

BADAI MATAHARI DAN PENGARUHNYA PADA IONOSFER DAN GEOMAGNET DI INDONESIA

Clara Y. Yatini, Jiyo, Mamat Ruhimat

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

email: clara@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Enhanced stream of solar plasma during solar flares and coronal mass ejection can affect the space weather. The most obvious feature of space weather disturbance is the phenomena known as geomagnetic storm, which can affect the ionospheric electron densities. Some eruptive phenomena occurred on the sun lead to the disturbances on geomagnetic field and ionosphere of Indonesia. Some X-class solar flares and their associate CMEs, on 2000 July 14, 2003 October 28 and 29, have strong impact to the geomagnetic field and the ionosphere of Indonesia. The geomagnetic field disturbance are represented with the started of sudden storm commencement (SSC) followed by the decrease of magnetic field strength. The ionospheric disturbance is represented by the wide deviation between the critical frequencies of F2 layer with its median.

ABSTRAK

Cuaca antariksa sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari, terutama oleh naiknya aliran plasma yang berasal dari flare dan lontaran massa korona. Salah satu akibat dari aktivitas matahari ini adalah munculnya badai geomagnet yang dapat mempengaruhi kerapatan elektron di ionosfer. Beberapa peristiwa eruptif di matahari mempengaruhi geomagnet dan ionosfer di Indonesia. Beberapa flare dengan kelas sinar X yang kuat, yaitu flare tanggal 14 Juli 2000, 28, dan 29 Oktober 2003, dan lontaran masakorona yang menyertainya, mempunyai dampak yang cukup besar terhadap geomagnet dan ionosfer di Indonesia. Pengaruh pada geomagnet terlihat dengan adanya *Sudden Storm Commencement* (SSC) dan turunnya kuat medan magnet, sedangkan pada ionosfer ditandai dengan munculnya deviasi yang besar dari frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) terhadap mediannya.

Kata kunci: *Aktivitas matahari, Geomagnet, Ionosfer*

1 PENDAHULUAN

Aktivitas matahari, terutama flare dan lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*), dapat menyebabkan gangguan di lingkungan bumi (Landi et al., 1998; Cane et al., 2000; Zhang et al., 2003). Salah satu bentuk gangguan tersebut adalah munculnya badai geomagnet. Badai geomagnet dapat terjadi apabila angin surya mempunyai kecepatan tinggi. Plasma ini berasal dari CME dan lubang korona yang mengenai medan magnet bumi. Lontaran massa korona (CME) akan menyebabkan partikel-

partikel bermuatan dan berenergi tinggi lepas dari permukaan matahari yang akan sampai di bumi setelah 1 – 4 hari (misalnya dalam Wu et al., 2006). Proses rekoneksi terjadi apabila angin surya yang datang mempunyai medan magnet yang mengarah ke selatan. Energi plasma ini akan mencapai magnetosfer bumi dan atmosfer bumi bagian atas.

Perubahan yang terjadi di magnetosfer bumi mempunyai kontribusi yang cukup besar pada struktur dan dinamika ionosfer. Selama naiknya aktivitas geomagnet, kerapatan plasma

dan medan listrik ionosfer di lintang rendah akan mengalami gangguan. Selain itu, flare yang terjadi di matahari akan memancarkan radiasi elektromagnetik. Sinar ultra violet dan sinar X yang merupakan bagian dari radiasi ini akan memperbanyak ionisasi yang terjadi di ionosfer, yang akan berakibat pada berubahnya kerapatan ionosfer dan akan mempengaruhi komunikasi radio. Akibatnya magnetosfer akan terpengaruh dan mengakibatkan munculnya badai geomagnet. Selama badai geomagnet ionosfer akan sangat terpengaruh, terutama perambatan gelombang radio (Risbeth, 1988).

Penelitian mengenai pengaruh aktivitas matahari terhadap geomagnet dan ionosfer dapat dilakukan dengan dua cara. Yang pertama adalah dengan mempelajari periodisitas parameter cuaca antariksa dan aktivitas matahari, sehingga diperlukan data yang lengkap dalam deret waktu yang panjang. Cara yang kedua adalah dengan studi terhadap beberapa peristiwa khusus, misalnya bila terjadi aktivitas matahari yang besar dan berenergi tinggi. Pada tulisan ini penelitian dilakukan menggunakan cara yang kedua, yaitu dilakukan analisis pengaruh aktivitas matahari dengan menggunakan peristiwa aktivitas matahari yang sangat besar, yang berpengaruh terhadap geomagnet dan ionosfer.

Pada siklus aktivitas matahari yang ke 23, yang dimulai pada tahun 1996 dan diperkirakan berakhir tahun 2007, telah terjadi banyak sekali flare yang sangat kuat, di antaranya adalah flare yang terjadi 14 Juli 2000 (*Bastille Day flare*) dan 28-29 Oktober 2003 (*Halloween flare*). Pada makalah ini akan diperlihatkan akibat yang ditimbulkan oleh badai matahari yang terjadi pada tanggal-tanggal tersebut. Gangguan akan dilihat pada geomagnet dan ionosfer di Indonesia. Tinjauan pengaruh badai

matahari pada geomagnet akan ditekankan pada perubahan kuat medan magnet komponen H (arah utara-selatan), sedangkan tinjauannya pada ionosfer akan ditekankan pada perilaku lapisan F2 yang mempunyai ketergantungan yang kuat pada aktivitas matahari.

2 DATA

Dalam tulisan ini tiga badai matahari yang besar terjadi pada tanggal 14 Juli 2000, 28 dan 29 Oktober 2003 akan dianalisis untuk mengetahui sejauh mana akibat gangguannya pada geomagnet dan ionosfer, khususnya di atas Indonesia. Untuk itu diperlukan data matahari, geomagnet, dan ionosfer. Data aktivitas matahari diambil dari *Solar Environment Center* untuk fluks sinar X dan data flare, serta dari *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO) untuk citra matahari dalam panjang gelombang 195Å dan citra CME. Data peristiwa CME diperoleh dari SOHO/LASCO CME catalog.

Data geomagnet diperoleh dari Stasiun Pengamat Biak dengan koordinat geografis 1.08° lintang selatan dan 136.5° bujur timur dan koordinat geomagnet 12.8° lintang selatan. Pengamatan dilakukan menggunakan *fluxgate magnetometer* dengan interval waktu 1 menit dan *noise level* 0.02 nT.

Data pengamatan ionosfer akibat badai matahari ini dilakukan di Stasiun Pengamat Tanjungsari (posisi geografis 6° lintang selatan dan 106° bujur timur, dan koordinat geomagnet 18° lintang selatan). Pengamatan ionosfer dilakukan dengan menggunakan ionosonda IPS 71 yang bekerja pada frekuensi 2 hingga 22 MHz. Data yang dihasilkan berupa ionogram yang berisi informasi ketinggian dan frekuensi lapisan ionosfer. Dalam hal ini lokasi pengamatan tidak sama karena pengamatan geomagnet dan ionosfer pada waktu yang diinginkan tidak simultan. Dengan asumsi bahwa

koordinat lintang kedua stasiun pengamat tersebut tidak jauh berbeda, baik secara geografis maupun geomagnet, maka data kedua stasiun ini bisa digunakan bersama-sama.

3 HASIL DAN ANALISIS

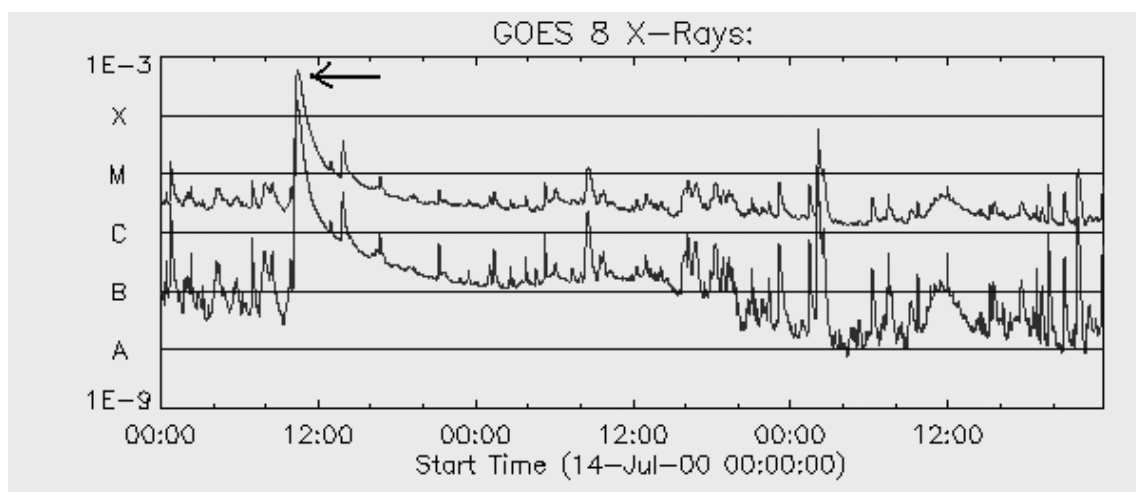
3.1 Badai Matahari tanggal 14 Juli 2000

Pada tanggal 14 Juli 2000 matahari melontarkan flare dengan kekuatan X5.7 (energi maksimumnya 5.7×10^{-4} Watt/m²) pada jam 10:03 UT. Fluks sinar X pada tanggal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-1. Flare ini berasal dari daerah aktif NOAA 9077 yang posisinya di 22° utara dan 7° barat matahari. Flare ini muncul disertai dengan lontaran sejumlah besar partikel bermuatan, yang disebut juga dengan lontaran masa korona (CME) yang diamati oleh SOHO/LASCO pada jam 10:54 UT (Gambar 3-2). CME ini mempunyai kecepatan rata-rata 1674 km/detik.

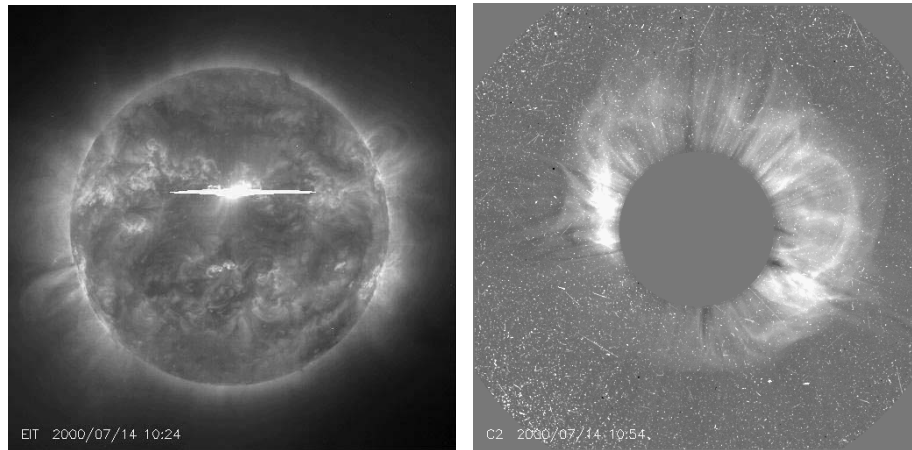
Kenaikan intensitas geomagnet secara tiba-tiba, yang disebut sebagai *Storm Sudden Commencement* (SSC) terlihat kira-kira 28 jam setelah terjadinya CME (tanda panah pada

Gambar 3-3), yaitu pada tanggal 15 Juli jam 15 UT. SSC ini kemudian diikuti oleh munculnya badai geomagnet yang kuat, hingga mencapai -300 nT. Pada saat badai kecepatan angin matahari naik hingga mencapai 1000 km/detik, dan komponen selatan medan magnet antar planet turun sampai -42 nT (sumber: Advanced Composition Explorer).

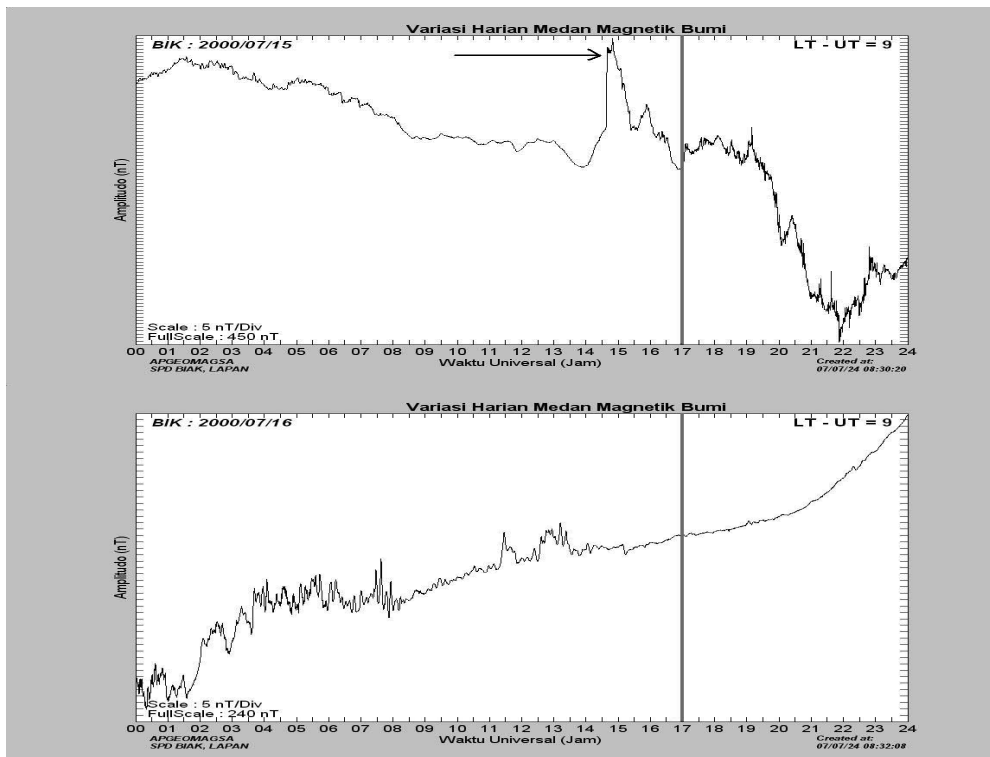
Akibat adanya badai matahari dan gangguan geomagnet ini, ionosfer, terutama lapisan F2, mengalami gangguan yang cukup besar. Respon lapisan ini digambarkan pada Gambar 3-4. Pada gambar ini frekuensi kritis foF2 digambarkan bersama dengan nilai mediannya selama tanggal 13 – 18 Juli 2000. Pada tanggal 13 – 15 Juli belum terlihat adanya perubahan pada frekuensi kritisnya. Keadaan ini disebut juga sebagai kondisi pra badai (*pre storm condition*). Kemudian pada tanggal 16 Juli terjadi penurunan frekuensi yang cukup besar, yang disebut sebagai badai negatif, yaitu sekitar 2-3 MHz. Menurut Risbeth (1998) efek negatif ini dapat disebabkan oleh berubahnya kerapatan ionosfer akibat proses transportasi.



Gambar 3-1: Fluks sinar X pada tanggal 14 sampai 16 Juli 2000. Fluks yang ditunjukkan oleh anak panah berasal dari daerah aktif NOAA 9077 (sumber: Yohkoh Solar Observatory)



Gambar 3-2: Flare 14 Juli 2000 yang terjadi jam 10:03 – 10:43 UT (kiri) and CME yang berasosiasi dengan flare tersebut (kanan) (Sumber: Solar and Heliospheric Observatory)

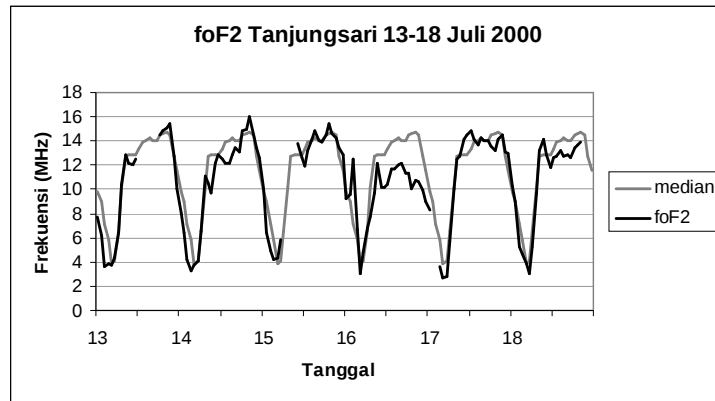


Gambar 3-3: Variasi komponen H medan magnet bumi pada tanggal 15 Juli (gambar atas) dan 16 Juli (gambar bawah) dari Stasiun Pengamat Biak

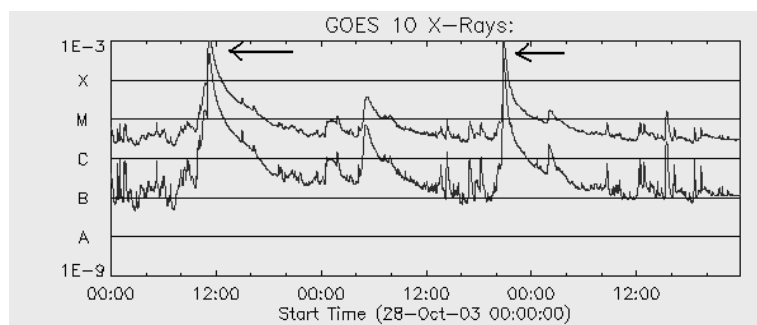
3.2 Badai Matahari 28 dan 29 Oktober 2003

Pada bulan Oktober 2003 terjadi beberapa flare yang sangat besar. Dua di antaranya adalah flare yang terjadi tanggal 28 dan 29 Oktober 2003 dari daerah aktif yang sama, yaitu NOAA 10486. Fluks sinar X selama rentang waktu tanggal 28 sampai 30 Oktober 2003 diperlihatkan pada Gambar 3-5. Pada tanggal 28 Oktober terjadi flare

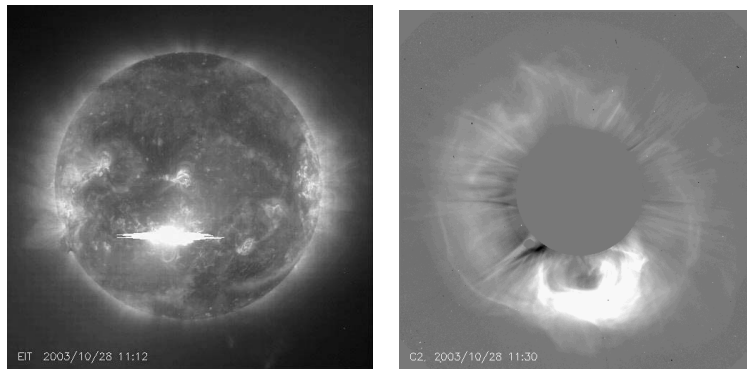
dengan kelas X17.2 yang muncul pada pukul 10:01 dan berakhir pada pukul 14:20 UT. Flare ini berkaitan dengan CME pada pukul 11:30 UT yang mempunyai kecepatan rata-rata sebesar 2459 km/detik. Flare besar berikutnya tanggal 29 Oktober dengan kelas X10 yang berlangsung dari pukul 20:37 sampai pukul 22:53 UT, dan berasosiasi dengan CME pada pukul 20:54 (Gambar 3-6 dan 3-7).



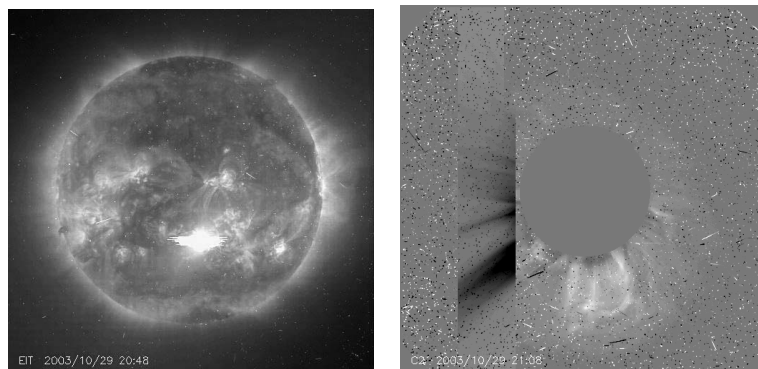
Gambar 3-4: Frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) yang diperoleh dari Tanjung Sari pada tanggal 13 – 18 Juli 2000 (garis tebal) dibandingkan dengan mediannya (garis tipis). Waktu dalam waktu lokal (UT+7)



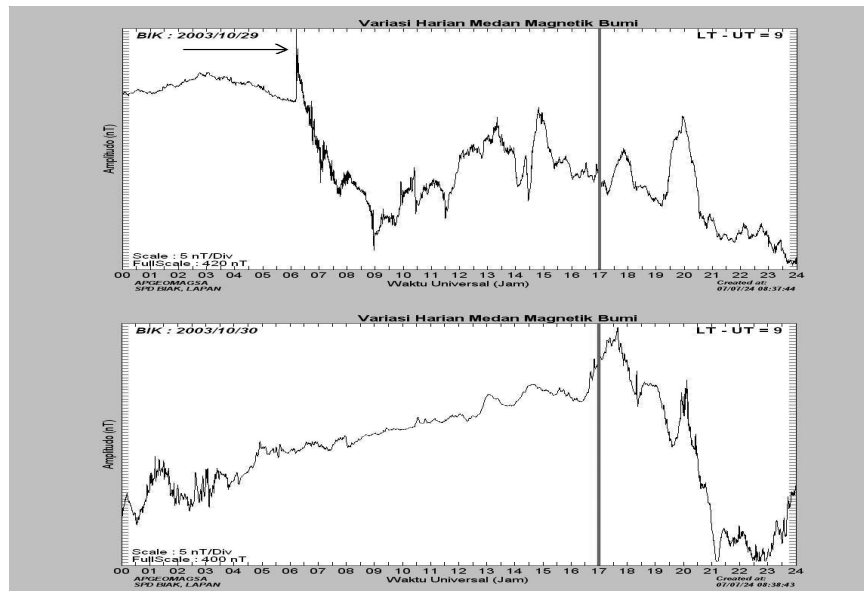
Gambar 3-5: Fluks sinar X pada tanggal 28 – 29 Oktober 2003. Fluks yang ditunjukkan oleh anak panah berasal dari daerah aktif NOAA 10486 (sumber: Yohkoh Solar Observatory)



Gambar 3-6: Flare kelas X17.2 yang terjadi pada tanggal 28 Oktober 2003 (gambar kiri) dan CME yang terkait dengan flare tersebut (gambar kanan). (Sumber: Solar Heliospheric Observatory / SOHO)



Gambar 3-7: Flare dengan kelas X10 tanggal 29 Oktober 2003 (gambar kiri) dan CME yang terkait (gambar kanan). (Sumber: Solar Heliospheric Observatory / SOHO)

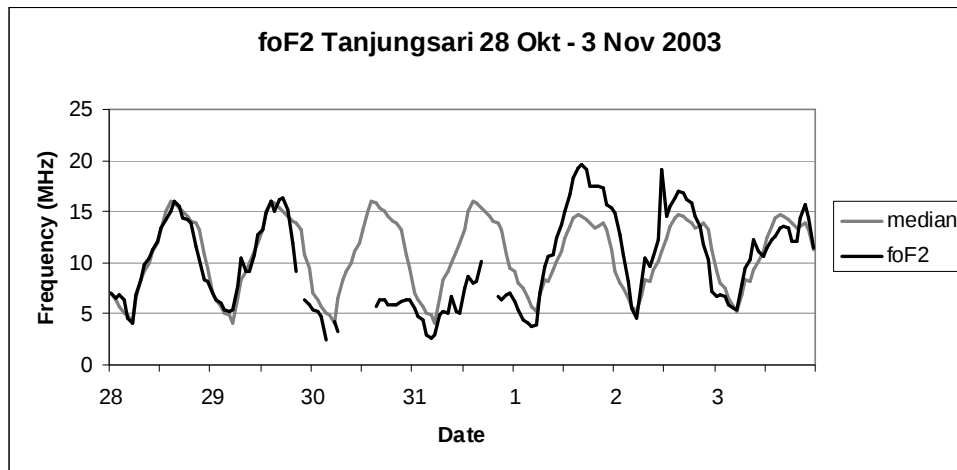


Gambar 3-8: Variasi komponen H pada geomagnet tanggal 29 (gambar atas) dan 30 Oktober 2003 (gambar bawah)

Gangguan yang dialami oleh geomagnet karena dua CME di atas diawali dengan munculnya SSC pada 29 Oktober jam 6 UT (Gambar 3-8), yaitu kira-kira 28 jam setelah terjadinya CME yang pertama (tanggal 28 Oktober). Kecepatan angin matahari naik sangat tinggi, pada saat ini mencapai 1810 km/detik, yang diikuti juga oleh munculnya gelombang kejut. Medan magnet antar planet yang mengarah ke selatan (B_z) turun sampai -24.49 nT (sumber: *Advanced Composition Explorer*). Gangguan ini berlanjut, karena munculnya CME yang kedua, yang menunjukkan penurunan kembali komponen H medan magnet bumi pada tanggal 30 Oktober sekitar jam 17 UT. Medan magnet antar planet B_z kembali turun menjadi -29.18 nT. Gangguan geomagnet yang kedua ini juga disertai dengan angin surya dengan kecepatan mencapai 1760 km/detik.

Untuk melihat respon ionosfer akibat adanya badai matahari dan gangguan geomagnet ini, pada Gambar 3-9 diperlihatkan variasi foF2 terhadap mediannya untuk rentang waktu tanggal 28 Oktober – 3 November 2003. Kondisi pra badai terlihat pada tanggal 28 dan 29 Oktober. Setelah itu selama dua hari,

yaitu tanggal 30 dan 31 Oktober, frekuensi kritis lapisan F2 tampak turun (dikenal sebagai badai negatif) jauh di bawah median bulannya. Badai negatif ini disusul kemudian dengan munculnya badai positif, yaitu frekuensi jauh di atas mediannya, selama dua hari, yaitu tanggal 1 dan 2 November. Apabila badai negatif disebabkan oleh berubahnya komposisi atmosfer karena berkurangnya plasma yang terionisasi (Risbeth, 1998), maka badai positif ini ditengarai sebagai akibat dari adanya penetrasi ke ionosfer lintang rendah (Chi et al., 2005). Penetrasi ini akan mengakibatkan naiknya ketinggian lapisan F yang kemudian menaikkan ionisasi. Meskipun mekanisme fisis yang terjadi belum dapat dijelaskan dengan pasti, tetapi menurut Sojka et al. (1999) ada empat mekanisme yang dapat menjelaskan badai positif ini, yaitu (1) naiknya lapisan F karena *Travelling Atmospheric Disturbance* (TAD) yang bergerak menuju ekuator, (2) naiknya kecepatan ionisasi dan berkurangnya kecepatan hilangnya ion, (3) Bergeraknya plasma dengan kerapatan tinggi ke kerapatan rendah, dan (4) naiknya lapisan F karena medan listrik zonal.



Gambar 3-9: Frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) yang diamati di Tanjungsari tanggal 28 Oktober – 3 November 2003 (garis tebal), dibandingkan dengan mediannya (garis tipis)

4 KESIMPULAN

Dalam makalah ini telah diperlihatkan keterkaitan yang erat antara CME yang merupakan sumber gangguan dari matahari dengan badai yang terjadi di magnet bumi dan di ionosfer. Geomagnet mengalami dampak yang cukup besar akibat munculnya flare dan CME pada tanggal 14 Juli 2000 dan 28 serta 29 Oktober 2003. Gangguan pada geomagnet ini diawali dengan naiknya kuat medan magnet (*Sudden Storm Commencement/SSC*), yang kemudian diikuti oleh penurunan yang cukup besar yang ditunjukkan dengan turunnya komponen utara-selatan geomagnet sampai 400 nT. Plasma yang dilontarkan dari flare dan CME akan menimbulkan gelombang kejut di medium antar planet dan akan membangkitkan gangguan di geomagnet (Fejer, et al., 1983) dengan selang waktu sekitar 20 – 40 jam.

Demikian juga respon yang terlihat di ionosfer. Setelah terjadinya badai geomagnet, maka akan diikuti oleh munculnya badai ionosfer. Menurut Rastogi (1999) selang waktu antara munculnya badai geomagnet dan gangguan di ionosfer adalah sekitar 20 jam. Badai negatif dan positif terlihat pada profil frekuensi kritis lapisan F2. Kedua perubahan ini disebabkan oleh berubahnya kerapatan di ionosfer yang

bermula dari gangguan oleh aktivitas matahari.

Ledakan di matahari, yang dikenal sebagai flare dan lontaran massa korona akan mempengaruhi cuaca antariksa. Dari peristiwa aktivitas matahari yang dibahas di sini tampak bahwa flare dan CME yang terjadi mempunyai pengaruh yang kuat terhadap geomagnet dan ionosfer, sehingga untuk mengantisipasi dampak dari aktivitas matahari, perlu dilakukan prakiraan terhadap aktivitas matahari itu sendiri, terutama prakiraan munculnya flare dan CME.

DAFTAR RUJUKAN

- Advanced Composition Explorer, <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>.
- Chi, P.J., Russell, C.T., Foster, J.C., Moldwin, M.B., Engebretson, M.J., Mann, I.R., 2005. *Geophys. Res. Lett.* 32, L03S07.
- Cane, H.V., Richardson, I.G., St. Cyr, O.C., 2000. *Geophys. Res. Lett.* 27, 3591.
- Fejer, B.G., Larsen, M.F., Farley, D.T., 1983. *Geophys. Res. Lett.* 10, 5337.
- Landi, R., Moreno, G., Storini, M., Antalová, A., 1998, *J. Geophys. Res.* 103, A9, 20553.
- Rastogi, R.G., 1999. *Ann. Geophys.* 17, 1426.

- Risbeth, H., 1998. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 60, 1385.
- Sojka, J.J., Schunk, R.W., Thiemann, H., 1999. Proceeding 14th ESA Symposium on European Rocket and Balloons Programmes and Related Research, Postdam, Germany, p. 235.
- Solar and Heliospheric Observatory, <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>.
- SOHO/LASCO CMEcatalog, http://cdaw.gsfc.noaa.gov/CME_list/
- Space Environment Center, <http://www.sec.noaa.gov/>.
- Wu, C.C., Lepping, R.P., Gopalswamy, N., 2006. *Solar Physics* 239, 449.
- Yohkoh Solar Observatory, <http://www.imsal.com/SXT/>.
- Zhang, J., Dere, K.P., Howard, R.A., Bothmer, V., 2003. *Astrophys. J.* 582, 520.