses peluruhan bintik matahari yang kemudian diikuti dengan ledakan *flare* atau pancaran CME. Apakah memang ada hubungan kausal antara keduanya?

Beberapa peneliti telah mencoba mencari hubungan antara peluruhan daerah aktif dengan peristiwa ledakan *flare* dan CME. Salah satu di antaranya adalah Zhang *et al.* (2001) yang melakukan analisis pada peristiwa *flare* dan CME 14 Juli 2000 (Peristiwa Hari Bastille) yang berlangsung di daerah aktif NOAA 9077.

Mereka mengamati bahwa medan magnet yang terdapat di daerah aktif tersebut saling meniadakan saat garis-garis gayanya mengalami rekoneksi. Hal ini kemudian tampil dalam berkurangnya luas daerah aktif, khususnya daerah bintik matahari karena energi medan

magnet yang ada di situ kemudian berubah menjadi energi kinetik partikel dan radiasi dan kemudian muncul dalam bentuk *flare* dan pelontaran massa korona. Wang dan Shi (1993) mengusulkan proses rekoneksi yang berlangsung dalam dua langkah, yaitu yang berlangsung di daerah fotosfer yang berlangsung secara lambat dan bersifat kontinu. Rekoneksi lambat ini mengubah energi medan magnet menjadi panas dan energi kinetik, dan selanjutnya proses ini menghantarkan energi magnet dan kompleksitas medan magnet ke daerah atmosfer yang lebih tinggi, yaitu ke korona. Di daerah ini berlangsung rekoneksi tahap kedua yang bersifat eksplosif dan teramati dalam bentuk *flare* atau CME.

Terkait dengan analisis perubahan luas daerah aktif, diperlukan telaah yang lebih mendalam mengenai evolusi medan magnet daerah aktif itu sebelum *flare* terjadi. Diharapkan ini bisa menjawab pertanyaan mengapa tidak semua *flare* didahului dengan peristiwa penurunan luas daerah aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

A.G.A. mengucapkan terima kasih kepada E. Sungging Mumpuni dan R. Priyatikanto atas diskusi-diskusinya yang cukup mencerahkan.

DAFTAR RUJUKAN

- Cid, C., Palacios, J., Saiz, E., Cerrato, Y., Aguado, J., Guerrero, A., 2013. *Modeling the Recovery Phase of Extreme Geomagnetic Storms*, Journal of Geophysical Research: Space Physics, vol. 118, 4352–4359.
- Dumbovic, M. Devos, A., Vrsnak, B., Sudar, D., Rodriguez, L., Ruzdjak, D., Leer, K., Vennerstrøm, S., Veronig, A., 2014. *Geoeffectiveness of Coronal Mass Ejections in the SOHO Era*, Solar Physics 290 (2), 579-612.
- Fainshtein, V.G., Egorov, Ya I., 2015. *Initiation of CMEs Associated with Filament Eruption*, and the nature of CME

- related shocks, *Advances in Space Research*, Volume 55, Issue 3, 798-807.
- Gopalswamy, N., Yashiro, Xie, H., S., Akiyama, S., Makela, P., 2009a. *Large Geomagnetic Storms Associated with Limb Halo Coronal Mass Ejection*, *Advances in Geosciences vol. 21: Solar and Terrestrial Science*, ed. Marc Duldig, World Scientific Publishing Company.
- Gopalswamy, N., Akiyama, S., Yashiro, S., Makela, P., 2009b. *Coronal Mass Ejections from Sunspot and non-Sunspot Regions "Magnetic Coupling between the Interior and the Atmosphere of the Sun"*, ed. S. S. Hasan dan R. J. Rutten, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michalek, G., et al., 2009c. *The SOHO/LASCO CME Catalog*, *Earth Moon and Planets*, 104, 295.
- Grechnev, V.V., Uralov, A.M., Chertok, I.M., Slemzin, V.A., Filippov, B.P., Egorov, Ya. I., Fainshtein, V.G., Afanasyev, A.N., Prestage, N.P., Temmer, M., 2014. *A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm*, II. CMEs, Shock Waves, and Drifting Radio Bursts, *Solar Physics*, Volume 289, Issue 4, 1279-1312.
- Tsurutani, B. T., Judge, D. L., Guarnieri, F. L., Gangopadhyay, P. Jones, A. R., Nuttall, J., Zambon, G. A., Didkovsky, L., Mannucci, A. J., Iijima, B., Meier, R. R., Immel, T. J., Woods, T. N., Prasad, S., Floyd, L., Huba, J., Solomon, S. C., Straus, P., Viereck, R., 2005. *The October 28, 2003 Extreme EUV Solar Flare and Resultant Extreme Ionospheric Effects: Comparison to Other Halloween Events and The Bastille Day Event*, *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L03S09.
- Wang, J., Shi, Z., 1993. *The Flare-Associated Magnetic Changes in Active Regions*, II Flux Emergences and Cancellation, *Sol. Phys.* 143, 119.
- Y. Wang, Chen, C., Gui, B., Shen, C., Ye, P., and Wang, S., 2011. *Statistical Study of Coronal Mass Ejection Source Locations: Understanding CMEs Viewed in Coronagraphs*, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116 (A12).
- Zhang, J., Wang, J., Deng, Y., Wu, D., 2001. *Astrop. J. Lett.* 548, L99.

**VARIASI DIURNAL DAN MUSIMAN
KEMUNCULAN LAPISAN E-SPORADIS DI ATAS SUMEDANG
TAHUN 2015
(DIURNAL AND SEASONAL VARIATION OF
THE OCCURRENCE OF SPORADIC-E LAYER OVER SUMEDANG
IN 2015)**

Rhorom Priyatikanto¹, Farahhati Mumtahana, dan Mumen Tarigan

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan 133 Bandung 40173 Indonesia

¹e-mail: rhorom.priyatikanto@lapan.go.id.

Diterima: 29 April 2016; Direvisi: 6 Juni 2016; Disetujui: 21 Juni 2016

ABSTRACT

Wind shear has been believed as the main mechanism behind the occurrence of E-sporadic layer in 90-120 km altitude. The occurrence of this layer is related to gravity wave, tidal wave, and global-scale atmospheric wave (planetary wave) with different periodicity. Meteor showers that happen annually may also influence the occurrence probability of E-sporadic layer, while Solar and geomagnetic activity contribute less significantly. In this article, E-Sporadic data obtained in Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang, Jawa Barat in 2015 was studied. The main purpose of the study is to understand the characteristics and occurrence pattern of E-sporadic layer in low-latitude region. Conclusions can be deduced from the conducted analyses. Percentage of occurrence of E-sporadic layer (P) is relatively high during May-July and December-January period. The occurrence of E-sporadic layer with critical frequency higher than 2 MHz can be as high as 97%. The observed diurnal variation is the increase of P before midday followed by a significant decrease at 12:00 local time. The value of P rises again and peaks at around 16:00 local time and then declines as the photoionization rate diminishes through time. During May-July, E-sporadic layer with frequency above 6 MHz also occurred in night time. Further examinations are required to analyse the relation between E-sporadic occurrence during those time windows and the activity of high-flux meteor shower. Besides, diurnal and seasonal variations concluded in this study are expected to become reference for space weather forecast which is demanded by stakeholders.

Keyword: *Ionosphere, Sporadic-E, Occurrence statistics*

ABSTRAK

Gesekan angin (*wind shear*) telah lama dipercaya sebagai mekanisme penyebab kemunculan lapisan E-Sporadis pada ketinggian 90-120 km. Kemunculan lapisan ini berkaitan dengan gelombang gravitasi, gelombang pasang-surut, serta gelombang atmosfer skala global (*planetary wave*) dengan perulangan yang berbeda. Hujan meteor yang terjadi setiap tahun juga dapat mempengaruhi probabilitas kemunculan lapisan E-Sporadis, sementara aktivitas Matahari dan geomagnet tidak banyak memberikan pengaruh. Pada artikel kali ini, data E-Sporadis hasil pengamatan di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang, Jawa Barat sepanjang tahun 2015 telah dipelajari. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui karakteristik dan pola kemunculan lapisan E-Sporadis di daerah lintang rendah. Beberapa kesimpulan dapat dideduksi dari analisis yang dilakukan. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) cukup tinggi pada bulan Mei-Juli serta Desember-Januari. Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis lebih dari 2 MHz dapat mencapai 97%. Variasi diurnal yang teramati adalah peningkatan nilai P menjelang tengah hari yang diikuti penurunan sekitar pukul 12:00 waktu lokal. Nilai P kembali naik dan memuncak pada pukul 16:00 waktu lokal lalu menurun seiring berkurangnya laju ionisasi oleh radiasi Matahari. Pada bulan Mei-Juli, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 6 MHz juga muncul pada malam hari. Pemeriksaan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kaitan antara kemunculan E-Sporadis pada rentang waktu tersebut dan aktivitas hujan meteor dengan fluks tinggi. Selain itu, variasi diurnal dan musiman yang diperoleh dalam studi ini dapat menjadi rujukan bagi proses ramalan cuaca antariksa yang diperlukan bagi sejumlah *stakeholder*.

Kata kunci: *Ionosfer, E-Sporadis, Statistik kemunculan*

1 PENDAHULUAN

Ionosfer merupakan bagian dari atmosfer Bumi bagian atas yang banyak berisikan ion sebagai produk fotoionisasi oleh sinar ultraviolet Matahari atau proses ionisasi lainnya (misalnya ablasi meteor). Ionosfer dapat dikategorikan menjadi sejumlah lapisan dengan karakteristik yang berbeda bila dilihat dari ketinggian dan kerapatannya, yakni lapisan D, E, dan F. Lapisan E berada pada ketinggian relatif rendah, yakni antara 90 hingga 130 km serta ketebalan 2 hingga 10 km. Kemunculan lapisan ini bersifat sporadis dan berkaitan erat dengan akumulasi ion metal dan molekuler pada ketinggian tersebut. Studi karakterisasi lapisan E-Sporadis telah banyak dilakukan, terutama berdasarkan pengamatan pada panjang gelombang radio menggunakan ionosonda, *incoherent scatter radar*, dan juga *backscatter radar* (Mathews, 1998).

Pembentukan lapisan E-Sporadis telah diulas oleh Whitehead (1989) dan juga Mathews (1998). Gesekan angin (*wind shear*) yang timbul karena variasi

kecepatan angin sebagai fungsi ketinggian dipercaya bertanggung jawab atas akumulasi ion yang akan membentuk lapisan E-Sporadis pada ketinggian 90-130 km. Akumulasi ion dapat terjadi akibat pergeseran pada arah vertikal (*vertical drift*) yang dipicu oleh angin netral arah utara-selatan (*meridional wind*) dan arah timur-barat (*zonal wind*) serta arah medan magnet Bumi. Dalam proses ini, gelombang pasang surut, gelombang gravitasi, dan juga gelombang skala global (*planetary wave*) juga memiliki peran yang amat penting (Lastovicka, 2006). Beberapa studi telah menunjukkan perulangan dengan periode 12 jam dan 24 jam yang menekankan pentingnya gelombang pasang surut serta perulangan dengan periode 2, 5, dan 10 hari yang berkaitan dengan kejadian *planetary wave* (Pezzopane et al., 2016 dan referensi di dalamnya).

Dinamika mesofer dan termosfer bawah telah dikonfirmasi memiliki kaitan erat dengan kemunculan lapisan E-Sporadis. Sebaliknya, aktivitas

Matahari dan geomagnet memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap lapisan ini. Di lintang menengah, khususnya di atas Roma, Italia, Pietrella & Bianchi (2009) menyimpulkan bahwa frekuensi kemunculan lapisan E-Sporadis saat fase maksimum dan minimum aktivitas Matahari tidak jauh berbeda. Kesimpulan yang hampir sama diperoleh ketika menelaah frekuensi kemunculan lapisan E-Sporadis dengan beragam kondisi geomagnet. Meski demikian, terdapat indikasi hubungan yang cukup signifikan antara aktivitas geomagnet dan kemunculan lapisan E-Sporadis di lintang rendah (Closs, 1969). Sejalan dengan kesimpulan tersebut, Ednofri & Suhartini, (2008) menunjukkan bahwa frekuensi kritis lapisan E di Kototabang ($0,2^{\circ}$ LS) saat tengah hari memiliki korelasi positif terhadap aktivitas Matahari (terutama F10.7). Namun, korelasi tersebut tidak sebaik hubungan untuk frekuensi kritis lapisan F.

Aktivitas antariksa yang dipercaya memberikan pengaruh yang cukup signifikan adalah hujan meteor. Ablasi meteor menghasilkan deposit ion logam dan molekuler pada ketinggian sekitar 100 km sebagai *reservoir* ion dengan kala hidup lebih panjang yang akan menyuplai lapisan E-Sporadis (McNeil, 2001). Hujan meteor dengan intensitas tinggi dapat meningkatkan probabilitas kemunculan lapisan E-Sporadis (misalnya Chandra et al., 2001; Ma et al., 2008). Keterkaitan antara kejadian hujan meteor dan kemunculan lapisan E-Sporadis di wilayah Indonesia merupakan fokus dari penelitian kali ini. Penelitian semacam ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Rusnadi et al. (2002) menelaah pola frekuensi kritis dan ketinggian lapisan E-Sporadis di atas Biak saat kejadian hujan meteor tahun 2001. Jiyo et al. (2005) juga melaporkan besarnya peningkatan kerapatan elektron lapisan E-Sporadis di atas Sumedang dan Garut saat badai meteor Leonid tahun 2001. Rusnadi

(2005) melaporkan bukti observasional adanya peningkatan frekuensi kritis lapisan E-Sporadis yang dipicu oleh gelombang gravitasi yang terjadi bukan saat puncak aktivitas hujan meteor. Akan tetapi, penelitian tersebut belum menjawab pertanyaan tentang fluks kritis atau fluks minimum hujan meteor yang dapat memberikan pengaruh pada lapisan E-Sporadis. Padahal, jawaban dari pertanyaan tersebut amat penting guna memahami pola kemunculan lapisan E-Sporadis serta guna melakukan prediksi kondisi ionosfer sebagai komponen cuaca antariksa yang berdampak pada komunikasi radio (misalnya Suhartini, 2007b). Karena itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan.

Sebagai bagian dari penelitian tersebut, telah dilakukan telaah statistik kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Tanjung Sari, Sumedang, Jawa Barat. Studi kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Sumedang pernah dilakukan oleh Suhartini (2007a) menggunakan data ionosonda tahun 2001-2002. Ia melaporkan adanya variasi musiman kejadian E-Sporadis yang ditandai oleh persentase kejadian maksimum pada bulan Desember-Januari dan Juli Agustus serta persentase minimum pada bulan Maret-April dan Oktober November. Pemodelan variasi diurnal dan musiman frekuensi kritis lapisan E ionosfer dilakukan oleh Jiyo (2010) menggunakan dua model empiris dari literatur. Meski cukup sesuai bila dibandingkan data pengamatan lapisan E di atas Sumedang dan Pontianak, kedua model tidak mampu menunjukkan variasi geografis yang teramati.

Artikel ini akan membahas kembali pola atau variasi diurnal dan musiman kemunculan lapisan E-Sporadis menggunakan pendekatan atau metode yang berbeda dibandingkan yang digunakan oleh Suhartini (2007a). Data yang digunakan adalah hasil pengukuran ionosonda di Sumedang tahun 2015. Kelengkapan data akan diperiksa secara komprehensif karena

isu ini amat penting ketika berbicara frekuensi kejadian suatu fenomena. Data dan metode yang digunakan dibahas pada Bagian 2, sementara Hasil dan Pembahasan yang relevan disajikan pada Bagian 3. Artikel diakhiri dengan Kesimpulan yang disajikan pada Bagian 4.

2 DATA

Data yang digunakan dalam studi ini adalah hasil *scaling* ionogram yang diperoleh dari Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang (6,913° LS; 107,838° BT) sepanjang tahun 2015 dengan resolusi temporal 1 jam. Pengukuran dilakukan menggunakan ionosonda yang bekerja pada rentang frekuensi 2-20 MHz. Proses *scaling* ionogram dilakukan secara manual oleh tim khusus di Pusat Sains Antariksa untuk mengukur sejumlah parameter kuantitatif yang relevan. Frekuensi kritis lapisan E-Sporadis (*foEs*) sebagai fungsi waktu merupakan data utama yang akan dianalisis sementara frekuensi minimum (*fmin*) digunakan sebagai acuan ada tidaknya pengukuran pada waktu tertentu.

Sepanjang tahun 2015, terdapat 8133 pengukuran *fmin* yang berkorespondensi dengan kelengkapan data sebesar 92,8%. Pada awal tahun, tingkat kelengkapan data mendekati sempurna, tetapi semakin buruk pada akhir tahun. Pada tanggal 11 hingga 17 Agustus, tidak ada data terekam karena adanya perbaikan terhadap ionosonda yang digunakan. Selama satu tahun, terdapat 2800 data *foEs*. Bila dinormalisasi terhadap jumlah data *fmin*, akan

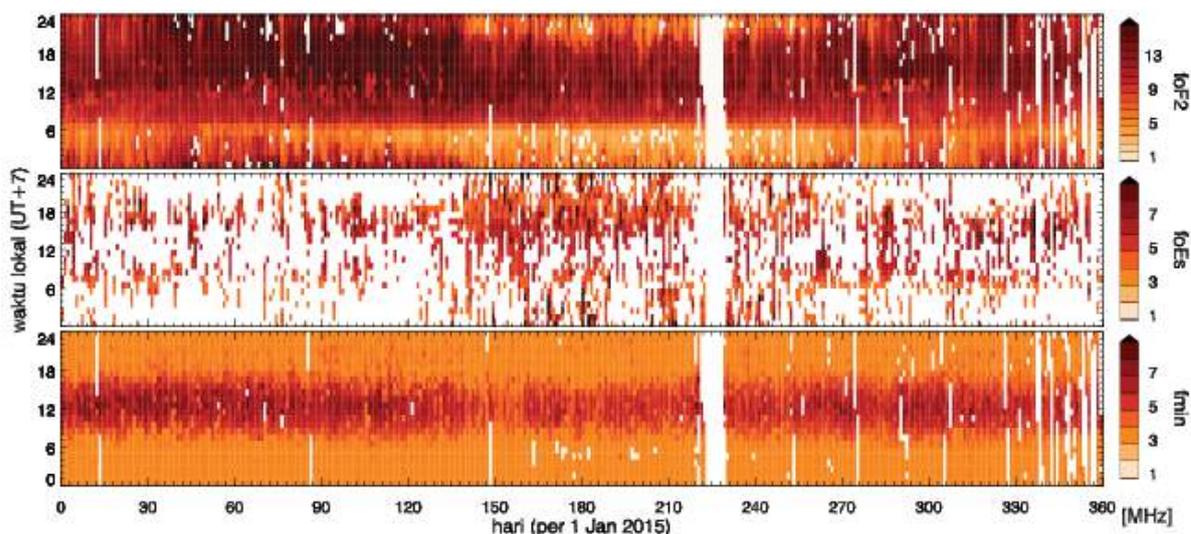
diperoleh perkiraan persentase kemunculan lapisan E-Sporadis sekitar 34%. Gambar 2-1 menunjukkan nilai *fmin*, *foEs*, serta frekuensi kritis lapisan F2 (*foF2*) sepanjang tahun 2015.

3 METODE

Data hasil *scaling* awalnya disimpan dalam bentuk tabel (*file* dengan ekstensi *.xls*) dengan kolom berisikan waktu pengamatan dan nilai frekuensi (*fmin*, *foEs*, *foF2*) yang diperoleh. Format data tersebut diubah menjadi *array* dengan ukuran 24 × 8760 sesuai dengan rentang waktu pengamatan, kemudian disimpan dalam bentuk citra dengan format *Flexible Image Transport System* (*.fits*). Namun, tidak ada *header* khusus yang dituliskan dalam *file* tersebut. Perubahan ini dilakukan untuk mempermudah visualisasi data dan analisis lebih lanjut.

Selanjutnya, pola kemunculan lapisan E-Sporadis di atas Sumedang dianalisis berdasarkan persentase kemunculan lapisan ini (*P*). Mengikuti Pietrella & Bianchi (2009), parameter ini didefinisikan sebagai jumlah kemunculan lapisan E-Sporadis dalam rentang waktu tertentu (*NfoEs*) dibagi dengan jumlah pengukuran yang ada (*Nfmin*). Jumlah pengukuran ditentukan berdasarkan data *fmin*. Secara sederhana, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dinyatakan dengan persamaan:

$$P(t, foEs > f_T) = 100 \times \frac{N_{foEs}}{N_{fmin}} \quad (3-1)$$



Gambar 2-1: Atas: frekuensi kritis lapisan F2 ($foF2$) sepanjang tahun 2015. Sumbu mendatar menunjukkan hari sedangkan sumbu tegak menunjukkan waktu lokal (UT+7). Kode warna ditunjukkan di bagian kanan. Tengah: frekuensi kritis lapisan E-Sporadis ($foEs$). Bawah: frekuensi minimum yang dipantulkan ionosfer ($fmin$). Warna putih pada gambar menunjukkan ketiadaan data

Nilai P dihitung untuk setiap jam (t , dari 00:00 hingga 24:00 waktu lokal) serta dihitung dengan mempertimbangkan frekuensi ambang f_T . Pietrella & Bianchi (2009) mendefinisikan N_{foEs} sebagai jumlah kejadian dalam satu bulan sementara N_{fmin} sebagai pengukuran dalam satu bulan.

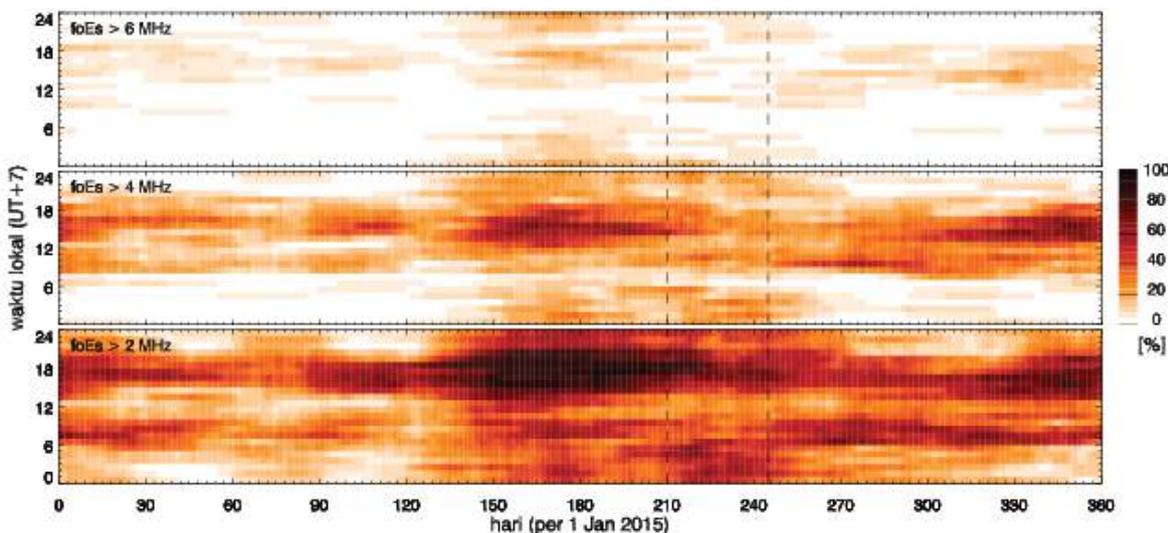
Dalam studi ini, digunakan pendekatan yang berbeda untuk mendapatkan peta kemunculan E-Sporadis dengan signifikansi statistik dan resolusi yang memadai. Baik nilai N_{Es} maupun N_{fmin} didefinisikan sebagai kerapatan data pada tanggal tertentu. Kerapatan tersebut diperkirakan dengan metode tetangga terdekat ke- k atau k -th nearest neighbor density (Silverman, 1986). Dengan pendekatan ini, N_{Es} pada satu tanggal dimaknai sebagai jumlah kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > f_T$ dalam rentang waktu k hari sebelum dan k hari sesudahnya. Cara yang sama digunakan untuk memperoleh nilai N_{fmin} pada tanggal dan jam tertentu.

Pietrella & Bianchi (2009) menggunakan frekuensi ambang sebesar 3, 4, ..., 9 MHz karena berurusan dengan data berjumlah besar (pengukuran tahun 1976 hingga 2007). Mereka

mampu memperoleh kesimpulan dengan signifikansi statistik yang baik. Sementara itu, frekuensi ambang yang digunakan dalam studi ini adalah 2, 4, dan 6 MHz.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data $foEs$ dan juga $fmin$ yang diperoleh sepanjang tahun 2015, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) telah dikonstruksi. Parameter $k = 15$ digunakan dalam perhitungan kerapatan menggunakan metode tetangga terdekat. Dengan demikian, nilai P yang diperoleh setara dengan rata-rata kemunculan selama satu bulan, tetapi dihitung untuk setiap tanggal. Perlu diperhatikan bahwa ketiadaan data pada tanggal 11 hingga 17 Agustus 2015 menyebabkan perhitungan nilai P sekitar tanggal tersebut menjadi tidak valid. Meski demikian, pola kemunculan E-Sporadis masih tampak jelas. Nilai P sepanjang di atas Sumedang tahun 2015 dengan frekuensi lebih dari 2, 4, dan 6 MHz disajikan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1: Persentase kemunculan lapisan E-Sporadis (P) di atas Sumedang dengan frekuensi kritis lebih dari 2 MHz (bawah), 4 MHz (tengah), dan 6 MHz (atas). Garis putus-putus menandai daerah dengan nilai P yang tidak valid karena ketiadaan data pada tanggal 11 hingga 17 Agustus 2015

4.1 Variasi Musiman

Dengan menganggap bahwa kemunculan lapisan E-Sporadis berkorelasi lemah terhadap aktivitas geomagnet dan juga flare di Matahari, maka pembahasan akan dikonsentrasikan pada pola harian dan musiman yang teramati. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4-1, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis tinggi lebih jarang muncul dibandingkan lapisan dengan frekuensi kritis rendah. Untuk $foEs > 2$ MHz, persentase kemunculan E-Sporadis dapat mencapai 97%. Nilai maksimum dari P menurun untuk frekuensi ambang yang lebih tinggi, yakni 75% untuk frekuensi ambang 4 MHz dan 23% untuk frekuensi ambang 6 MHz. Frekuensi tertinggi yang dapat dipantulkan oleh suatu lapisan di ionosfer berbanding lurus terhadap akar kuadrat dari kerapatan elektron, sehingga persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi tertentu dapat dikaitkan dengan kerapatan elektron pada ketinggian 90-120 km yang juga berubah sepanjang waktu.

Variasi musiman dari nilai P di daerah ekuator tentu tidak dapat

dikaitkan dengan perubahan musiman dari laju ionisasi di ionosfer. Alasannya adalah amplitudo perubahan iradiasi Matahari yang tidak signifikan serta variasi yang tidak satu fase. Iradiasi Matahari di daerah ekuator bernilai maksimum sekitar *equinox* (bulan Maret dan September) sebagaimana tampak pada plot frekuensi minimum ($fmin$) dan frekuensi kritis lapisan F2 ($foF2$) yang disajikan pada Gambar 2-1.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi persentase kemunculan lapisan E-Sporadis adalah pola angin zonal dan meridional (Mathews, 1998) yang bergantung pada musim di Indonesia. Selain itu, terdapat juga hujan meteor yang cukup sering terjadi pada bulan Mei-Juli dan November-Desember (Brown et al., 2008; Jenniskens et al., 2016). Hujan meteor dengan fluks tinggi seperti Eta Aquarids, Arietids, dan Southern Delta Aquarids yang terjadi bulan Mei-Juli serta Geminids dan Quadrantids yang terjadi bulan Desember-Januari dapat meningkatkan kandungan ion metal dan molekuler di lapisan E. Perlu telah lebih dalam untuk mastikan argumen ini.

4.2 Variasi diurnal

Secara garis besar, variasi diurnal dari persentase kemunculan lapisan E-Sporadis ditandai oleh peningkatan P menjelang tengah hari dan saat senja. Sekitar pukul 12:00 waktu lokal, nilai P justru mengalami penurunan. Di luar bulan Mei-Agustus, lapisan E-Sporadis jarang muncul pada malam hari. Hal ini tampak jelas pada plot P dengan frekuensi lebih dari 4 dan 6 MHz. Peningkatan dan penurunan P pada pagi hari dan malam hari dapat dikaitkan dengan peningkatan dan penurunan laju ionisasi oleh Matahari sementara penurunan P sekitar pukul 12:00 tidak dapat dijelaskan dengan argumen yang sama.

Penurunan persentase kemunculan lapisan E-Sporadis tidak disebutkan oleh Ednofri & Suhartini (2008) yang menganalisis data ionosonda di Kototabang. Frekuensi kritis lapisan E justru memuncak saat tengah hari dan menurun secara monoton hingga senja. Baik Sumedang maupun Kototabang berada cukup jauh dari equator geomagnet dan juga sabuk *Equatorial Electrojet* (EEJ) sehingga pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Perbedaan karakter lapisan E yang teramati bisa jadi disebabkan oleh perbedaan pola angin (*wind fields*) di kedua lokasi dengan lintang geografis yang tidak sama. Argumen yang sama diajukan oleh Patra et al. (2004) untuk menjelaskan perbedaan pola harian *coherent radar echo* oleh lapisan E di atas Piura, Peru dan Gadanki, India. Gema radar tidak teramati saat tengah dari di Piura (Chau et al., 2002) sementara pengamatan di Gadanki menunjukkan adanya gema yang cukup sering terjadi saat tengah hari (Patra et al., 2004).

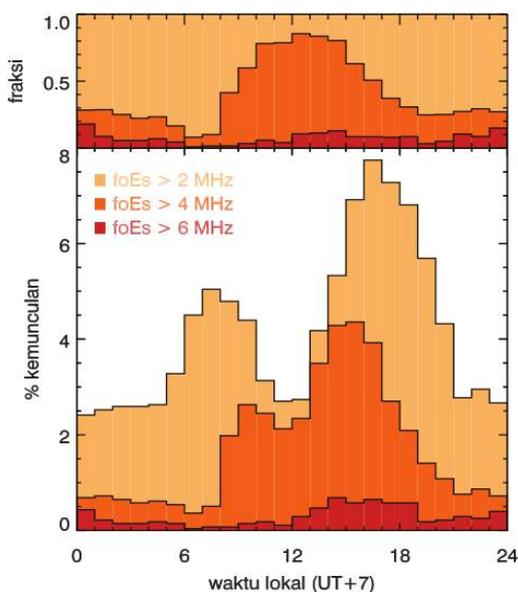
Di sisi lain, penurunan nilai P sekitar tengah hari diamati oleh Pietrella & Bianchi (2009) untuk kasus E-Sporadis di lintang menengah, hanya saja dengan waktu yang berbeda. Mereka menunjukkan bahwa persentase

kemunculan lapisan E-Sporadis mencapai maksimum sekitar pukul 12:00 waktu lokal, lalu mengalami penurunan sekitar pukul 15:00 dan kembali naik sekitar pukul 17:00. Nilai maksimum P pada saat senja lebih rendah dibandingkan puncak P pada tengah hari.

Pola harian kemunculan lapisan E-Sporadis dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4-2. Pemilahan berdasarkan frekuensi ambang juga diterapkan dalam pembuatan histogram untuk mengetahui pola kemunculan sebagai fungsi frekuensi.

Untuk E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 2 MHz, histogram tampak memiliki dua puncak yang sangat jelas. Puncak pertama terjadi pukul 08:00, sementara puncak kedua terjadi pukul 16:00 waktu lokal. Puncak pertama lebih rendah dibandingkan puncak kedua. Kedua puncak lebih tampak menyatu untuk set data dengan $foEs > 4$ MHz. Pada rentang frekuensi yang lebih tinggi ($foEs > 6$ MHz), puncak ganda justru tidak teramati. Dari Gambar 4-2, tampak pula bahwa lapisan E-Sporadis pada sore dan malam hari cenderung memiliki frekuensi kritis antara 2 dan 4 MHz. Sementara itu, pada siang hari lebih banyak dideteksi lapisan E-Sporadis dengan frekuensi kritis antara 4 dan 6 MHz.

Untuk menelaah dominasi masing-masing rentang frekuensi, persentase kemunculan lapisan E-Sporadis pada setiap rentang dinormalisasi terhadap persentase kemunculan-kemunculan dengan $foEs > 2$ MHz. Hasilnya adalah fraksi yang ditampilkan di panel atas dari Gambar 4-2. Dari plot tersebut, kemunculan lapisan E-Sporadis dengan frekuensi sedang (4 hingga 6 MHz) dominan pukul 08:00 hingga 17:00 waktu lokal. Di luar rentang waktu tersebut, lapisan E-Sporadis cenderung memiliki frekuensi antara 2 dan 4 MHz. Fenomena ini tentu tidak bersifat konstan dan dapat



Gambar 4-2: Histogram distribusi kemunculan lapisan E-Sporadis sebagai fungsi waktu lokal. Frekuensi ambang yang digunakan adalah 2 MHz (krem), 4 MHz (oranye), dan 6 MHz (merah). Panel atas menunjukkan fraksi kemunculan untuk setiap rentang frekuensi (dinormalisasi terhadap histogram $foEs > 2$ MHz)

mengalami perubahan yang bersifat musiman.

Fraksi kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz sepanjang waktu tidak lebih dari 20%. Bila diperhatikan, puncak persentase kemunculan lapisan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz pada siang hari tidak jauh berbeda dibandingkan puncaknya di malam hari. Hal ini menjadi salah satu *proxy* bahwa deposit ion oleh meteor di malam hari memiliki peran yang penting dalam pembentukan lapisan E-Sporadis. Terlebih karena kemunculan E-Sporadis dengan $foEs > 6$ MHz terkonsentrasi pada bulan Juni-Juli dan November-Desember ketika hujan meteor dengan intensitas tinggi menerpa Bumi.

5 KESIMPULAN

Dalam studi ini, rekaman kemunculan E-Sporadis di atas Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa Sumedang sepanjang tahun 2015 telah dianalisis. Persentase kemunculan

lapisan ini (P) telah dipetakan pada dimensi waktu serta dikategorikan berdasarkan tiga rentang frekuensi, yakni $foEs > 2$ MHz, $foEs > 4$ MHz, dan $foEs > 6$ MHz. Berdasarkan pemetaan yang telah dilakukan, variasi diurnal dan musiman teramati dengan jelas. Lapisan E-Sporadis lebih sering muncul pada bulan Mei-Juli dan juga Desember-Januari. Perubahan iradiasi Matahari dan juga laju ionisasi tidak dapat menjelaskan variasi tersebut karena daerah equator tidak mengalami perubahan yang signifikan seperti daerah lintang menengah dan tinggi.

Variasi diurnal nilai P dari ditandai dengan puncak ganda pada pukul 08:00 dan 16:00 waktu lokal. Puncak ganda tersebut semakin tidak kentara bila frekuensi ambang yang digunakan lebih tinggi. Selain itu, lapisan E-Sporadis dengan frekuensi lebih dari 6 MHz juga muncul pada malam hari bulan Mei-Juli. Kemunculan lapisan E-Sporadis dapat memberikan dampak pada komunikasi radio frekuensi tinggi. Karena itu, pola kemunculannya perlu dipahami dengan baik serta digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam ramalan cuaca antariksa yang berguna bagi sejumlah *stakeholder*.

Implikasi lain dari hasil ini menyangkut studi komprehensif dampak hujan meteor terhadap ionosfer regional Indonesia. Pemeriksaan lebih mendalam perlu dilakukan terhadap rekaman kemunculan lapisan E-Sporadis pada bulan Mei-Juli dan Desember-Januari, baik siang maupun malam hari. Pada rentang waktu tersebut, terdapat aktivitas hujan meteor dengan fluks yang cukup tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada penelaah yang telah memberikan masukan perbaikan terhadap artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Brown, P., Weryk, R. J., Wong, D. K., and Jones, J., 2008. *The Canadian Meteor Orbit Radar meteor stream catalog*, Earth Moon Planet, 102, 209.
- Chandra, H., Sharma, S., Devasia, C., Subbarao, K., Sastri, J., and Rao, J., 2001. *Sporadic-E Associated With the Leonid Meteor Shower Event of November 1998 Over Low and Equatorial Latitudes*, Annales Geophysicae, 19, 59.
- Chau, J., Woodman, R., and Flores, L., 2002. *Statistical Characteristics of Low Latitude Ionospheric Field-Aligned Irregularities Obtained with the Piura VHF Radar*, Annales Geophysicae, 20, 1203.
- Closs, R., 1969. *Low Latitude Sporadic E Associated with Geomagnetic Activity*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 48, 385.
- Ednofri, and Suhartini, S., 2008. *Variasi Lapisan E dan F Ionosfer di atas Kototabang*. Jurnal Sains Dirgantara, 6, 71.
- Jenniskens, P., Neron, Q., Albers, J., Gural, P., Haberman, B., Holman, D., Grigsby, R. M. A. B., Samuels, D., and Johannink, C., 2016. *The established meteor showers as observed by CAMS*. Icarus, 266, 331.
- Jiyo, Admiranto, A. G., and Wikantho, G., 2005. *Peningkatan Kerapatan Elektron Lapisan E-Sporadis Di Atas Tanjungsari Dan Pameungpeuk Pada Saat Terjadi Badai Meteor Leonid 2001*, Warta LAPAN, 7, 19.
- Jiyo, 2010. *Kajian Dua Metode Empiris Lapisan E-Ionosfer*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, 1, 32.
- Lastovicka, J., 2006. *Forcing of the Ionosphere By Waves From Below*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 68, 479.
- Ma, Y., He, Y., Xu, P., and Zhao, H., 2008. *Observation and Research on Strong Meteor Showers and Their Catastrophic Space Weather Events*, Chinese Astronomy and Astrophysics, 32, 186.
- Mathews, J. D., 1998. *Sporadic E Current Views and Recent Progress*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 60, 413.
- McNeil, W. J., Dressler, R. A., and Murad, E., 2001. *Impact of a Major Meteor Storm on Earth's Ionosphere a Modeling Study*, Journal of Geophysical Research, 106, 10447.
- Patra, A., Sripathi, S., Sivakumar, V., and Rao, P., 2004. *Statistical Characteristics of VHF Radar Observations of Low Latitude E-Region Irregularities Over Gadanki*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 66, 1615.
- Pezzopane, M., Pignalberi, A., and Pietrella, M., 2016. *On the Solar Cycle Dependence of the Amplitude Modulation Characterizing the Mid-Latitude Sporadic E Layer Diurnal Periodicity*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 13, 729.
- Pietrella, M. and Bianchi, C., 2009. *Occurrence of Sporadic-E Layer Over the Ionospheric Station of Rome: Analysis of Data for Thirty-two Years*, Advances in Space Research, 44, 72.
- Rusnadi, I. E., Ristanti, N., and Djamaluddin, T., 2002. *Pola Frekuensi Kritis dan Ketinggian Lapisan E-Sporadis di atas Biak pada Saat Terjadi Hujan Meteor*, Warta LAPAN, 2, 159.
- Rusnadi, I. E., 2005. *Identifikasi Gelombang Gravitasi yang Berpengaruh pada Lapisan E Ionosfer Dari Meteor Wind Radar (MWR)*, Warta LAPAN, 7, 56.
- Silverman, B. W., 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman & Hall.
- Suhartini, S., 2007a. *Lapisan E-Sporadis di atas Tanjungsari*, Berita Dirgantara, 8, 13.
- Suhartini, S., 2007b. *Komunikasi Jarak Jauh Menggunakan 2 Meteran*, Berita Dirgantara, 8, 68.
- Whitehead, J., 1989. *Recent Work on Mid-Latitude and Equatorial Sporadic, E*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 51, 401.

INDEKS PENGARANG

A

Agustinus Gunawan Admiranto
Anton Winarko
Anwar Santoso
Armi Susandi

99[13,2]
75[13,2]
63,75[13,2]
1[13,1]

D

Dasimun
Dudy Darmawan Wijaya

99[13,2]
47[13,1]

F

Farahhati Mumtahana

115[13,2]

H

Haries satyawardhana
Heri Sutastio

1[13,1]
99[13,2]

I

Iyus Edi Rusnadi

99[13,2]

M

Mamat Ruhmat
Mumen Tarigan

15[13,1]
115[13,2]

T

Tri Wahyu Hadi
Tri Wahyu Hadi

27[13,1]
47[13,1]

W

Wahyu Srigutomo

89[13,2]

INDEKS KATA KUNCI

A		P	
AMH	1,2,3,7, 8,9,10,12[13,1]	Pelontaran massa korona	99,100,111[13,2]
AMK	1,2,3,7,8,9,10,13[13,1]	Perubahan luas bintik Matahari	100[13,2]
Angin surya	16,17,18,20,21,23,24,25[13,1], 89,90,91,92,93,94,95,97[13,2]	Potensi angin	28,34[13,1]
Arus cincin	16,17,18,20,21,22,23,24,25[13,1]	Precursor	99,100,101[13,2]
B		Pulsa magnet Pc3	89,90,91,92,93,94,95,96,97[13,2]
Badai geomagnet	63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73[13,2]	R	
Bintik Matahari	38,39,40,41,44[13,1]	Rekoneksi	76,78,79,80,82,86,87[13,2]
C		Respon geomagnet terhadap lintang	64[13,2]
CCAM	1,2,3,4,5,6,7,12,13[13,1]	S	
D		Sinar-X	38,39,40,41,44,45[13,1]
Downscaling	1,2,3,4,5,6,12[13,1]	Statistik kemunculan	116,117[13,2]
E		T	
Emisi radio	38[13,1]	Transfer energi	16,18,19,24[13,1]
Energi flare	38,44[13,1]	U	
E-Sporadis	115,116,117,118,119,120,121,122,123,124[13,2]	Ulf	89,90,92,93,97,98[13,2]
F		W	
FDDA	27,28,29,31,34,35[13,1]	WRF	27,28,29,30,34,35[13,1]
Flare	100,101,102,103,104,105,107,108,110,111,112[13,2]		
G			
Gangguan geomagnet	16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26[13,1], 75,76,77,78,79,81,84,85,86[13,2]		
GPS	47,48,49,50,51,52,53,58,59[13,1]		
I			
Ionosfer	116,117,120,122,123,124[13,2]		
K			
Komponen H medan geomagnet	64,65,66,67,68,69[13,2]		
L			
Lepas pantai	28,29,30,34[13,1]		
LLM	47,48[13,1]		
M			
Magnetosfer	16,17,18,20,23,24,25,26[13,1]		
Medan magnet antarplanet	76[13,2]		
Bz			
MJO	47,48,50,51,52,53,54,57,58,59,61[13,1]		
O			
OLR	47,48,49,50,51,52,53,54,60[13,1]		

Pedoman Penulisan Jurnal Sains Dirgantara)
JUDUL MAKALAH DITULIS DENGAN HURUF KAPITAL TEBAL
SECARA SINGKAT DAN JELAS, (Studi Kasus : apabila ada)
(16 pt, Britannic Bold)
Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila
tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam bahasa
Inggris ditulis dalam tanda kurung
(16 pt, Britannic Bold)

Penulis Pertama¹, Penulis Kedua², dstⁿ ← (Nama Penulis Tanpa gelar)
(10,5 pt, Franklin Gothic Medium, bold)

¹Instansi Penulis Pertama
²Instansi Penulis Kedua
dstⁿ....
(10,5 pt, Franklin Gothic Medium)

e-mail: e-mail penulis pertama ← (berwarna hitam)
(10,5 pt, Franklin Gothic Medium)

Diterima : (tanggal bulan tahun); Disetujui : (tanggal bulan tahun); Diterbitkan : (tanggal bulan tahun)
(9 pt, Franklin Gothic Medium)

ABSTRACT
(10,5 pt, Bookman Old Style, bold)

Abstract is a summary of the most important elements of the paper, written in one paragraph in the one column of a maximum of 200 words. Abstract made in two languages written with the Bookman Old Style 9 pt. If the paper written in Indonesian, the Indonesian abstract written first then followed by English abstract and vice versa. The title "ABSTRAK" or "ABSTRACT" made with uppercase letters, and bold.

Keywords: *guidence, author, journal* ← (minimal 3 keywords)
(9pt, Bookman Old Style, italic)

ABSTRAK
(10,5 pt, Bookman Old Style, bold)

Abstrak merupakan ringkasan elemen-elemen terpenting dari naskah, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 200 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa ditulis dengan huruf 9 pt, Bookman Old Style. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu dilanjutkan abstrak Bahasa Inggris dan sebaliknya. Judul "ABSTRAK" atau "ABSTRACT" dibuat dengan huruf besar, *bold*.

Kata kunci: *panduan, penulis, jurnal* ← (minimal 3 kata kunci)
(9pt, Bookman Old Style, italic)

1 PENDAHULUAN
(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas

A4 dengan ukuran panjang (*height*) 29,7 cm, lebar (*width*) 21 cm dengan dimensi *Top* 3 cm, *Bottom* 2,5 cm, *Inside* 2,5 cm, *Outside* 2 cm, *Gutter* 1 cm, *Header* 1 cm dan *Footer* 1 cm. Jenis Huruf Bookman Old Style 10,5 pt, dan spasi (*line spacing*) 1. Panjang naskah tidak

melebihi 10 halaman termasuk tabel dan gambar.

Kerangka Tulisan disusun dengan urutan : Judul, Identitas Penulis, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terimakasih, dan Daftar Pustaka.

2 METODOLOGI

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Menguraikan tentang metode yang digunakan dalam penelitian termasuk data, peralatan, teori, diagram alir, beserta lokasi penelitian.

2.1 Lokasi dan Data

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

2.2 Standarisasi data

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

2.3 Metode Penelitian

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Persamaan matematis atau formula diberi nomor secara berurutan yang diletakkan di ujung kanan dalam tanda kurung. Apabila penulisan persamaan lebih dari satu baris maka penulisan nomor diletakkan pada baris terakhir. Penggunaan huruf sebagai simbol matematis dalam naskah ditulis dengan huruf miring (*Italic*) seperti x . Penjelasan persamaan diulas dalam naskah. Penurunan persamaan matematis atau formula tidak perlu dituliskan secara detil, cukup diberikan bagian yang terpenting, metode yang digunakan dan hasilnya.

$$D(t) = \Delta H(t) - Sq(t, m) \quad (1-1)$$

dengan $D(t)$ tingkat gangguan geomagnet, $\Delta H(t)$ variasi medan magnet komponen horizontal, $Sq(t, m)$ variasi hari tenang pada waktu t dan bulan m .

3 HASIL PEMBAHASAN

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Tabel dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data yang esensial dan mudah di-

pahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya, sehingga tabel mampu menjelaskan informasi yang disajikan secara mandiri. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan dan diulas di dalam naskah. Judul tabel diketik dengan jenis huruf Bookman Old Style 10,5 pt dan pada tulisan "Tabel 1:" "Tabel 2:" dan seterusnya diketik tebal.

Tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom. Tabel tidak boleh dalam bentuk "picture", harus dalam bentuk tabel. Judul tabel dituliskan pada bagian atas tabel, rata tengah dan diberi tanda titik (.) pada akhir judul tabel.

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Seperti halnya tabel, keterangan pada gambar, grafik atau foto harus mencukupi agar tersaji secara mandiri. Gambar, grafik dan foto harus diulas di dalam naskah. Seperti halnya tabel, gambar, grafik dan foto yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom. Gambar, grafik dan foto memiliki kedalaman minimal 300 dpi.



Gambar 3-1: Domain model yang digunakan dalam simulasi
(9pt, Bookman Old Style)

Tabel 3-1: ANALISIS ENERGI GANGGUAN GEOMAGNET
(9pt, Bookman Old Style)

Tanggal	Bz (nT)	v (km/s)	N (/cm ³)	LO (RE)	(x10 ε11J)	Em (mV/m)	Dst* (nT)	Q (nT/jam)
1	-4,3	670	3,2	9,4	3,1	2,4	-37	14,8
2	-13,8	352	4,6	8,9	21,2	4,8	-73	21,4
3	-0,5	349	2,7	12,3	0,42	0,49	-2	2,9

4 KESIMPULAN

Hal-hal penting dalam naskah yang merupakan kesimpulan dari hasil penelitian atau kajian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis baik penyediaan data, pengerjaan data, serta Tim Redaksi Jurnal Sains Dirgantara dan Mitra Bestari.

DAFTAR RUJUKAN

Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipan harus tercantum dalam daftar pustaka. Penulisan acuan dalam pembahasan sebaiknya menggunakan “sistem penulis-tahun” yang mengacu pada karya pada daftar pustaka. Kutipan buku dalam bentuk saduran untuk satu sampai dua penulis ditulis nama akhir penulis dan tahun. Contoh: Muhammad Nasir dituliskan (Nasir, 2009).

Referensi primer lebih dari 80 % dan diterbitkan dalam 5-10 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistim sitasi *American Physiological Association 6th Edition*. Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut :

Artikel dalam Jurnal (Jurnal Primer)

Burton R. K., R. I. McPherron, C. T. Russell, 1975.
An Empirical Relationship Between

Interplanetary Conditions and Dst, J. Geophys. Res., 80(31), 4204-4214.

Buku

Ross, S. M., 2004. *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Burlington, Elsevier.

Artikel bagian dari Buku

Maris, G.; M.D. Popescu dan M. Mierla, 2004. *Soft X-Ray Solar Flarecycles*, dalam A.V. Stepanov; E.E. Benevolenskaya dan A.G.Kosovichev (editor), *Proceedings IAU Symposium*, no. 223, 73.

Skripsi/Tesis/Disertasi

Ameldam, P., 2012. *Pengujian Data NCEP-FNL Dan CCMP Untuk Potensi Energi Angin (Studi Kasus Di Jawa Barat)*, Skripsi ITB.

Naskah Prosiding

Avia, L. Q., A. Haryanto, N. Cholianawati dan B. Siswanto, 2010. *Identifikasi Awal Musim Kemarau dan Musim Hujan Berdasarkan Data Satelit TRMM*, Prosiding Seminar Penerbangan dan Antariksa 2010: Sub Seminar Sains Atmosfer dan Iklim. Serpong, 15 Nopember 2010.

Naskah Konferensi

Pontes, M-T, Sempreviva, AM, Barthelmie, R., Giebel, G., Costa, P., 2007. *Integrating Offshore Wind And Wave Resource Assessment*, Proc. 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, Portugal.

Naskah Laporan Hasil Penelitian

P3TKEBTKE-Kementerian ESDM, 2008. *Laporan Penelitian Kajian PLT Angin di Indonesia Bagian Timur*.

Naskah Online

Habby, J., 2011. *Applying Tropospheric Moisture to Forecasting, Meteorology Education*, diakses [http:// weatherprediction.com](http://weatherprediction.com), 23 Desember 2014.

PEDOMAN BAGI PENULIS
JURNAL SAINS DIRGANTARA
(Journal of Aerospace Sciences)

Jurnal Sains Dirgantara (*Journal of Aerospace Sciences*) adalah jurnal ilmiah untuk publikasi penelitian dan pengembangan di bidang sains atmosfer dan sains antariksa.

Penulis diundang untuk mengirimkan naskah atau karya asli hasil penelitian, pengembangan, dan atau pemikiran yang belum dipublikasikan atau dikirimkan ke media publikasi manapun. Penulis boleh mengusulkan penelaah ahli di luar Dewan Penyunting, yang dianggap memahami betul substansi naskah yang dikirim. Naskah yang dikirim akan dievaluasi secara anonim oleh dua atau tiga penelaah ahli dan/atau Dewan Penyunting dari segi keaslian (orisinalitas), kesahihan (validitas) ilmiah, dan kejelasan pemaparan. Penulis berhak menanggapi hasil evaluasi, sedangkan Dewan Penyunting berhak menerima atau menolak serta menyempurnakan naskah tanpa mengurangi isi/maknanya. Naskah yang tidak dimuat, dikembalikan kepada penulis dengan alasan penolakannya. Penulis yang naskahnya dimuat mendapat 3 (tiga) eksemplar dari nomor yang diterbitkan, dan naskah yang ditulis kolektif, hanya diberikan 2 (dua) eksemplar untuk masing-masing penulis. Ketentuan bagi penulis pada jurnal ini adalah sebagai berikut.

a. Pengiriman naskah

Naskah dikirim dan ditujukan ke Sekretariat Dewan Penyunting Jurnal dengan alamat, Bagian Publikasi dan Promosi LAPAN Jalan Pemuda Persil No. 1, Rawamangun Jakarta 13220. Naskah diketik dengan MS Word dengan Bookman Old Style font 10.5pt pada kertas A4 dengan spasi ganda. Khusus untuk judul naskah ditulis huruf besar dengan font 16 pt. Penulis yang naskahnya diterima untuk dipublikasikan, diminta menyerahkan file dalam cd, atau dikirim melalui e-mail ke Sekretariat Dewan Penyunting (pukasi.lapan@gmail.com; publikasi.lapan@gmail.com)

b. Sistematika penulisan

Judul harus ringkas tanpa singkatan dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Informasi penulis terdiri dari nama (para) penulis tanpa gelar, instansi/ perguruan tinggi, dan e-mail penulis utama. Isi makalah terdiri dari: (a) abstrak dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris maksimum 200 kata yang tersusun dalam satu alinea, (b) kata kunci, (c) batang tubuh naskah terdiri dari Pendahuluan, Data/Metode/Teori, Hasil dan Pembahasan, Implementasi (jika ada), serta Kesimpulan, (d) Ucapan terimakasih (bila perlu) yang lazim, dan (e) Daftar rujukan.

c. Gambar dan Tabel

Gambar atau foto harus dapat direproduksi dengan tajam dan jelas. Gambar atau foto warna hanya diterima dengan pertimbangan khusus. Gambar dan tabel dapat dimasukkan ke dalam batang tubuh atau dalam lampiran tersendiri. Untuk kejelasan penempatan dalam jurnal, gambar dan tabel harus diberi nomor sesuai nomor bab dan nomor urut pada bab tersebut, misalnya Gambar 2-2 atau Tabel 2-1 yang disertai keterangan singkat gambar dan judul dari tabel yang bersangkutan.

d. Persamaan, Satuan, dan Data Numerik

Persamaan diketik atau ditulis tangan (untuk simbol khusus) dan diberi nomor di sebelah kanannya sesuai nomor bab dan nomor urutnya, misalnya persamaan (1-2). Satuan yang digunakan adalah satuan internasional (CGS atau MKS) atau yang lazim pada cabang ilmunya. Karena terbit dengan dua bahasa, angka desimal data numerik pada tabel dan gambar harus mengacu pada sistem internasional dengan menggunakan titik, sedangkan pada naskah tetap menggunakan ketentuan menurut bahasanya.

e. Rujukan

PP No. 74, 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 Tentang: *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.

Haryani, N. S., Hidayat, Sulma, S., dan Pasaribu, J. M., 2014. *Deteksi Limbah Acid Sludge Menggunakan Metode Red Edge Berbasis Data Penginderaan Jauh*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan data Citra Digital, Vol 11 No.2 Desember 2014.

Center for International Forestry Research [CIFOR], 2012. *Forests and Climate Change Mitigation : What Policymakers Should Know*, Fact Sheet. No. 5, November 2012, MITIGATION, Key of Research Findings. CGIAR Research Programme.

The National Geophysical Data Center (NOAA)-NASA. Sumber data VNF, 2014. Sumber: http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_2014_indonesia.html) atau (Sumber LAPAN: <http://modis-catalog.lapan.go.id/monitoring/katalognpp#>).

http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/prog_sect11_3.html