

# **ANALISIS PENGARUH PENETRASI MEDAN LISTRIK LINTANG TINGGI KE LINTANG RENDAH TERHADAP IONOSFER SAAT BADAI GEOMAGNET**

## **(ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD PENETRATION EFFECT FROM HIGH TO LOW LATITUDES ON THE IONOSPHERE DURING GEOMAGNETIC STORM)**

**Anwar Santoso\*, Dadang Nurmali, Mira Juangsih, Iyus Edi Rusnadi, Sri Ekawati, Anton Winarko, Siska Filawati**

Pusat Sains Antariksa LAPAN

Jln. DR. Djundjunan 133 Bandung

\*Email: anwar.santoso@lapan.go.id

Diterima 23 Juni 2016; Direvisi 12 Desember 2017; Disetujui 15 Desember 2017

### **ABSTRACT**

The influence of geomagnetic storms on the ionosphere in the equatorial and low latitudes can be either rising or falling value of the value foF2 with the different response delay time. The difference in response is one of them allegedly influenced by the modification of Equatorial Electrojet (EEJ) generated by the penetration of high latitude electric field towards the low latitude electric field and the equator. Therefore, this paper analyzes the influence of the high latitude penetration of electric current to the low latitude electric current towards the ionosphere response to Indonesia's current geomagnetic storms using the data foF2 BPAA Sumedang (SMD; 6,91<sup>o</sup> S; 106,83<sup>o</sup>E geographic coordinates or 16,55<sup>o</sup> S; 179,95<sup>o</sup> E magnetic coordinates) and data from the Biak geomagnetic field station (BIK; 1,08<sup>o</sup> S; 136,05<sup>o</sup> E geographic coordinates or 9,73<sup>o</sup> S; 207,39<sup>o</sup> E magnetic coordinates) in 2000-2001. The result showed that the injection of the electric field of the high latitudes to lower latitudes causing foF2 BPAA Sumedang to be disturbed. Onset of the foF2 disturbance in BPAA Sumedang started coincide with EEJ(HBIK-HDRW) and reached its minimum point with a time delay between 0 to 4 hours before and after Dst index reached the minimum point. For a delay time of 0 to 4 hours after the Dst index reached the minimum point, the results were in accordance with the research results from the prior research. However, for the time difference of between 0 to 4 hours before the Dst index reached the minimum point, the results differ from their results.

Keywords: *geomagnetic storms, ionosphere in the equatorial, equatorial electrojet (EEJ)*

## ABSTRAK

Pengaruh badai geomagnet terhadap ionosfer di ekuator dan lintang rendah berupa naiknya nilai foF2 atau turunnya nilai foF2 dengan waktu tunda respon berbeda-beda. Perbedaan respon tersebut salah satunya diduga dipengaruhi oleh modifikasi *Equatorial electrojet* (EEJ) yang dihasilkan oleh penetrasi medan listrik lintang tinggi sampai daerah lintang rendah dan ekuator. Oleh karena itu, dalam makalah ini dilakukan analisis pengaruh penetrasi arus listrik lintang tinggi ke lintang rendah terhadap ionosfer saat badai geomagnet menggunakan data foF2 dari Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Sumedang (SMD; 6,91° LS; 106,83° BT koordinat geografis atau 16,55° LS; 179,95° BT koordinat magnet) dan data medan geomagnet dari stasiun Biak (BIK; 1,08° LS; 136,05° BT koordinat geografis atau 9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet) tahun 2000-2001. Hasilnya diperoleh bahwa penetrasi medan listrik dari lintang tinggi ke lintang lebih rendah Indonesia menyebabkan foF2 BPAA Sumedang terganggu. Onset gangguan foF2 BPAA Sumedang mulai terjadi bertepatan dengan EEJ(HBIK-HDRW) mencapai titik minimumnya dengan jeda waktu antara 0 sampai 4 jam sebelum dan sesudah indeks Dst mencapai minimum. Untuk beda waktu 0 sampai 4 jam sesudah indeks Dst mencapai minimum, hasilnya bersesuaian dengan hasil penelitian peneliti sebelumnya. Namun, untuk beda waktu 0 sampai 4 jam sebelum indeks Dst mencapai minimum, hasilnya merupakan temuan berbeda dari hasil mereka.

Kata Kunci: *badai geomagnet, ionosfer ekuator, elektrojet ekuator*

## 1 PENDAHULUAN

Dalam sistem cuaca antariksa, Matahari merupakan sumber penggerak utama cuaca antariksa. Salah satu fenomena di Matahari yang menjadi sumber penggerak cuaca antariksa adalah *Coronal Mass Ejection* (CME) atau dinamakan juga peristiwa pelepasan plasma dan medan magnet yang signifikan dari korona Matahari. Ketika terjadi CME, partikel-partikel dan medan magnet dilontarkan ke antariksa. Partikel-partikel tersebut terbawa serta oleh angin surya. Angin surya yang menuju Bumi akan bertumbukan dengan magnetosfer (biasanya dinamakan *interplanetary shock*, IPS). Dalam tumbukan ini akan terjadi injeksi energi medan listrik melalui mekanisme rekoneksi. Energi tersebut akan menyebabkan pertumbuhan arus cincin di sekitar Bumi. Pertumbuhan arus cincin akibat masuknya energi medan listrik gabungan (*merger*) memicu gangguan medan magnet Bumi dengan skala global (Gopalswamy, 2009).

Respon ionosfer terhadap badai geomagnet tidak terjadi secara langsung melainkan melalui proses kopling magnetosfer-ionosfer. Selama badai geomagnet, energi magnetosfer yang

masuk ke dalam atmosfer atas kutub Bumi dapat memodifikasi proses-proses kimia dan elektrodinamika sistem ionosfer- termosfer (I-T) secara signifikan. Konsekuensinya, gangguan densitas elektron ionosfer dan *total electron content* (TEC) teramati sepanjang badai geomagnet (Mannucci et al., 2005). Pengaruh badai geomagnet terhadap ionosfer di ekuator dan lintang rendah berupa naiknya nilai foF2 atau turunnya nilai foF2 dengan waktu tunda respon berbeda-beda. Beberapa hasil penelitian sebelumnya (Abdu et al., 1991; Yatini et al., 2009; Mukherje et al., 2010; Lusiani et al., 2011) telah melaporkan bahwa semakin kuat badai geomagnet, semakin cepat respon dari ionosfer untuk terjadinya badai geomagnet. Badai ionosfer dapat terjadi dalam selang waktu satu sampai 4 jam setelah kejadian badai geomagnet kuat. Badai geomagnet menengah mengakibatkan badai ionosfer dalam selang waktu satu sampai 10 jam setelah badai geomagnet tersebut. Sedangkan badai geomagnet lemah mengakibatkan badai ionosfer yang terjadi dalam selang waktu lebih dari 10 jam setelah badai geomagnet menengah tersebut. Perbedaan respon diduga

dipengaruhi oleh modifikasi pada *Equatorial Ionization Anomaly* (EIA), *Equatorial Spread-F* (ESF), dan *Equatorial electrojet* (EEJ) yang diproduksi oleh : (1) gangguan medan listrik yang dihasilkan dari penetrasi medan listrik lintang tinggi menuju ekuator dengan cepat, (2) gangguan dinamo yang digerakkan oleh peningkatan sirkulasi termosfer global yang dihasilkan dari masuknya energi pada lintang tinggi, dan (3) gangguan angin (zonal dan meridional) yang memodifikasi dinamika termosfer ekuator. Di bawah pengaruh penetrasi yang cepat medan listrik dan gangguan medan listrik dinamo, *Equatorial Ionization Anomaly* (EIA) dapat mengalami modifikasi drastis yang menghasilkan gangguan ionosfer besar di lintang rendah (Abdu et al., 1991; Abdu, 1997; Abdu, 2001; Mukherjee et al., 2010)

Dari gambaran di atas maka dalam makalah ini dilakukan analisis pengaruh penetrasi arus listrik lintang tinggi ke lintang rendah terhadap ionosfer Indonesia menggunakan data ionosfer dari Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Sumedang (SMD; 6,91° LS; 106,83° BT koordinat geografis atau 16,55° LS; 179,95° BT koordinat magnet) dan data medan geomagnet dari stasiun Biak (BIK; 1,08° LS; 136,05° BT koordinat geografis atau 9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet) tahun 2000-2001 (puncak siklus Matahari ke-23).

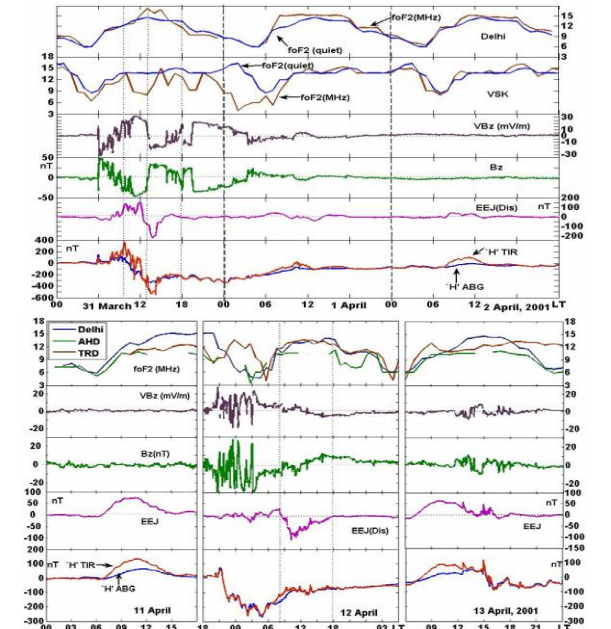
Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui respon lapisan ionosfer di atas BPAA Sumedang (berdasarkan foF2) terhadap penetrasi medan listrik pada saat badai geomagnet.

## 2 DATA DAN METODOLOGI

### 2.1 Data

Data yang diolah adalah indeks Dst, *Interplanetary magnetic field* arah utara-selatan (IMF Bz), komponen kecepatan angin surya (Vsw), foF2 ionosfer dari Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Sumedang (SMD) (6,91° LS; 106,83° BT koordinat geografis atau 16,55° LS; 179,95° BT koordinat magnet) dan medan geomagnet stasiun Biak (BIK) (1,08° LS; 136,05° BT koordinat geografis atau 9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet). Alasan ilmiah menggunakan data geomagnet dari

stasiun Biak sementara data foF2 ionosfernya dari BPAA Sumedang (berbeda jarak > 3000 km) adalah penulis berasumsi bahwa efek penetrasi medan listrik dari lintang tinggi ke rendah untuk area (regional) lintang Indonesia akan dirasakan hampir sama (Veenadhari dan Alex (2006).



Gambar 2-1: (atas) Variasi foF2 Delhi (19,02° LU) dan Vishakapatnam (VSK, 7,95° LU), medan listrik konveksi (-VBz), Bz IMF, EEJ dan komponen H medan geomagnet stasiun Tirunelveli dan Alibag saat badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001, dan (bawah) saat badai geomagnet tanggal 11 April 2001.

Dalam penelitiannya, mereka menggunakan data data magnet dari stasiun Tirunelveli (0,03° LU; 150,40° BT Koordinat Geomagnet) dan Alibag (10,36° LU; 146,54° BT Koordinat Geomagnet) untuk mendapatkan EEJ. Sementara itu, untuk melihat efeknya digunakan data foF2 dari stasiun Visakhatpatnam (8,56° LU; 156,49° BT Koordinat Geomagnet) dan Delhi (19,2° LU; 150,2° BT Koordinat Geomagnet, dip 42,4°), seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1.

Selain itu, digunakan data lain sebagai pendukung yakni medan geomagnet dari stasiun Wewak (WEW) (3,55° LS; 143,63° BT koordinat geografis atau 12,12° LS; 215,55° BT koordinat magnet) dan stasiun Darwin (DAW) (12,40° LS; 130,90° BT koordinat geografis atau 22,06° LS; 202,78° BT

koordinat magnet). Periode pengamatan data yang diolah adalah tahun 2000-2001. Adapun tingkatan kuat badai geomagnet (melalui indeks Dst) dapat dikelompokkan menjadi 5 level aktivitas geomagnet (Kumar et al., 2010; Adekoya et al., 2012).

Untuk mempermudah analisis, maka dipilih puncak siklus aktifitas Matahari ke-23 (2000-2001) dengan jumlah kejadian badai geomagnet cukup banyak dan berintensitas kuat ( $Dst < -150$  nT), sehingga diharapkan deviasi foF2 ionosfer terhadap mediannya sebagai respon terhadap badai geomagnet akan jelas terlihat. Identifikasi kejadian badai geomagnet menggunakan kriteria indeks Dst dengan nilai  $Dst < -150$  nT sepanjang tahun 2000-2001 diperoleh 13 kejadian badai geomagnet. Dari 13 kejadian badai geomagnet tersebut, hanya 6 kejadian badai geomagnet yang terpilih untuk bahan analisis, seperti ditampilkan pada Tabel 2-1.

## 2.2 Metodologi

Berdasarkan kejadian badai geomagnet pada Tabel 2-1 tersebut kemudian dihitung variasi gangguan komponen H di stasiun Biak, Wewak dan Darwin menggunakan formulasi (2-1).

$$\Delta H(t_0) = H(t) - H_{Sq}(t) \quad (2-1)$$

Dengan,  $\Delta H(t)$  adalah gangguan medan geomagnet dari Matahari,  $H(t)$  adalah nilai variasi medan geomagnet yang terukur alat dan  $H_{Sq}(t)$  adalah

medan geomagnet hari tenang yang dihitung menggunakan formulasi (2-2).

$$H_{Sq}(t) = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5} \quad (2-2)$$

Dengan,  $H_1$  adalah medan geomagnet hari tenang pertama di bulan tersebut dan seterusnya yang tabelnya dapat diunduh di website <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/qddays/index.html>.

Selanjutnya ditentukan injeksi medan listrik dari lintang tinggi ke lintang rendah dengan menggunakan formulasi (Veenadhari dan Alex, 2006):

$$EEJ(H) = \Delta H_1 - \Delta H_2 \quad (2-3)$$

Dengan  $EEJ(H)$  merupakan interpretasi kekuatan medan listrik yang terinjeksi dari lintang tinggi ke lintang lebih rendah (nT). Pada makalah ini,  $EEJ(H)$  diasumsikan sama seperti  $EEJ$ . Namun, bila  $EEJ$  merupakan pengurangan komponen H stasiun di sekitar lintang  $\pm 30^\circ$  ekuator magnet dengan lintang lebih tinggi, maka  $EEJ(H)$  merupakan pengurangan komponen H lintang magnet rendah dengan lintang lebih tinggi lagi.  $\Delta H_1$  adalah komponen H medan geomagnet dari stasiun Biak (BIK), Indonesia dan  $\Delta H_2$  adalah komponen H medan geomagnet lintang lebih tinggi dari  $\Delta H_1$ . Dalam makalah ini yakni dari stasiun Wewak (WWK) dan Darwin (DRW), Australia.

Tabel 2-1: DAFTAR KEJADIAN BADAI GEOMAGNET (TERPILIH) DENGAN NILAI  $Dst < -150$  nT SEPANJANG TAHUN 2000-2001 YANG TERSEDIA DATA foF2 BPAA SUMEDANG DAN MEDAN GEOMAGNET BIAK

No	Tanggal	Intensitas	Waktu Puncak Badai Geomagnet	Kategori
1	07 Apr 2000	-288 nT	01.00 nT	Sangat Kuat
2	15 Jul 2000	-301 nT	24.00 UT	Super Badai
3	12 Agt 2000	-235 nT	10.00 UT	Sangat Kuat
4	06 Nov 2000	-159 nT	22.00 UT	Kuat
5	31 Mar 2001	-387 nT	09.00 UT	Super Badai
6	11 Apr 2001	-271 nT	24.00 UT	Sangat Kuat

Biak (BIK) (1,08° LS; 136,05° BT koordinat geografis atau 9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet); Wewak (WEW) (3,55° LS; 143,63° BT koordinat geografis atau 12,12° LS; 215,55° BT koordinat magnet) dan stasiun Darwin (DAW) (12,40° LS; 130,90° BT koordinat geografis atau 22,06° LS; 202,78° BT koordinat magnet) masih berada di sekitar sabuk jaringan magnetometer 210° MM (Yumoto and The 2100 MM *Magnetic Observation Group*, 1995). Jika nilai  $EEJ(H)$  yang diperoleh pada Persamaan (2-3) bernilai negatif berarti telah terjadi penetrasi medan listrik dari lintang tinggi ke lintang rendah atau mengindikasikan bahwa nilai medan geomagnet di lintang rendah (Indonesia) lebih besar dari lintang lebih tinggi (Australia). Hal sebaliknya terjadi jika  $EEJ(H)$ -nya bernilai positif. Nilai  $EEJ(H)$  tersebut kemudian diplot bersama dengan  $\Delta foF2$  ionosfer BPAA Sumedang ( $\Delta foF2_{SMD}$ ) dan  $Bz$  IMF serta  $Vsw$ . Formulasi untuk menghitung  $\Delta foF2$  Sumedang adalah:

$$\Delta foF2_{SMD} = foF2_{SMD} - foF2_{MedSMD} \quad (2-4)$$

Dengan,  $\Delta foF2_{SMD}$  bernilai negative, menginterpretasikan bahwa telah terjadi badai ionosfer negatif. Begitu juga sebaliknya.

Berikutnya dilakukan analisis terhadap hasil plotting tersebut menggunakan metode visual dan dengan metode statistik. Hasil analisis dirangkum untuk menjadi kesimpulan.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3-1 menunjukkan pola data  $EEJ(HBIK-HDRW)$ ,  $EEJ(HBIK-HDRW)$  dan indeks Dst sebelum, saat dan setelah badai geomagnet terpilih dalam Tabel 2-1. Dari Gambar 3-1 tampak bahwa pada saat puncak badai geomagnet (Dst menuju ke titik minimum), pola  $EEJ(H)$  terutama  $EEJ(HBIK-HDRW)$  jelas terlihat mengikuti pola indeks Dst menuju titik

minimumnya. Nilai  $EEJ(HBIK-HDRW)$  negatif menginterpretasikan bahwa depresi medan geomagnetik di Biak lebih besar dari di Darwin. Hal ini mengindikasikan telah terjadi injeksi medan listrik dari lintang tinggi (Darwin, Australia) ke lintang rendah (Biak, Indonesia). Walaupun pola  $EEJ(HBIK-HDRW)$  mengikuti pola indeks Dst menuju titik minimumnya, namun, waktu titik minimum  $EEJ(HBIK-HDRW)$  terhadap waktu titik minimum indeks Dst tidak terjadi bersamaan atau dengan kata lain berbeda waktu terjadinya.

Dari enam kejadian badai geomagnet, dua diantaranya dengan sebelum, saat dan setelah badai geomagnet waktu titik minimum  $EEJ(HBIK-HDRW)$  mendahului waktu titik minimum indeks Dst yakni kejadian badai geomagnet tanggal 12 Agustus 2000 dan 31 Maret 2001. Empat kejadian badai geomagnet sisanya terjadi dengan waktu titik minimum  $EEJ(HBIK-HDRW)$  setelah indeks Dst mencapai titik minimumnya. Pada kejadian badai geomagnet tanggal 12 Agustus 2000, titik minimum  $EEJ(HBIK-HDRW)$  terjadi 44 jam lebih awal dari titik minimum Dst. Sedangkan pada kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001, titik minimum  $EEJ(HBIK-HDRW)$  terjadi 8 jam setelah titik minimum Dst.

Grafik pola data Dst,  $EEJ(HBIK-HDRW)$ ,  $foF2$  BPAA Sumedang, dan  $\Delta foF2_{SMD}$  ditunjukkan pada Gambar 3-2 sampai Gambar 3-7.

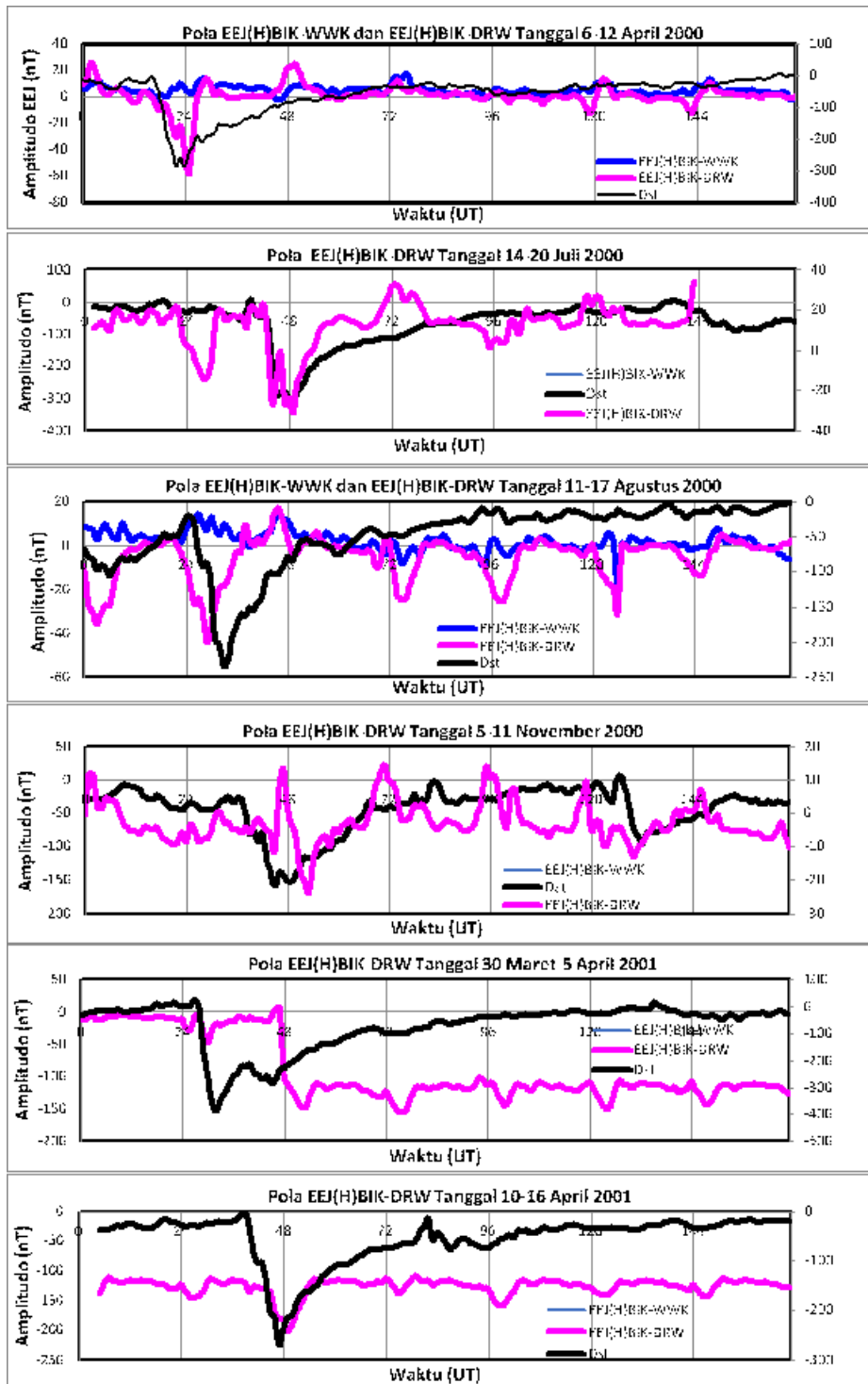
Dari gambar-gambar tersebut secara jelas terlihat bahwa ada perubahan pola  $\Delta foF2_{SMD}$  bertepatan dengan  $EEJ(HBIK-HDRW)$  mulai mencapai titik minimumnya sampai menuju normalnya. Secara fisis fenomena tersebut menjelaskan hal-hal sebagai berikut:

Ketika  $EEJ(HBIK-HDRW)$  bernilai negatif, maka telah terjadi aliran medan listrik menuju ke stasiun Biak dari stasiun Darwin sebagai konsekuensi koping lintang tinggi-rendah. Hal ini

karena EEJ(HBIK-HDRW) diperoleh dari pengurangan nilai HBIK dengan nilai HDRW sehingga apabila nilai EEJ(HBIK-HDRW) negatif berarti nilai HBIK lebih besar dari nilai HDRW.

- Selama proses injeksi medan listrik berlangsung (sebelum nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai nilai minimum), lapisan ionosfer di atas Sumedang

belum mulai mengalami gangguan signifikan. Saat EEJ(HBIK-HDRW) mencapai nilai minimum, lapisan ionosfer di atas Sumedang mulai mengalami depresi nilai foF2-nya dan terus berlangsung bersamaan dengan EEJ(HBIK-HDRW) kembali menuju ke keadaan normal (*recovery phase*).

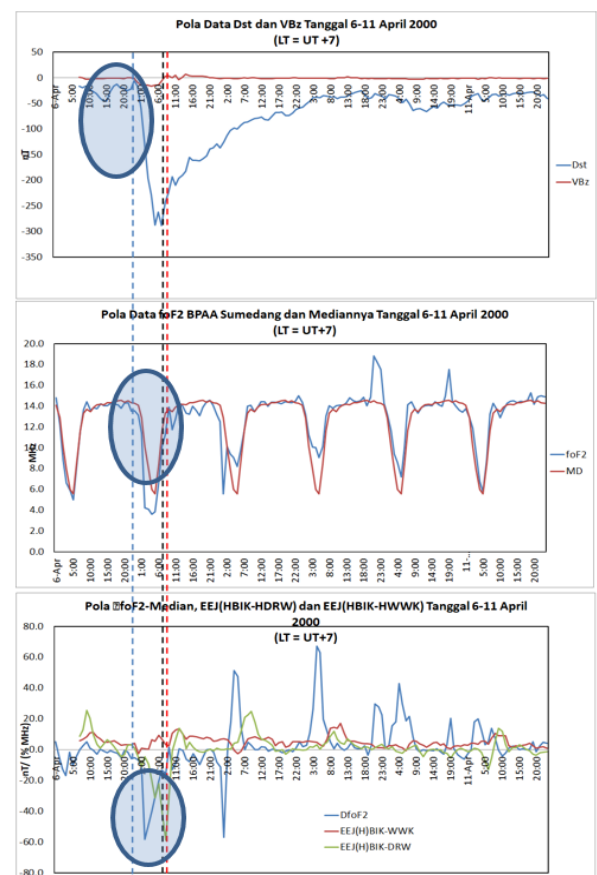


Gambar 3-1:Grafik Pola Data EEJ(HBIK-HDRW), EEJ(HBIK-DRW) dan indeks Dst

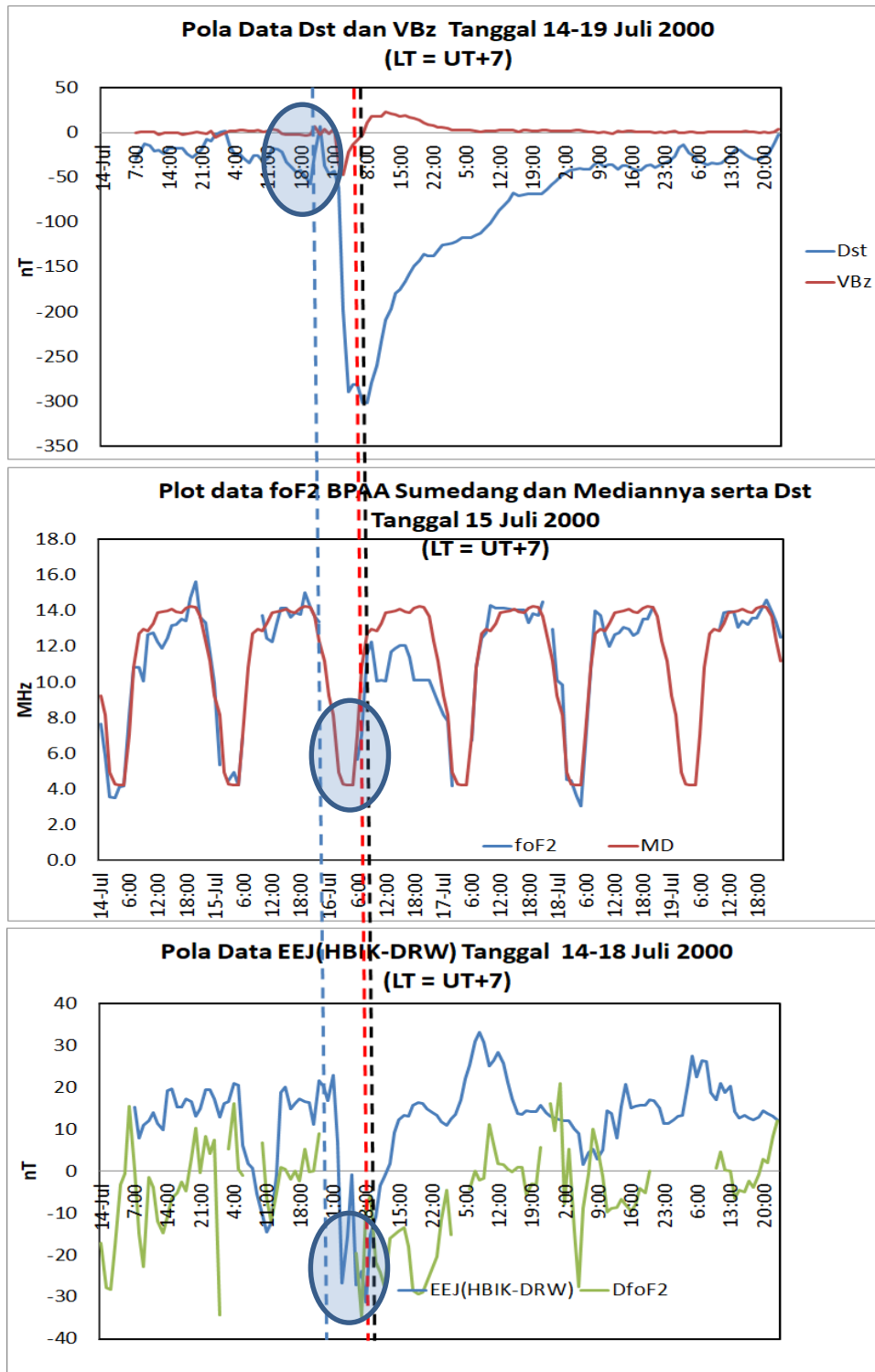
Secara umum, nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai nilai minimum bersamaan atau setelah nilai indeks Dst mencapai nilai minimum sebagai konsekuensi normal dari partikel Matahari masuk ke magnetosfer dimulai dari kutub menuju ke lintang rendah. Akibatnya terjadi depresi foF2 BPAA Sumedang akibat badai geomagnet terjadi bersamaan atau setelah indeks Dst mencapai titik minimumnya karena nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai minimum bertepatan dengan indeks Dst mencapai minimum. Contohnya seperti tampak jelas terlihat pada kejadian badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 (Gambar 3-3) dan 6 November 2000 (Gambar 3-5). Pada kejadian badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 (Gambar 3-3), depresi foF2 BPAA Sumedang mulai terjadi pukul 08.00 WIB bertepatan dengan nilai EEJ(HBIK-HDRW) dan indeks Dst mencapai titik minimum. Sedangkan pada kejadian badai geomagnet tanggal 6 November 2000 (Gambar 3-5), depresi foF2 BPAA Sumedang mulai terjadi pukul 12.00 WIB tanggal 7 November 2000 bertepatan dengan nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai titik minimumnya. Pada kejadian badai geomagnet ini, indeks Dst mencapai nilai minimum pada pukul 08.00 WIB tanggal 7 November 2000 atau 4 jam sebelum nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai nilai minimumnya. Dengan kata lain, depresi foF2 BPAA Sumedang terjadi 4 jam setelah puncak badai geomagnet. Hasil ini secara umum bersesuaian dengan hasil yang telah diperoleh oleh Lusiani et al. (2011) dan Yatini et al. (2009).

Pada beberapa kejadian badai geomagnet, nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai nilai minimum sebelum indeks Dst-nya mencapai nilai minimum. Hal ini menyebabkan onset depresi foF2 BPAA Sumedang terjadi mendahului indeks Dst mencapai titik minimumnya. Contohnya seperti tampak jelas terlihat pada kejadian badai geomagnet tanggal 12 Agustus 2000 (Gambar 3-4) dan 31 Maret

2001 (Gambar 3-6). Pada kejadian badai geomagnet tanggal 12 Agustus 2000 (Gambar 3-4), nilai indeks Dst mencapai minimum pukul 16.00 WIB dan nilai EEJ(HBIK-HDRW) mencapai titik minimum pukul 12.00 WIB tanggal 12 Agustus 2000. Artinya EEJ(HBIK-HDRW) mencapai minimumnya 4 jam lebih dulu daripada indeks Dst mencapai minimumnya. Depresi foF2 BPAA Sumedang mulai terjadi pukul 12.00 WIB bertepatan dengan EEJ(HBIK-HDRW) mencapai minimum. Dengan kata lain, foF2 BPAA Sumedang mulai mengalami gangguan sebelum indeks Dst mencapai nilai minimumnya.

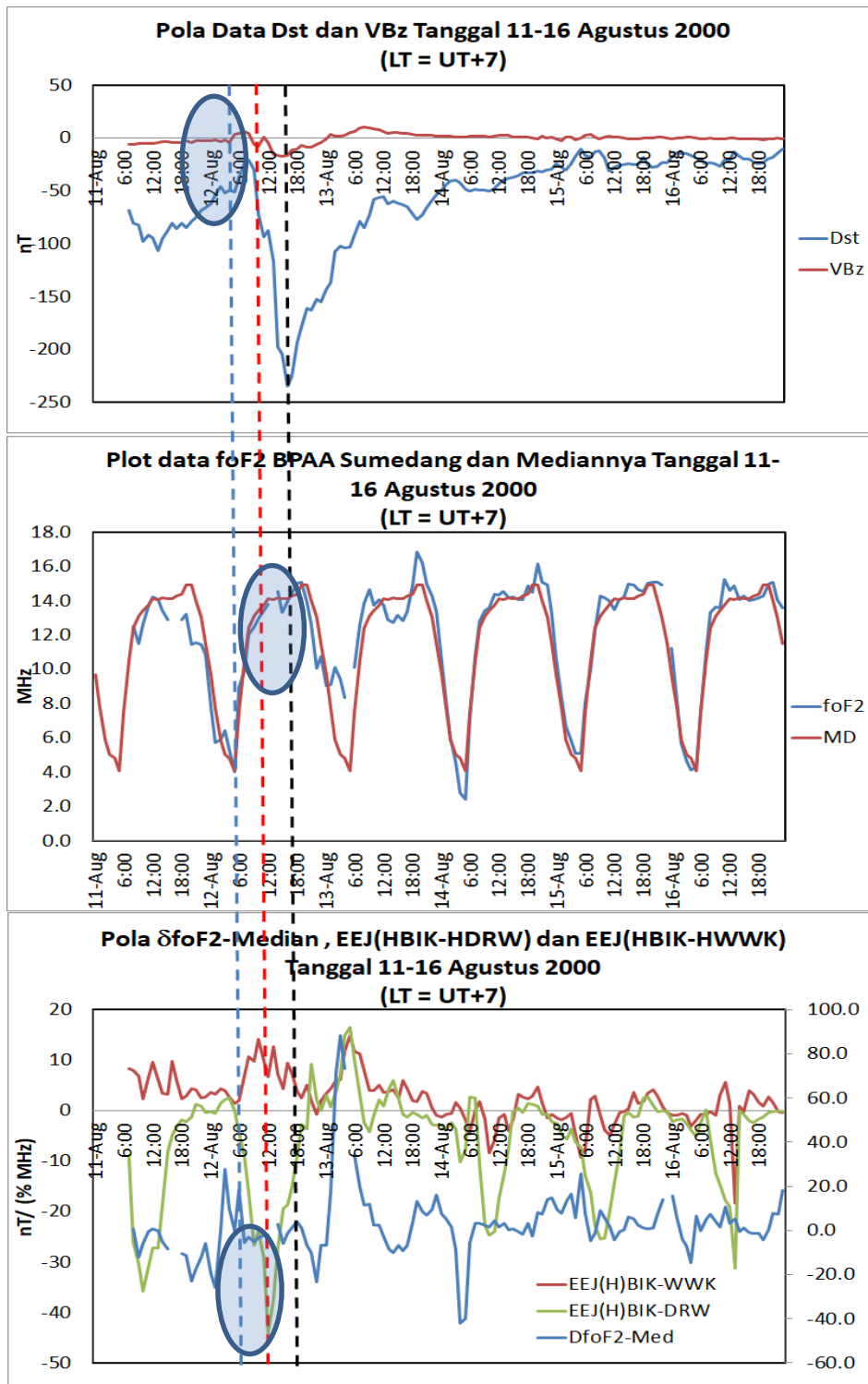


Gambar 3-2: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (tengah) serta EEJ(BHIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 6-11 April 2000. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi

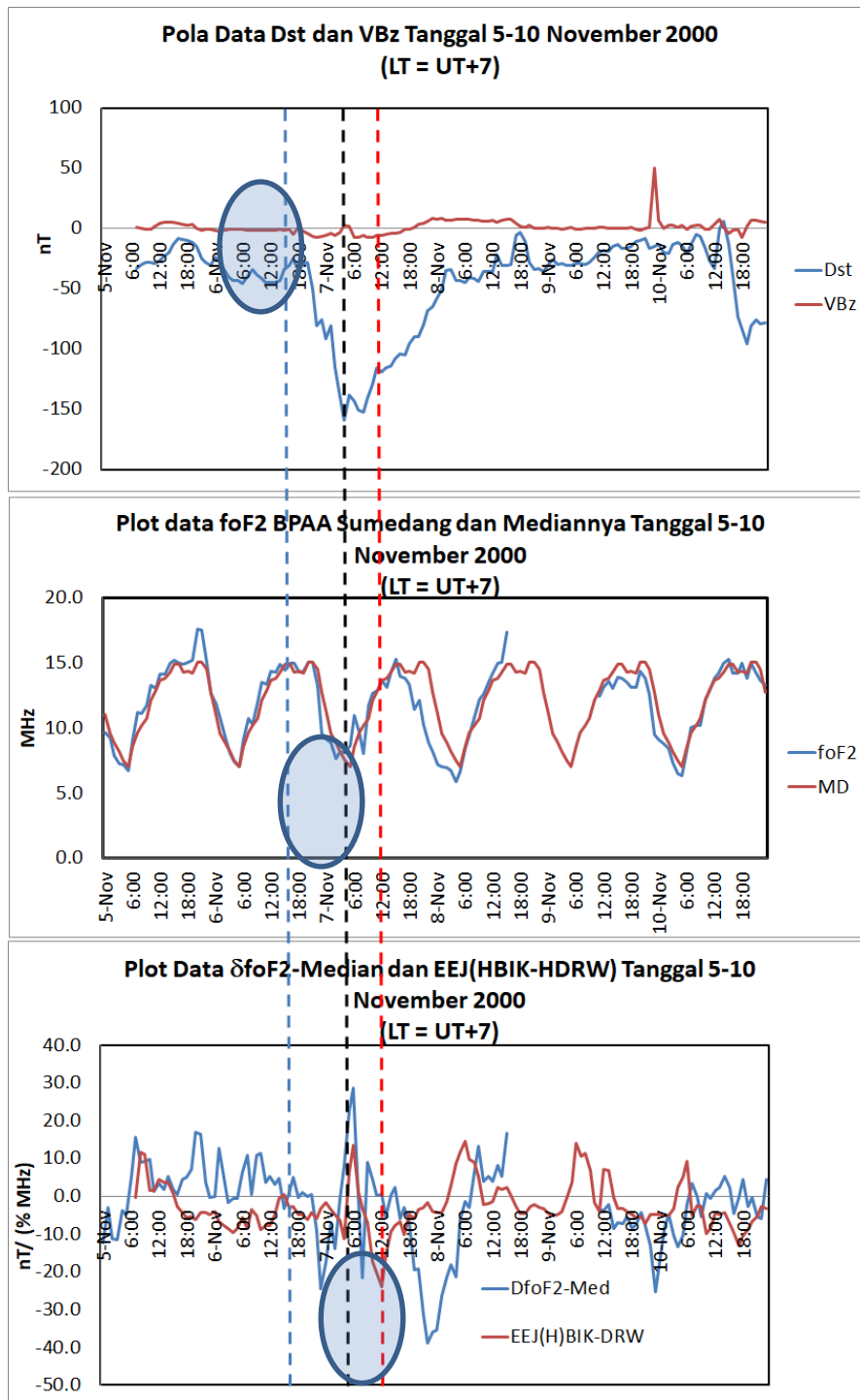


Gambar 3-3: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (MHz) (tengah) serta EEJ(BHIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 14-18 Juli 2000. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi.

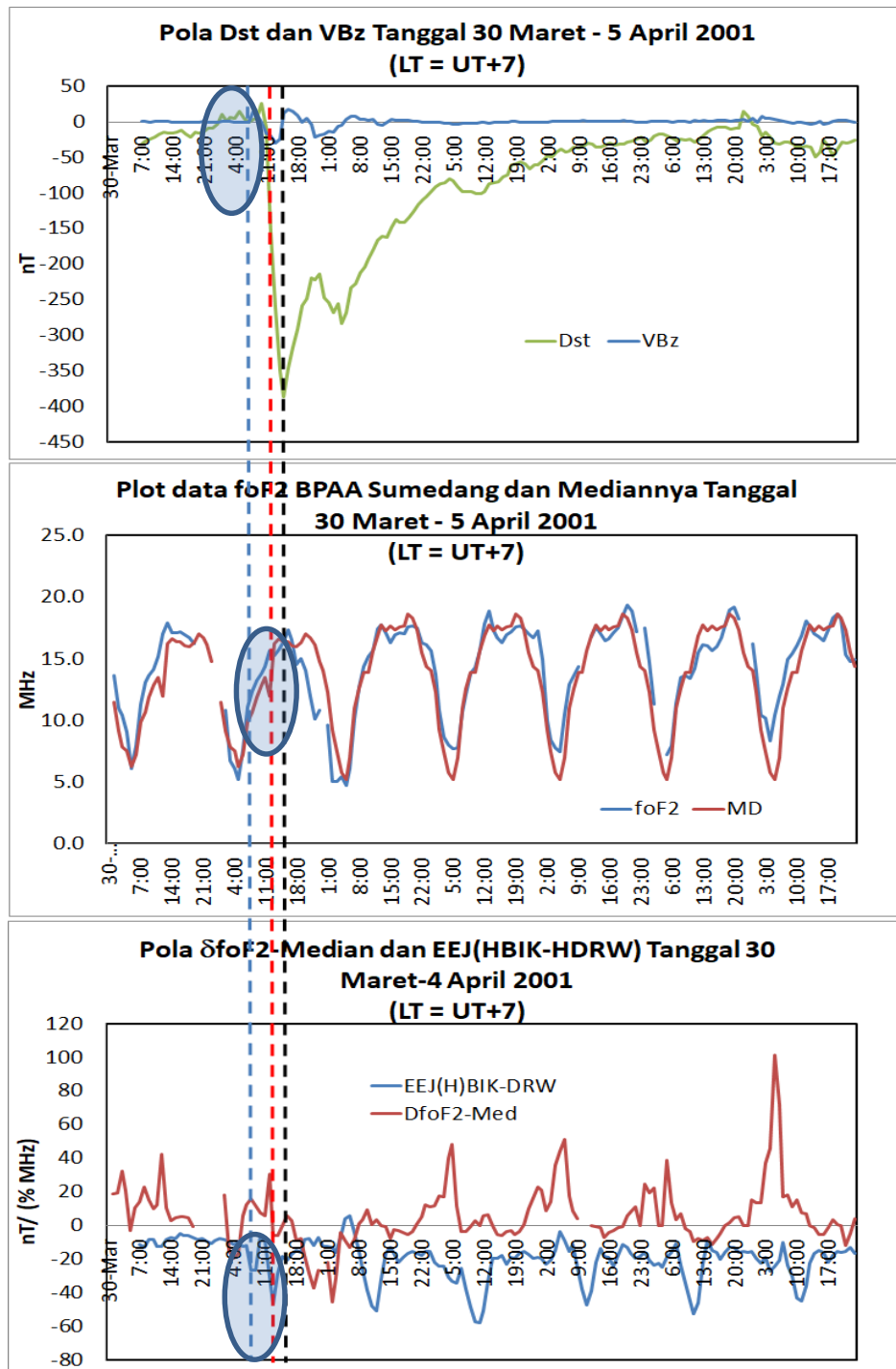




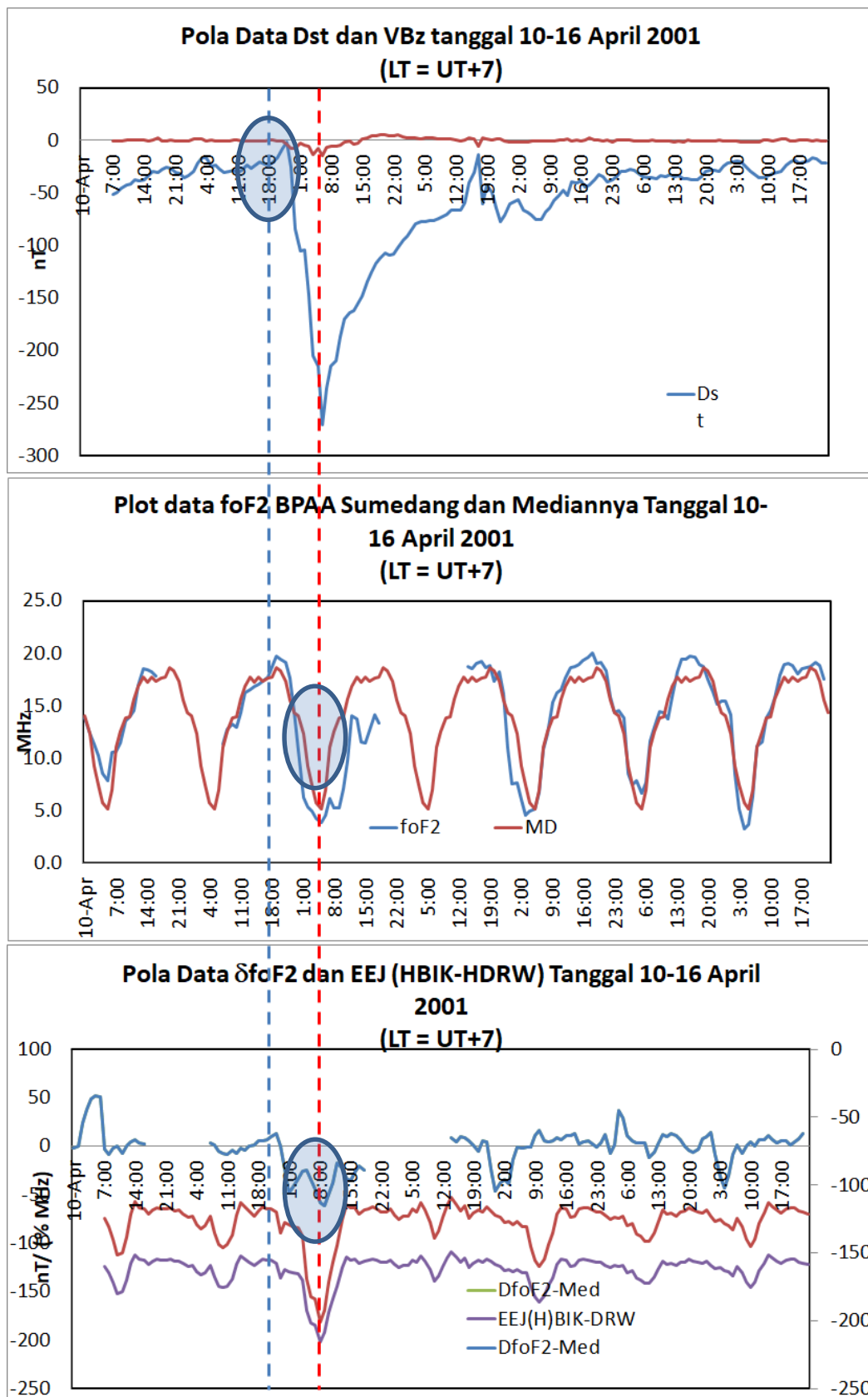
Gambar 3-4: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (tengah) serta EEJ(HBIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 14-16 Agustus 2000. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi.



Gambar 3-5: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (tengah) serta EEJ(BHIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 5-10 November 2000. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi.



Gambar 3-6: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (tengah) serta EEJ(BHIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 30 Maret-4 April 2001. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi.



Gambar 3-7: Grafik pola indeks Dst dan VBz (atas), foF2 BPAA Sumedang dan mediannya (tengah) serta EEJ(BHIK-HWWK), EEJ(HBIK-HDRW), dan  $\Delta$ foF2 BPAA Sumedang ( $\delta$ foF2<sub>SMD</sub>) (bawah) tanggal 10-16 April 2001. Garis vertikal putus-putus (a) biru adalah onset Dst, (b) hitam adalah titik Dst mencapai minimum, dan (c) merah adalah titik EEJ mencapai minimum bertepatan dengan onset foF2 mulai terdepresi.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam makalah ini adalah bahwa pada saat terjadi badai geomagnet maka akan terjadi injeksi medan listrik dari lintang tinggi ke lintang lebih rendahnya. Hal ini dibuktikan dengan EEJ(HBIK-HDRW) bernilai negatif. Nilai foF2 ionosfer BPAA Sumedang mulai terdepresi bertepatan dengan nilai minimum (negatif) EEJ(HBIK-HDRW). Pola EEJ(HBIK-HDRW) mencapai titik minimumnya dapat terjadi sebelum atau setelah indeks Dst mencapai nilai minimumnya sehingga onset depresi foF2 BPAA Sumedang juga dapat terjadi sebelum atau setelah indeks Dst mencapai nilai minimumnya. Pada makalah ini beda waktu antara EEJ(HBIK-HDRW) mencapai minimum dengan indeks Dst mencapai minimum berkisar antara 0 sampai 4 jam baik sebelum dan sesudah indeks Dst mencapai minimum. Namun, untuk beda waktu 0 sampai 4 jam sebelum indeks Dst mencapai minimum merupakan temuan berbeda dari hasil mereka.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Sains Antariksa atas diperkenankannya menggunakan data ionosfer BPAA Sumedang dan medan geomagnet stasiun Biak. Terima kasih juga disampaikan kepada tim *scaling* ionogram yang telah men-*scaling* data ionogram untuk mendapatkan nilai foF2 (salah satu parameter ionosfer) BPAA Sumedang yang digunakan sebagai analisis dalam penelitian ini.

#### DAFTAR RUJUKAN

Abdu, M.A., J.H.A. Sobral, E. R. Paula, I. S. Batista, 1991. Magnetospheric disturbance effects on the Equatorial Ionization Anomaly (EIA): an overview. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 53, 757-771

- Abdu, M. A., 1997. *Major phenomena of the equatorial ionosphere thermosphere system under disturbed conditions*, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 59, 1505-1519.
- Abdu, M. A., 2001. *Outstanding problems in the equatorial ionosphere thermosphere electrodynamics relevant to spread-F*, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 63, 869-884.
- 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.
- Gopalswamy, N., 2009. *Halo coronal Mass ejections and geomagnetic storm*, *Earth Planet Space*, 61, 1-3
- Kumar, P., W. Uddin, A. Taori, R. Chandra, and S. Bisht, 2010. *Ionospheric response to the space weather event of 18 November 2003-An investigation*, *Indian Journal of Radio & Space Physics*, Vol 39, pp 290-295.
- Lusiani, E. S. Mumpuni, J. A. Utama, 2011. *Analisis kaitan badai geomagnet dengan badai ionosfer sebagai dampak kejadian Lontaran massa korona Matahari (Oktober-November 2003)*, *Prosiding Seminar Nasional Astronomi Indonesia*.
- Mannucci, A.J., B.T. Tsurutani, B.A. Iijima, A. Komjathy, A. Saito, W.D. Gonzalez, F.L. Guarnieri, J.U. Kozyra, and R. Skoug, 2005. *Dayside global ionospheric response to the major interplanetary events of October 29-30 2003 "Halloween storms"*, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12S02, DOI: 10.1029/2004GL021467.
- Mukherjee S., S. Sarkar, P. K. Purohit, A. K. Gwal, 2010. *Effect of geomagnetic storms in the Equatorial Anomaly Region observed from ground based data*, *Int. Journal of Geomagnetism and Geosciences*, Vol. 1, No. 3, pp. 478-488.
- Veenadhari, B. dan S. Alex, 2006. *Space weather effects on low latitude geomagnetic field and ionospheric plasma response*, *ILWS Workshop 206, GOA, India*.

Yatini C. Y., Jiyo, dan M. Ruhimat, 2009. *Badai Matahari dan Pengaruhnya pada Ionosfer dan Geomagnet di Indonesia*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara Vo. 4 No.Hal.17-24.

Yumoto, K. and The 210° MM Magnetic Observation Group, (1995). *Initial results from the 210° magnetic meridian project—Review*, J. Geomag. Geoelectr., 47, 1197–1213.