

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. Djundjunaan 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 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*

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.

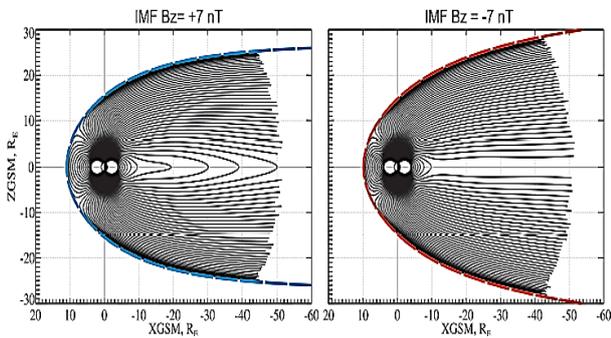
Angin matahari (*solar wind*) adalah partikel bermuatan yang sebagian besar terdiri dari proton dan elektron bebas (plasma) dengan energi sekitar 1 keV, yang mengalir keluar dari matahari ke segala arah. Dalam kejadian aktivitas matahari tertentu seperti *Coronal Mass Ejection* (CME) atau *Co-rotating 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

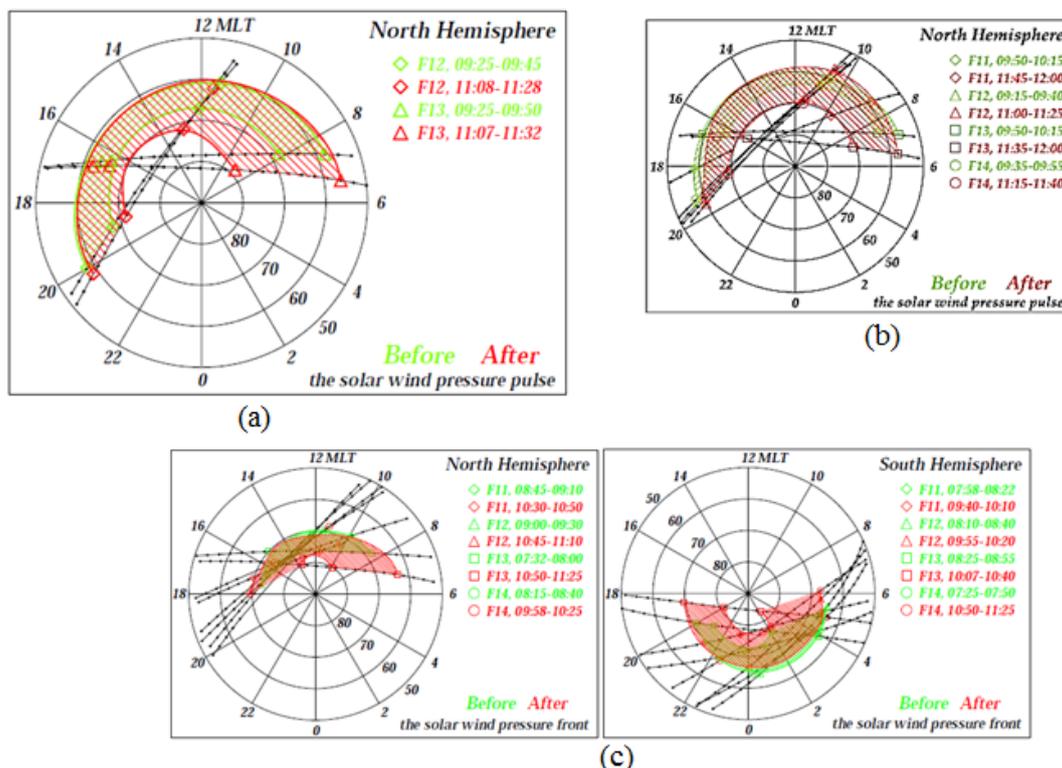
No	Nama Stasiun	Geografis		Lintang Dipol Geomagnet
		Bujur (BT)	Lintang	
1	Hermanus (Afsel)	19.22°	-34.40°	-33.3°
2	Kakioka (Jepang)	140.18°	36.23°	26.0°
3	Honolulu (USA)	201.98°	21.32°	21.1°
4	San Juan (USA)	293.88°	18.38°	29.9°

(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

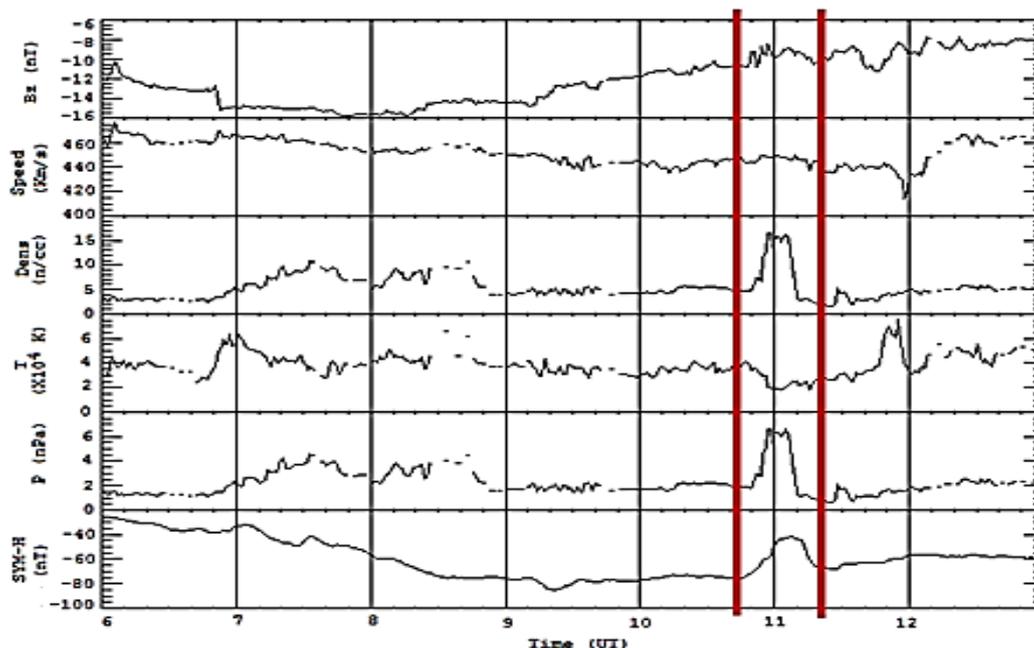
1998 (IMF Bz mendekati nol). Data indeks Dst diperoleh dari *World Data Center for Geomagnetism Kyoto* (http://wdc.kugi.kyoto.ac.jp/dst_final/index.html), data geomagnet yang digunakan adalah data sebelum tahun 2011 untuk mendapatkan data final komponen hari tenang dan indeks gangguan.

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

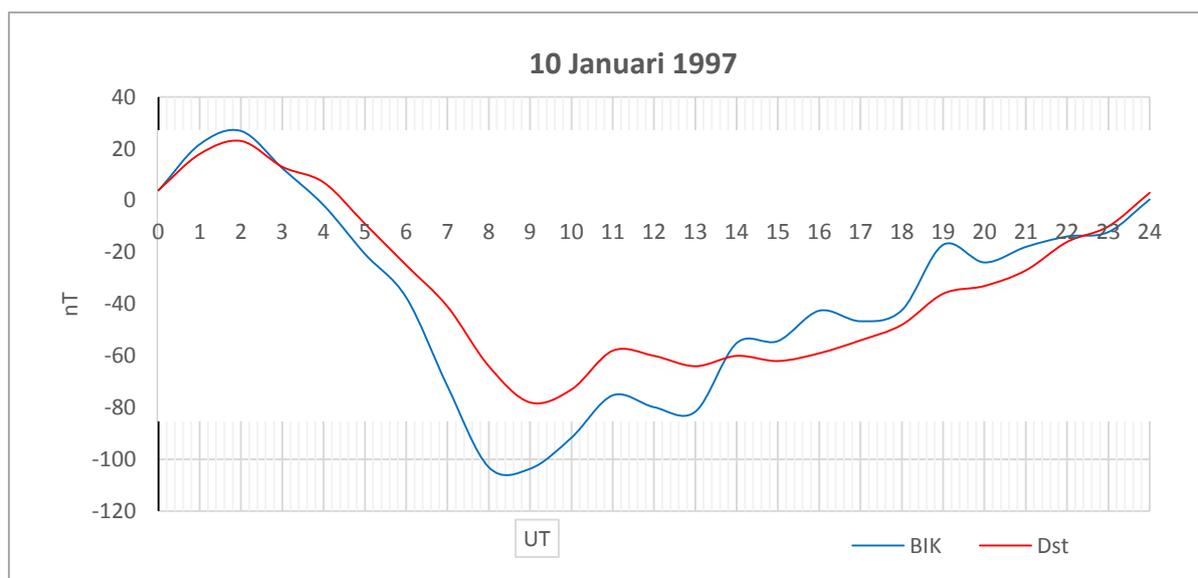
Tekanan dinamik angin surya bersamaan dengan IMF Bz arah selatan menyebabkan kenaikan respons magnetosfer yang kemudian menginduksi respons *global* terhadap arus ionosfer dan presipitasi aurora sehingga membangkitkan kenaikan intensitas aurora dan peningkatan suhu termosfer (Knipp et al.,2013; Boudouridis 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.



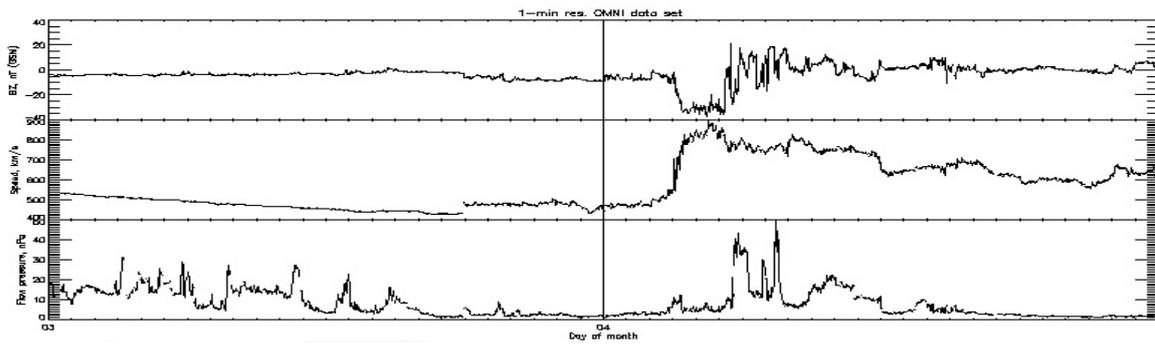
Gambar 3-2: Perbandingan intensitas geomagnet pada 10 Januari 1997 di lintang rendah. Absis adalah waktu dalam jam, ordinat adalah intensitas komponen H geomagnet dalam nano Tesla (nT)

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 ~2.00 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

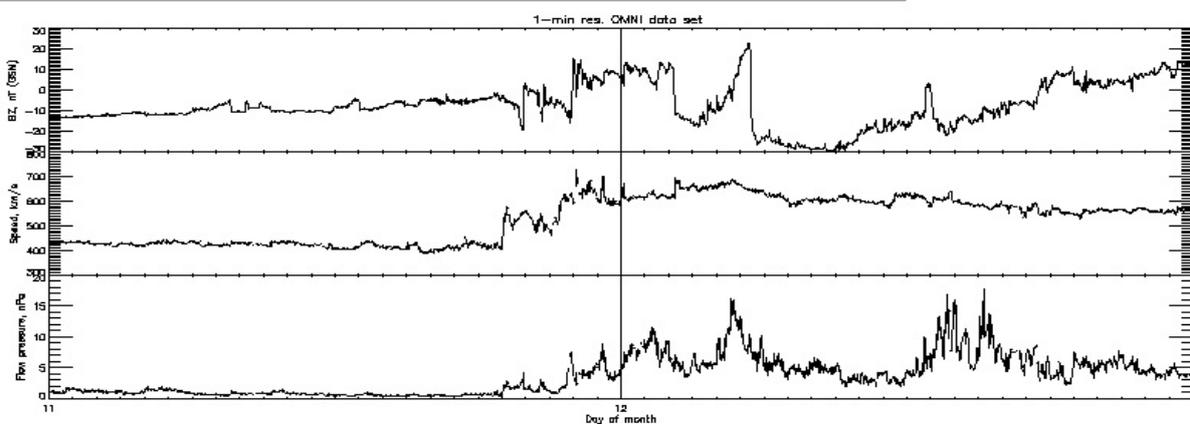
6 jam setelahnya. Puncak penurunan medan geomagnet terjadi pada pukul 10.00 UT. Akhir fase pemulihan adalah pada tanggal 11 Januari 1997 pukul 01.00 UT. Sementara IMF Bz mengarah ke selatan dimulai pada 10 Januari 1997 pukul ~02.00 UT, kemudian mulai mengalami fluktuasi pukul ~03.00 UT hingga ~05.00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

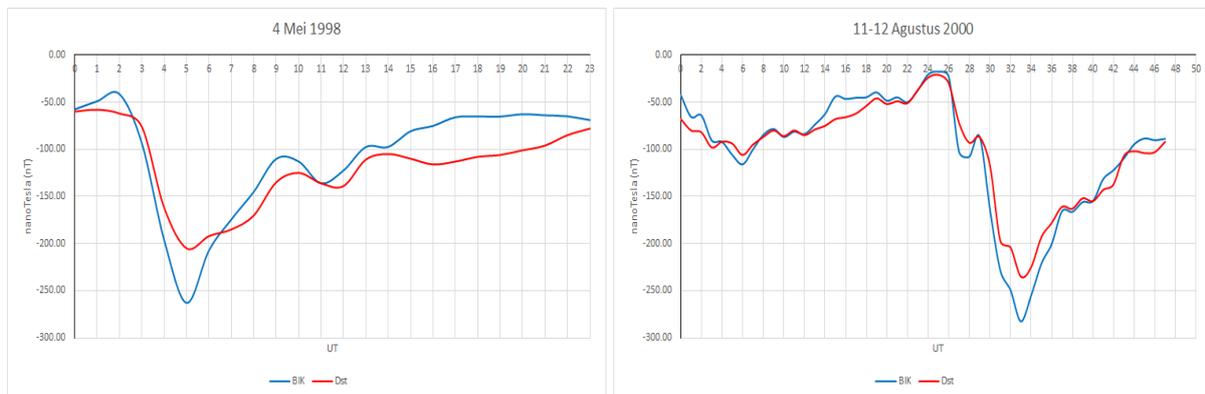
Plot omni_min data from 19980503 to 19980504



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

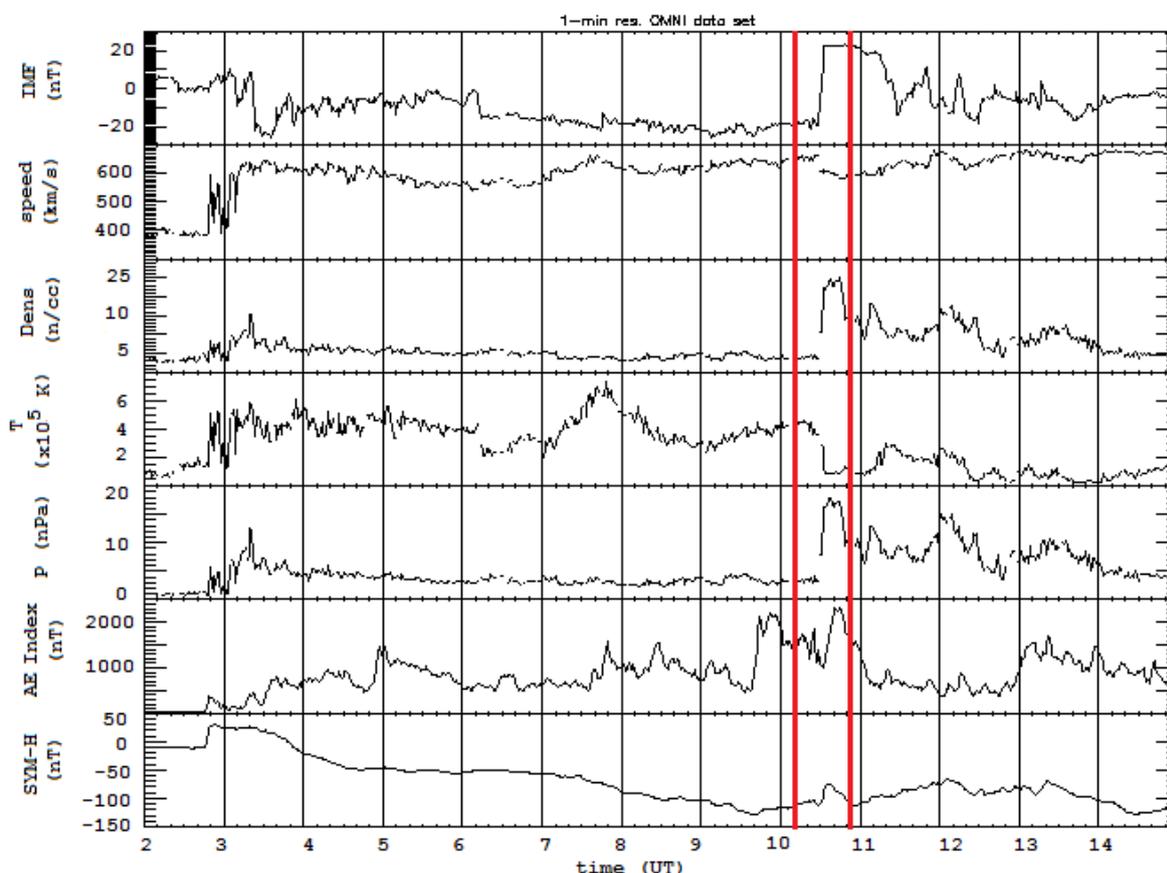
dalam ketiga contoh kasus, yaitu adanya pulsa peningkatan drastis tekanan dinamik angin surya (~3 kali lipat) beberapa saat setelah rekoneksi. Peningkatan drastis tekanan angin surya inilah yang memicu *shock* pada magnetosfer Bumi sehingga terjadi badai geomagnet yang didahului peningkatan

intensitas geomagnet mendadak atau badai bertipe SC.

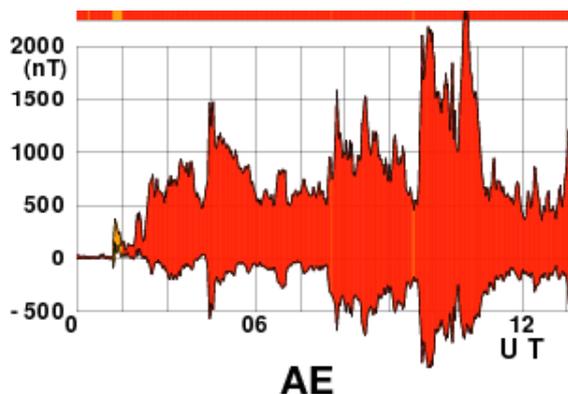
3.2 Respons Geomagnet Ketika IMF Bz >0 pada saat Fase Utama Badai Geomagnet

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.

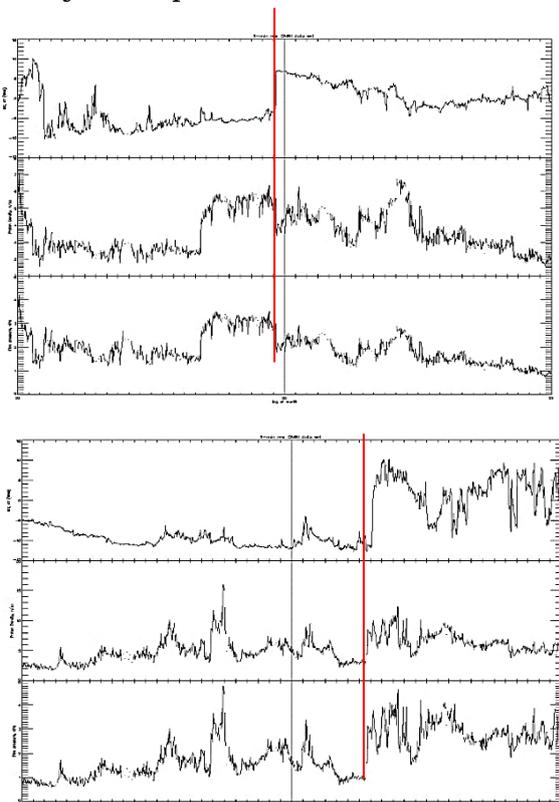


Gambar 3-5: Parameter angin surya pada badai geomagnet 18 Februari 1999. Sepasang garis tebal vertikal berwarna merah menandakan saat terjadinya perubahan arah IMF Bz. (sumber : <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)



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

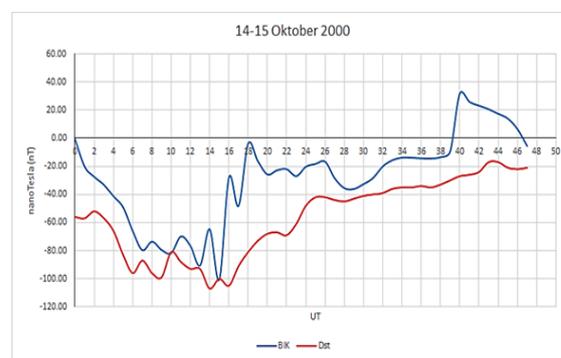
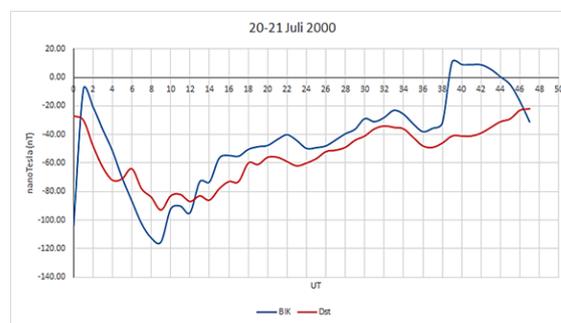
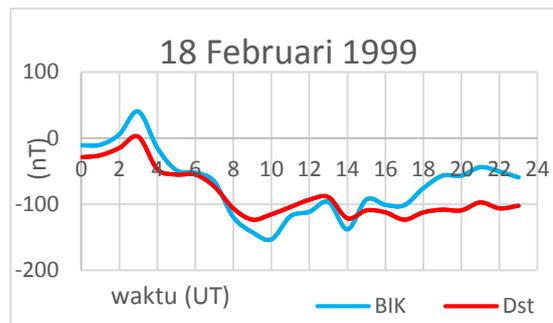
Parameter angin matahari (IMF Bz, kecepatan dan tekanan) pada 20 Juli 2000 dan 14 Oktober 2000 ditunjukkan pada Gambar 3-7.



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

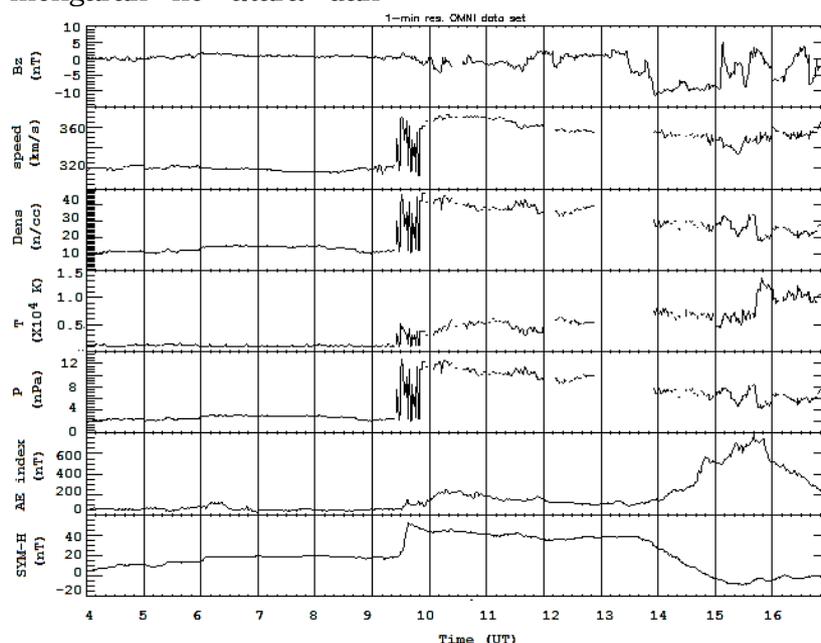
dominan selatan. IMF Bz yang mengarah ke utara pada pukul ~10.30 mendorong terjadinya percepatan proses *recovery*, namun IMF Bz yang kembali mengarah ke selatan ±1 jam setelahnya mengakibatkan medan geomagnet kembali terdepresi (pukul 14.00 UT). Meskipun medan geomagnet tetap mengalami pemulihan setelahnya, 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.

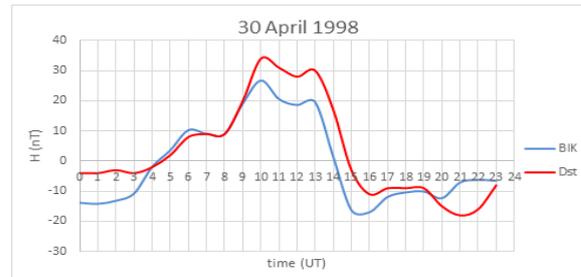


Gambar 3-9:Keadaan angin surya pada 30 April 1998 (sumber: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

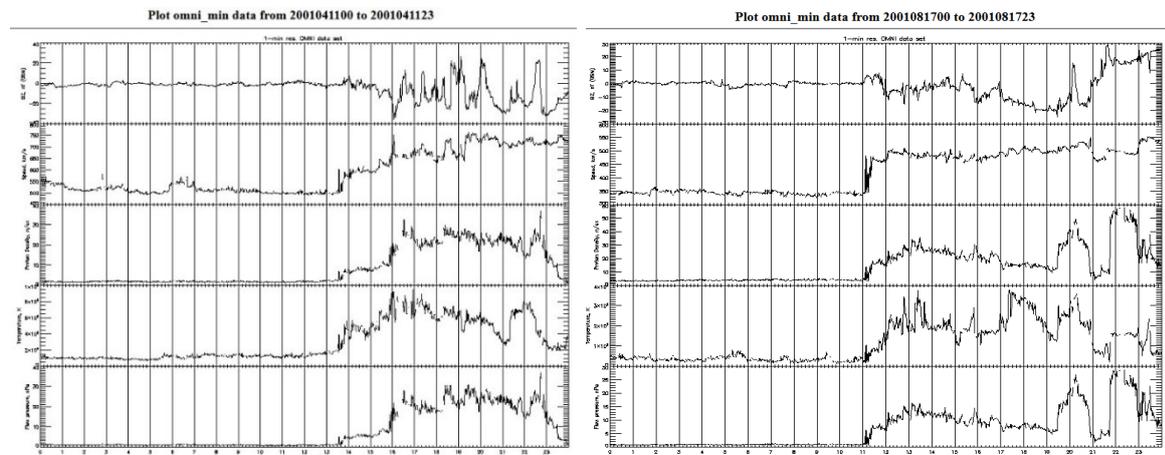
Berdasarkan indeks AE, onset gangguan geomagnet adalah pada ~09.30 UT. Sementara untuk daerah lintang rendah, ilustrasi gangguan geomagnet di sekitar lintang rendah ditunjukkan pada Gambar 3-10. Berbeda dengan 2 kasus sebelumnya, respons geomagnet di daerah sekitar ekuator tidak menunjukkan adanya penurunan 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

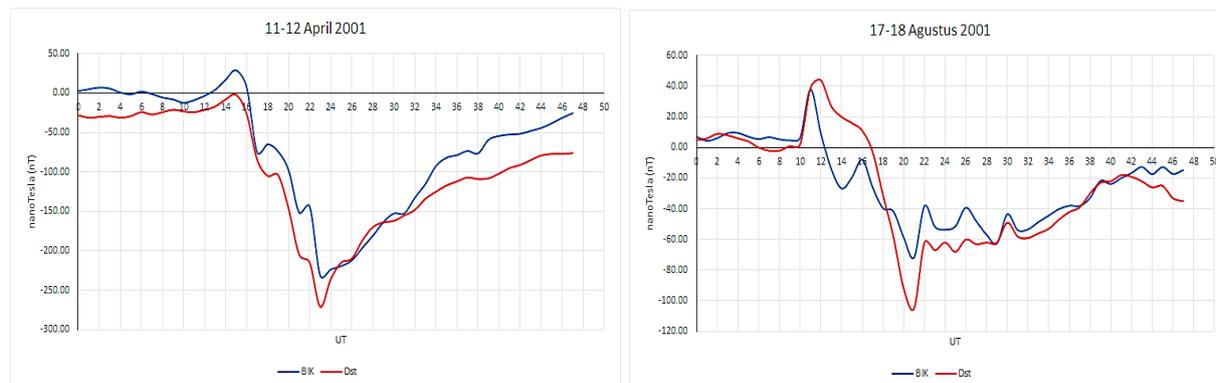
diikuti dengan perubahan ke arah selatan (negatif) sehingga memicu rekoneksi. Respons geomagnetnya di lintang rendah sebagaimana gambar 3-12. Seperti pada kejadian 30 April 1998, terjadi SI pada saat IMF Bz~0, namun karena diikuti oleh IMF Bz negatif yang memicu rekoneksi, maka selanjutnya terjadi badai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