

# Pengaruh Lontaran Masa Korona Pada Ionosfer

Suratno<sup>\*)</sup> dan Buldan Muslim<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa

<sup>\*\*)</sup>Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN

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

## Abstrak

Hasil analisis anomali  $f_oF_2$  ionosfer yang terjadi pada 15 -16 Juli 2000 dan 29 – 31 Oktober 2003, menunjukkan adanya keterkaitan dengan serangkaian aktivitas matahari yang terjadi beberapa hari sebelumnya. Aktivitas matahari tampak meningkat beberapa hari sebelum fenomena anomali tersebut terjadi.

Fenomena di matahari yang berperan atas terjadinya anomali di ionosfer adalah adanya lontaran masa korona (Coronal Mass Ejection/CME) yang mengindikasikan peningkatan partikel energetik dan terjadinya badai magnet Bumi. Fenomena ini erat hubungannya dengan semburan radio tipe II.

Kata kunci: Lontaran masa korona,  $f_oF_2$

## Abstract

We analyzed the  $f_oF_2$  ionosphere anomaly on July 15 - 16, 2000 and October 29 - 31, 2003 showed that there are closed association between solar activities and  $f_oF_2$  deviation that happened previous few days. The solar activities mount the few days before the ionosphere phenomena anomaly. The Coronal Mass Ejection (CME) is the solar phenomena which have an important role for the happening of ionosphere anomaly and indicates the improvement of energetic particles and the happening of geomagnetic storm. These phenomena close related to type II solar radio bursts.

Key words: Coronal Mass Ejection (CME), Critical frequency  $f_oF_2$ .

## 1. PENDAHULUAN

Korona matahari adalah atmosfer luar, memiliki medan magnet yang cukup kuat terutama diatas sunspot dengan struktur medan magnet tertutup karena polaritas kaki-kakinya berada di bintang matahari. Ketika terjadi rekoneksi antar garis-garis gaya medan magnet akan terjadi lemparan massa di korona tersebut. Peristiwa di atmosfer matahari ini yang disebut flare. Pelepasan massa gas dan medan magnet dengan tiba-tiba yang terbentuk sebagai lidah medan magnet disebut sebagai lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*).

Pada umumnya peristiwa CME sangat terkait dengan kejadian flare baik flare *Ha*, *X-ray* maupun semburan radio. Walaupun kadang-kadang CME bisa terjadi ketika peristiwa flare tidak terdeteksi.

Apabila CME sampai di atmosfer Bumi, akan memiliki implikasi yang sangat kuat antara lain merangsang timbulnya badai magnet bumi (*geomagnetic storm*). CME juga mengakibatkan adanya gelombang kejut (*shock wave*) yang menyeret partikel energetik yang dapat merusak peralatan elektronik satelit di antariksa yang berada diluar perlindungan medan magnet Bumi. Di atmosfer Bumi khususnya di ionosfer badai magnet akan menimbulkan gangguan pada lapisan tersebut terutama pada lapisan atas ionosfer ( $f_oF_2$ ) yang mengakibatkan dampak pada komunikasi radio HF. CME menjalar keluar dari matahari dengan laju sekitar

2000 km/detik, namun dalam penjarannya akan menurun sehingga menjadi hanya beberapa ratus kilometer per detik. Pada ketinggian 10 sampai 40 jejari matahari, laju muka gelombang kejut berubah dari  $\approx 1200$  km/detik sampai  $\approx 250$  km/detik. Lebih spesifik dilaporkan bahwa laju gelombang tersebut sebesar 834 km/detik (Robinson et al.1984), bahkan data dari LASCO menyebutkan kelajuan CME dibawah 100 km/detik. Suprijatno dkk.(1997) dari hasil penelitiannya dari hasil analisis dengan semburan tipe II melaporkan besar kelajuan antara 400-700 km/detik.

Sementara itu, peristiwa flare matahari juga menandai adanya peningkatan intensitas radiasi elektromagnet, terutama pada radiasi ultraviolet (UV, EUV dan XUV), radiasi sinar X-lunak dan sinar X-keras (*soft X-ray* dan *Hard X-ray*), serta partikel energetik yang terlempar dari titik rekoneksi dengan kecepatan  $\approx 0.15-0.7 c$  ( $c$  : kecepatan cahaya) dengan rata-rata kecepatan  $\approx 0.37c$  atau sekitar  $\approx 1.1 \times 10^8$  m/s (Fainberg & Stone, 1980). Dengan proses fotoionisasi peningkatan intensitas radiasi ini sangat memungkinkan menimbulkan anomali kerapatan elektron di lapisan ionosfer, khususnya pada lapisan F.

Apabila terjadi anomali perilaku lapisan ionosfer yang signifikan, misalnya lapisan  $f_oF_2$ , maka perlu ditinjau aktivitas matahari sebagai penyebab utamanya. Anomali bisa terjadi pada kuat medan geomagnet sebagai akibat dari adanya penjaran CME. Aktivitas matahari yang perlu ditinjau adalah CME, dan peningkatan radiasi UV dan X-ray. Untuk CME, disamping parameter-parameter CME (waktu kejadian/pengukuran, kelajuan, posisi, dll.) juga perlu ditinjau indikator lain yang juga menunjukkan adanya kejadian CME yaitu semburan radio matahari Tipe II. Peningkatan intensitas radiasi ditandai dengan fenomena flare *Ha* dan atau flare *Soft X-ray*, dan semburan radio tipe III sebagai indikasi adanya lontaran partikel energetik. Wang et al, 2005 menjelaskan adanya asosiasi yang kuat antara kejadian semburan radio tipe II, tipe III dan flare X ray.

Contoh kasus anomali ionosfer yaitu adanya deviasi  $f_oF_2$  yang signifikan, terjadi pada 15 - 16 Juli 2000 dan 29 - 31 Oktober 2003. Diduga bahwa *pertama*, pada saat-saat tersebut lapisan ionosfer dilewati oleh CME yang berasal dari flare matahari; *kedua*, adanya peningkatan intensitas radiasi sinar X dan atau sinar ultra violet dari matahari.

Dugaan pertama adalah adanya fenomena flare yang terjadi beberapa waktu sebelum tanggal-tanggal tersebut dalam orde waktu beberapa hari atau beberapa puluh jam sebelumnya dan ditandai dengan kemungkinan munculnya semburan radio tipe II. Hal ini perlu didukung data kejadian flare yang merangsang adanya gelombang kejut yang menjalar membawa partikel energetik yaitu CME.

Dugaan kedua adalah peningkatan intensitas radiasi UV dan X-ray terjadi pada waktu yang hampir bersamaan mengingat bahwa penjaran radiasi elektromagnet dari matahari hanya diperlukan waktu 8 menit. Fenomena ini perlu didukung data yang menunjukkan adanya peningkatan intensitas radiasi tersebut yaitu peningkatan jumlah sunspot yang mengindikasikan peningkatan daerah aktif di permukaan matahari, terjadinya kejadian flare *Ha* dan peningkatan intensitas radiasi  $F_{10.7}$  yang mengindikasikan adanya peningkatan intensitas sinar ultra violet dan sinar X. Sedangkan indikator adanya lemparan partikel energetik adalah munculnya semburan radio tipe III. Lemparan partikel ini dapat mengakibatkan gangguan di ionosfer dalam selang waktu 30-60 menit setelah kejadian semburan radio.

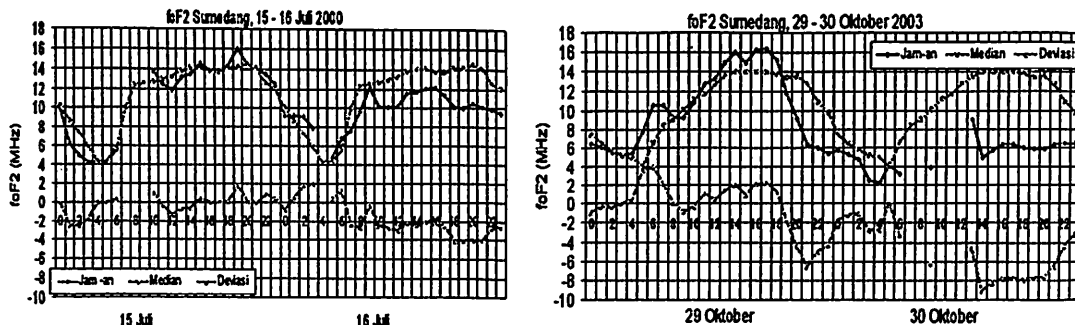
Kedua dugaan fenomena tersebut dapat terjadi kedua-duanya dan bila hal tersebut memang terjadi maka anomali  $f_oF_2$  akan semakin lebih signifikan.

## 2. ANOMALI IONOSFER DAN DATA UNTUK ANALISIS

Anomali ionosfer yang terjadi pada 15 dan 16 Juli 2000 mulai sekitar 07.00 UT (15/10/2000) dan 29 sampai dengan 31 Oktober 2003 mulai sekitar 3.00 UT (29/10/2003) dengan diagram seperti terlihat pada Gambar 2.1. Penyimpangan data harian yaitu terjadinya penurunan  $f_oF_2$  pada 15 atau 16 Juli 2000 dan mulai 29 sampai dengan 31 Oktober 2003. Bila dibandingkan dengan data median bulanan terdapat deviasi yang sangat signifikan yaitu

terjadinya penurunan  $f_oF_2$  hampir sepanjang waktu tersebut. Pada perioda waktu tersebut juga terjadi anomali medan magnet Bumi, ditandai dengan menurunnya Dst secara signifikan.

Fenomena anomali tersebut akan dianalisis keterkaitannya dengan lontaran masa korona didukung dengan data aktivitas matahari yaitu flare  $H\alpha$ , flare sinar-X,  $F_{10.7}$ , semburan radio matahari khususnya semburan tipe II, dan data pendukung lainnya dari lingkungan antariksa, yaitu partikel energetik matahari, angin plasma matahari dan medan magnet antar planet.



Gambar 2.1. Anomali ionosfer pada 15 – 16 Juli 2000 dan 29 – 31 Oktober 2003

Data CME diperoleh dari internet situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/otherinterest.html/> link ke situs [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) SOHO LASCO CME CATALOG yang memuat parameter First C2 Appearance Date Time [UT], Central Position Angle [deg], Angular Width [deg], Linear Speed [km/s], 2nd-order Speed at final height [km/s], 2nd-order Speed at 20 Rs [km/s], Accel[m/s<sup>2</sup>], Mass[gram], Kinetic Energy[erg], MPA [deg].

Data flare X-ray, semburan radio,  $H\alpha$  flare, bilangan sunspot dan data fluks radio  $F_{10.7}$  diperoleh dari Solar Geophysical Data situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/> dan <http://www.ips.gov.au/World Data Centre> memuat parameter Date (yyymmdd), Start time of observation, End time of observation, Event start time, Event end time, Spectral Class, dan keterangan lainnya.

Data pendukung lainnya yaitu plot data *Solar Energetic particle*, *Solar Wind Plasma* dan *Interplanetary Magnetic Field* diperoleh dari *Advanced Composition Explorer (ACE)* dari situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/>

### 3. METODOLOGI, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

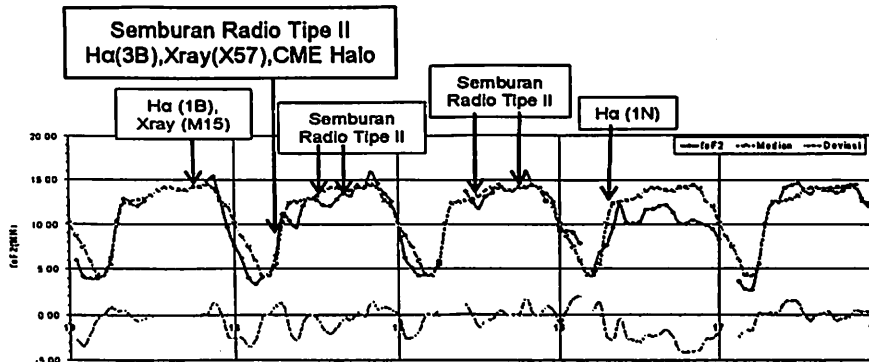
Lapisan ionosfer yang berada pada ketinggian sampai dengan 1500 km dari permukaan Bumi dan jarak antara Matahari - Bumi ~ 150 juta kilometer, maka dalam perhitungan penjalaran muka gelombang kejut (*shock front*) dari atmosfer matahari, jarak Matahari – Bumi dapat digunakan sebagai perhitungan pendekatan penjalaran gelombang tersebut.

Penyederhanaan juga dilakukan terhadap kecepatan CME yang digunakan kecepatan linier (seperti tertera pada data), sehingga dapat dihitung pendekatan waktu tempuh dari sumber korona matahari sampai lapisan ionosfer.

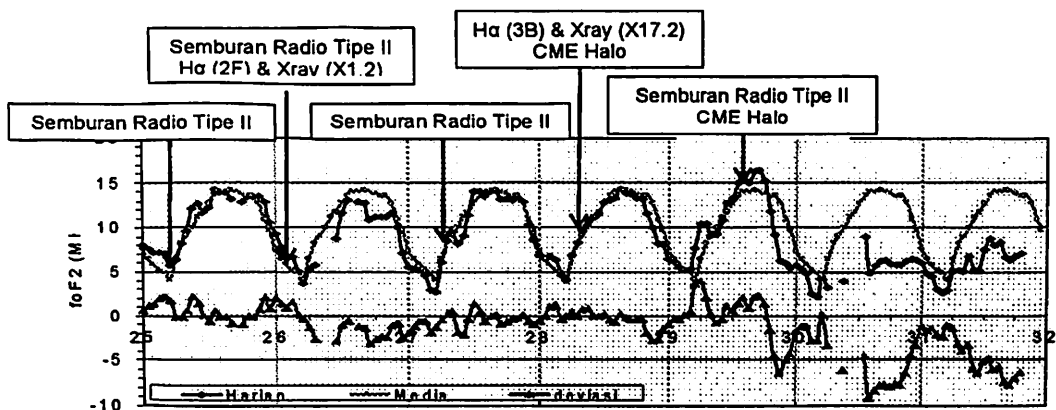
Dalam analisis selanjutnya dilakukan metoda kebalikan (dihitung mundur) bahwa semburan tipe II muncul sebelum kejadian di ionosfer atau anomali geomagnet sesuai dengan kecepatan CME.

Peristiwa adanya anomali, perlu ditampilkan rangkaian fenomena di matahari yang terjadi sebelum tanggal kejadian sampai 1(satu) hari sesudahnya. Untuk anomali 16 Juli 2000 ditinjau dari 13 sampai 17 Juli 2000 dan untuk anomali 29 Oktober 2003 ditinjau mulai dari 25 Oktober sampai 31 Oktober 2003. Diagram rangkaian kejadian peristiwa seperti terlihat pada Gambar 3.1. (a) dan (b).

Untuk kasus peristiwa pertama (15-16 Juli 2000), daerah aktif di matahari mulai nampak meningkat dari 5 Juli 2000 dan meningkat secara tajam mulai 15 Juli 2000. Terindikasi dari peningkatan jumlah sunspot dan intensitas  $F_{10.7}$  (Gambar 3.2 a), frekuensi peristiwa flare  $H\alpha$  dan flare X-ray (Gambar 3.3 a).



(a)

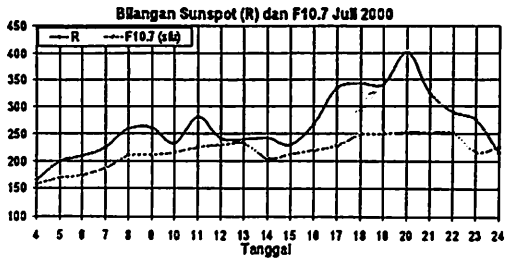


(b)

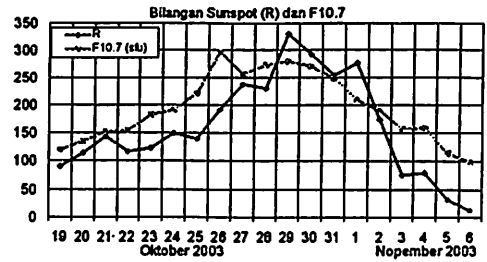
Gambar-3.1. Anomali di Ionosfer dan sketsa aktivitas matahari terkait. Pada (a) 13 – 17 Juli 2000 dan (b) 25 – 31 Oktober 2003

Demikian pula untuk kasus peristiwa yang kedua (29-31 Oktober 2003), aktivitas matahari tampak meningkat mulai 21 Oktober 2003 dan mencapai puncaknya pada 29/30 Oktober 2003. Gambar-3.2 (a) adalah data bilangan sunspot dan intensitas fluks radio  $F_{10.7}$  yang mengindikasikan adanya peningkatan aktivitas matahari pada periode waktu tersebut. Sementara frekuensi flare X-ray dan flare  $H\alpha$  menunjukkan pola yang berbeda dengan pola peningkatan sunspot dan  $F_{10.7}$  seperti terlihat pada Gambar-3.3 (b).

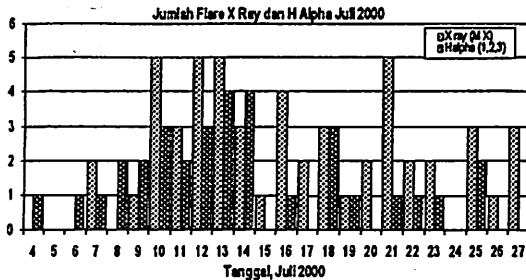
Antara bilangan sunspot (R), fluks  $F_{10.7}$ , radiasi sinar-X dan radiasi Ultra Violet memiliki korelasi yang sangat kuat dengan angka korelasi lebih dari 90% (Suratno, dkk. 2001). Oleh karena itu pada periode waktu tersebut, peningkatan jumlah sunspot dan peningkatan intensitas  $F_{10.7}$  mengindikasikan adanya peningkatan radiasi elektromagnet khususnya radiasi UV dan X-ray yang berperan pada aktivitas dan dinamika ionosfer.



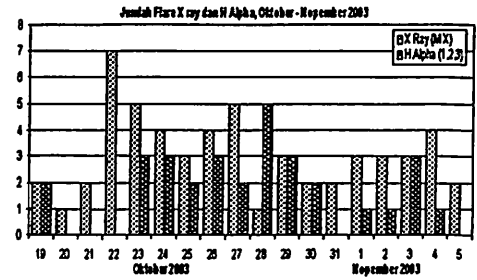
(a)



(b)

Gambar- 3.2. Bilangan sunspot dan intensitas fluks radio F<sub>10.7</sub>

(a)



(b)

Gambar- 3.3. Jumlah peristiwa flare X ray (klas M dan X) dan H $\alpha$  (klas 1,2,3)

Data semburan radio tipe III yang pada perioda tersebut banyak terjadi sepanjang perioda waktu, mengindikasikan adanya peningkatan jumlah dan intensitas partikel energetik yang (didominasi oleh elektron) terlempar keluar kromosfer matahari menuju ruang antar planet yang didukung dari data *Solar Energetic particle* yang meningkat pada perioda tersebut (Gambar 3.4 a). Data tentang *Solar Wind Plasma* dan *Interplanetary Magnetic Field* (Gambar 3.4 b dan c) mengindikasikan terjadinya gelombang kejut (*shock wave*) dan adanya kejadian semburan radio tipe II. Lebih dari itu mengindikasikan adanya aliran plasma dan aliran magnet matahari di ruang antar planet. Lin et al. (1981) menyatakan bahwa di dalam angin surya yang diamati di ruang angkasa pada jarak antara 0.3 dan 1 AU dari Matahari terdapat asosiasi yang erat antara arus elektron, gelombang plasma dan semburan tipe III. Arus elektron mengandung kira-kira  $10^{33}$  elektron dan memiliki penampang lintang  $1\text{AU}^2$  pada jarak 1AU.

Data CME yang diperoleh dari LASCO SOHO menunjukkan banyaknya kejadian adanya CME. Tipe CME Halo merupakan CME dengan Central Position Angle  $360^\circ$  yang dimungkinkan berperan besar pada dinamika atmosfer atas Bumi yaitu terhadap dinamika ionosfer, medan magnet Bumi dan kemungkinan sebagai indikasi adanya badai magnet.

Data ini menunjukkan bahwa kecepatan CME linier sangat bervariasi dan pada perioda waktu tersebut kecepatan terkecil adalah 62 km/detik dan tertinggi 2459 km/detik. Kecepatan ini menggambarkan juga kecepatan gelombang kejut yang berkurang atau dipercepat dengan meningkatnya jarak dari permukaan matahari. Dengan jarak matahari-Bumi sekitar 150 juta kilometer dan kecepatan rata-rata antara 500 km/detik dan 1000 km/detik, maka CME mencapai atmosfer Bumi memerlukan waktu kira-kira 42 jam sampai 83 jam. Bila kecepatan mencapai 2500 km/detik maka hanya diperlukan waktu sekitar 17 jam. Dampak CME akan terlihat adanya gangguan pada geomagnet yang ditandai dengan penurunan Dst Geomagnet.

Peristiwa pertama yang ditinjau yaitu untuk 16 Juli 2000 dan analisis diawali dari 13 Juli 2000. Pada 13 Juli 2000 banyak terjadi peristiwa flare H $\alpha$ , namun dengan kelas yang relatif rendah. Hanya ada satu peristiwa flare yang kuat (1B) terjadi pada 16.12 s.d 17.45 UT dengan puncak intensitas pada 16.23 UT. Pada waktu bersamaan terjadi flare X-ray dengan kelas M1.1 pada 16.15 s.d. 16.27 UT dan kelas M1.5 pada 16.28 s.d. 17.11 UT. Peristiwa CME tercatat

hanya terjadi sebanyak 4(empat) kali dengan lebar sudut (*angular width*) yang sempit ( $19^\circ$  s.d  $111^\circ$ ) dan kecepatan linier antara 176 dan 839 km/detik.

Pada 14 Juli 2000 terjadi peristiwa yang cukup lengkap yaitu flare H $\alpha$  pada kelas 3B pada 10.12 s.d. 11.45 UT, flare X ray yang kuat pada kelas X5.7 terjadi pada 10.03 s.d. 10.43 UT, semburan radio tipe II terjadi 3(tiga) kali berturut-turut 10.17 s.d. 10.27 UT, 12.57 s.d. 13.15 UT dan 14.33 s.d. 14.48 UT, dan adanya lontaran masa korona (CME) tipe halo teramati pada 10.54 UT dengan kecepatan linier 1674 km/detik.

Di lapisan F ionosfer terjadi penurunan foF2 seketika setelah kejadian flare H $\alpha$  dan sinar X. Tetapi penurunan foF2 ini diduga bukan terkait dengan peningkatan intensitas X-ray meskipun terjadi flare pada kelas X5.7, karena pada waktu bersamaan ada penurunan Dst yang mencapai -50 NT. Kerapatan elektron di lapisan ionosfer didominasi oleh kerapatan di lapisan F (Wang et. al. 2006), sementara Liu, J.H., et.al., 2006 menyebutkan bahwa keterkaitan erat antara variasi TEC (pada tengah hari) meningkat dengan peningkatan intensitas flare sinar-X hanya untuk flare kelas M dan kelas X. Oleh karena itu penurunan foF2 tersebut bukan sebagai akibat dari peningkatan intensitas sinar X dan ultra violet, tetapi diduga disebabkan oleh dinamika atmosfer lainnya yaitu adanya badai geomagnet yang ditandai indeks yang mencapai -50 NT.

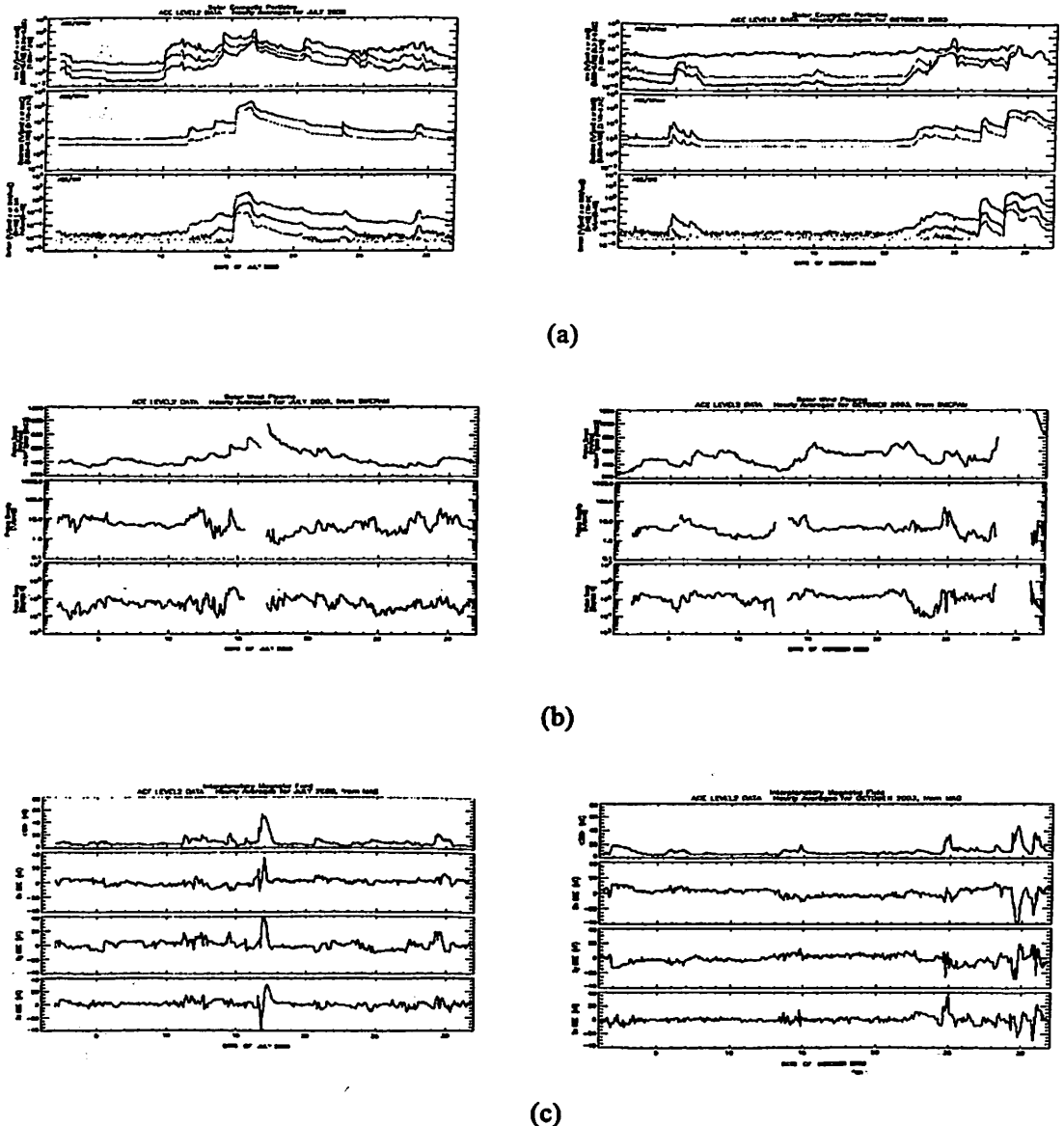
Sedangkan fenomena CME dengan kecepatan 1674 km/detik baru akan terasa sesudah kira-kira 24 -25 jam kemudian atau 15 Juli 2000 yang dapat terlihat bahwa pada 15 Juli 2000 10 s.d. 11.00 UT terjadi penurunan foF2. Hal ini didukung pula dengan data peningkatan *Solar Energetic particle*, *Solar Wind Plasma* dan *Interplanetary Magnetic Field*. Pada 15 Juli 2000 tidak terdapat peristiwa flare H $\alpha$  dan sinar X yang kuat, namun pada hari tersebut terjadi 2(dua) kali peristiwa semburan radio tipe II berturut-turut teramati pada 14.33 s.d. 14.48 UT dan 21.43 s.d. 21.50 UT. Hal ini ditunjukkan adanya peristiwa CME (meskipun bukan tipe Halo). Ada 2(dua) peristiwa CME yang teramati berturut-turut pada 18:06:05 UT dengan kecepatan linier 341 km/detik dan 20:45:07 UT. Tiadanya fenomena flare H $\alpha$  dan sinar X yang kuat pada 16 Juli 2000 maka dapat diperkirakan bahwa anomali ionosfer berupa penurunan foF2 pada 16 Juli 2000 disebabkan oleh lewatnya CME di ionosfer yang menimbulkan badai magnet Bumi seperti terlihat pada Gambar 3.5 (a) serta didukung oleh adanya peningkatan intensitas medan magnet antar planet (Gambar 3.4 c untuk Juli 2000).

Untuk peristiwa kedua yang ditinjau yaitu untuk 29 -31 Oktober 2003, pembahasan analisisnya dari 25 Oktober 2003 yang telah menunjukkan peningkatan jumlah sunspot, intensitas F $_{10.7}$ , frekuensi flare H $\alpha$  dan sinar X (Gambar 3.1 b dan 3.2 b). Pada periode ini banyak terjadi peristiwa flare H $\alpha$  kuat (kelas 3B), semburan radio tipe II, flare sinar X (kelas X) dan peristiwa CME baik tipe Halo maupun tipe bukan halo.

Pada 26 Oktober 2003 terjadi peristiwa yang hampir bersamaan yaitu semburan radio tipe II 06.49 UT dan berakhir 09:12 UT dan flare X-ray dengan intensitas X1.2 terjadi pada 05.57 s.d. 07.33 UT dengan puncak intensitas pada 06.54 UT dan flare optis 2F. Kejadian flare ini (dalam radio disebut semburan) akan berasosiasi dengan kejadian-kejadian CME pada waktu-waktu berikutnya. Kecepatan linier CME pada 06:54 UT adalah 1371 km/detik. Dengan asumsi kecepatan sama pada setiap level ketinggian maka gelombang kejut yang menyeret partikel energetik dan medan magnet akan sampai di atmosfer Bumi dalam waktu sekitar 30 jam kemudian. Karena tingkat aktivitas matahari relatif rendah (H $\alpha$  kelas 2F dan X-ray kelas X1.2), maka terlihat bahwa pada peristiwa ini tidak terjadi dampak yang signifikan pada ionosfer, hanya terlihat adanya variasi foF2 seperti nampak pada sketsa Gambar 3.1 (b) baik pada 26 ataupun pada 27 Oktober 2003. Anomali foF2 ada kemungkinan disebabkan peningkatan intensitas sinar ultraviolet dan atau sinar X yang memang meningkat.

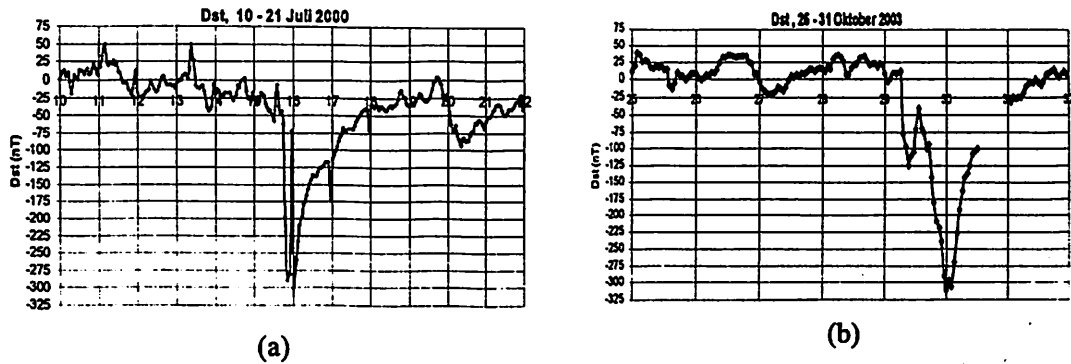
Pada 27 Oktober 2003 08:45 UT juga terjadi semburan radio tipe II dan berakhir 09.15 UT. Kecepatan CME pada 10.34 UT adalah 929 km/detik, sehingga dapat diperkirakan kira-kira dalam waktu 44 jam berikutnya akan terjadi anomali di ionosfer atau ada kemungkinan akan muncul badai magnet. Flare H $\alpha$  (3B) dan flare X ray (X17.2) terjadi pada 28 oktober

11:10 UT. CME halo teramati 28 Oktober 2003 11.30 UT, sehingga selisih waktu antara kejadian semburan radio tipe II kejadian CME adalah sekitar 27 jam 50 menit. Gangguan geomagnet (Gambar 3.5 b) terjadi pada 29 Oktober 2003 sekitar 06.00 UT atau selang waktu 47 jam 30 menit dari peristiwa flare atau 19 jam 30 menit dari kejadian CME. Kecepatan CME pada 27 Oktober 2003 8:30 UT adalah 1322 km/detik dan kecepatan CME halo pada 28 Oktober 2003 adalah 2459 km/detik. Dengan kecepatan sebesar ini maka diperkirakan akan terjadi anomali di ionosfer atau gangguan geomagnet setelah 17 jam dan 31 jam kemudian yaitu pada 28 dan 29 Oktober 2003. Dan pada tanggal-tanggal tersebut terjadi anomali yang signifikan dengan turunnya foF2 di ionosfer.



Gambar- 3.4. (a) Partikel energetik matahari, (b) angin plasma matahari dan (c) medan magnet antar planet mulai nampak meningkat pada 10, 12, 14 juli 2000, dan 21, 22, 24 Oktober 2003 dan mencapai puncaknya pada 16, 17 juli 2000 dan 29, 30 dan 31 Oktober 2003. (Gambar dari <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/>).

Semburan radio tipe II kembali terjadi pada 29 Oktober 2003 20:42 UT hampir bersamaan dengan peristiwa CME halo pada 20:54 UT. Kecepatan CME halo pada kejadian ini adalah 2029 km/detik. Ada kemungkinan gangguan geomagnet terjadi kira-kira 20 jam kemudian atau 30 Oktober sekitar 16.00 UT. Dst terus menurun dan mencapai minimum pada sekitar 00:00 UT 30 Oktober 2003.



Gambar-3.5. Gangguan geomagnet ditandai dengan turunnya Dst pada (a) 16 Juli 2000 dan (b) 29 Oktober 2003.

#### 4. KESIMPULAN

Terjadinya anomali di ionosfer yaitu adanya deviasi yang signifikan  $f_oF_2$  yang terjadi pada 15 -16 Juli 2000 dan 29 – 31 Oktober 2003, terkait dengan serangkaian aktivitas matahari beberapa hari sebelumnya. Pada dua kasus tersebut aktivitas matahari mulai tampak meningkat beberapa hari sebelum fenomena anomali ditandai dengan peningkatan jumlah sunspot, intensitas fluks radio  $F_{10.7}$ , dan meningkatnya jumlah kejadian flare H $\alpha$  dan sinar X serta adanya peningkatan intensitas angin plasma matahari, partikel energetik dan medan magnet antar planet.

Dinamika dan atau anomali yang terjadi di ionosfer disebabkan oleh beberapa fenomena antara lain dengan meningkatnya intensitas sinar ultra violet dan sinar-X yang berlangsung melalui proses fotoionisasi. Fenomena yang nampak sangat berperan terhadap deviasi  $f_oF_2$  adalah adanya lontaran masa korona CME yang mengakibatkan terjadinya badai magnet Bumi serta meningkatnya partikel energetik. Fenomena ini pula sangat erat terkait dengan fenomena semburan radio tipe II karena gerakan gelombang yang mengandung paket plasma, medan magnet matahari dan partikel energetik.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Fainberg J., Evans L.G., Stone R.G., 1972, *Science* 178,743.  
 Lin R.P., Potter D.N., Gurnett D. A., Scarf F.L., 1981, *Astrophys. Journal* , 251,364.  
 Liu, J.H., C.H. Lin, Y.I. Chen, Y.C. Lin, T.W. Fang, C.H. Chen, Y.C. Chen, and J.J. Hwang, 2006, *Solar flare signature of the ionospheric GPS total electron content, Journal of geophysical Research*, Vol. 111, A05308.  
 Suprijatno, Suratno & Ratag M.A., 1997, "Analisis Kecepatan Gelombang Kejut (Shock Wave) Pembentuk Semburan Radio Tipe II", Program Penelitian 1996/1997, Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN  
 Suratno, dkk., 2001, *Keterkaitan Indikator Aktivitas Matahari Sunspot,  $F_{10.7}$  dan Semburan Sinar X*, Warta LAPAN, Vol. 3 No. 2 Juni, 2001. ISSN 0126-9754.  
 Wang, S.J., Y.Yan, Q.Fu, Y.Liu, and Z.Chen, 2005, *Multi-Wavelength Radio Features Associated with Large CMEs on Oct. 26-28, 2003, Proceedings IAU Symposium No. 226*, 2005.

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/otherinterest.html/>

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/>

<http://www.ips.gov.au/World Data Centre>