

## PENGARUH BADAI MATAHARI OKTOBER 2003 PADA IONOSFER DARI TEC GIM

Buldan Muslim<sup>1,\*</sup>

Pusat Sains Antariksa

Deputi Bidang Pengakajian, Sains dan Informasi Kedirgantaraan, LAPAN

Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung 40173

\*Email : [buldan@bdg.lapan.go.id](mailto:buldan@bdg.lapan.go.id), [mbuldan@yahoo.co.id](mailto:mbuldan@yahoo.co.id)

### Abstrak

Badai matahari jenis CME yang mengarah ke bumi dapat menimbulkan badai ionosfer. Makalah ini membahas pengaruh CME Oktober 2003 pada ionosfer secara global dari Global Ionospheric Map (GIM). Dengan cara mengitung simpangan TEC dari nilai median bulanannya, besar badai ionosfer dapat diperkirakan. Telah terjadi peningkatan TEC (badai ionosfer positif) selama 2 jam di daerah anomali ionisasi ionosfer, dengan nilai simpangan maksimum 70 TECU di sebelah utara ekuator geomagnet di atas Taiwan yang terjadi sekitar 21 Jam setelah CME tanggal 28 Oktober 2003. Kenaikan TEC di atas 120 TECU juga terjadi setelah 35 jam di sebelah barat Amerika bagian utara. Pengaruh CME ganda tanggal 28 dan 29 Oktober 2003 juga terlihat di daerah Amerika Utara berupa kenaikan TEC hingga 100 TECU. Peningkatan TEC di sebelah utara ekuator geomagnet lebih besar dibanding di sebelah selatan ekuator geomagnet. Secara umum, di Indonesia terjadi penurunan TEC (badai ionosfer negatif) sampai lebih dari 50 % selama sekitar 14 jam. Dengan menggunakan asumsi bahwa badai ionosfer dari data TEC sebanding dengan badai ionosfer yang diamati dari data frekuensi kritis lapisan F2 (foF2), besar badai ionosfer dari TEC GIM dapat digunakan untuk perkiraan gangguan komunikasi HF khususnya di daerah yang mengalami badai negatif.

**Kata kunci:** Badai matahari, ionosfer, TEC GIM

### PENDAHULUAN

Studi respon ionosfer terhadap CME 28 dan 29 Oktober dengan data okultasi GPS menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan TEC ionosfer sampai 300 % (Tsurutani *et al*, 2006). Mekanisme badai ionosfer positif dan negatif diterangkan dengan teori kopling magnetosfer-termosfer-ionosfer yang sedang berkembang saat ini. Respon ionosfer terhadap CME melalui badai geomagnet yang dikenal dengan badai ionosfer telah banyak diteliti sejak beberapa dekade yang lalu terutama untuk ionosfer lintang tengah dan tinggi (Buonsanto, 1999). Fejer dan Scherliess (1997) telah dapat memisahkan waktu variasi waktu lokal medan listrik dari variasi waktu saat terjadi badai ionosfer di daerah ekuator. Tetapi untuk kasus badai geomagnet yang besar dan dengan meninjau ionosfer lintang rendah ternyata teori penetrasi medan listrik dinamo tersebut tidak dapat sepenuhnya menerangkan respon ionosfer

terhadap badai geomagnet melalui teori penetrasi medan listrik dinamo (Zhao *et al*, 2003).

Gangguan magnetosferik yang ekstrim dapat memodifikasi equatorial ionospheric anomaly (EIA). Sebagai contoh selama badai geomagnet besar 15 Juli 2000 lebar EIA bisa mencapai 40° di daerah Amerika Utara (Vlasov *et al*, 2003). Badai geomagnet kuat juga dapat menyebabkan penurunan foF2 dan TEC di daerah EIA dalam jangka waktu yang lama. Huang dan Cheng (1991) mendeteksi penurunan TEC dan foF2 di daerah Asia Tenggara selama badai geomagnet besar 13 Maret 1989.

Zhao dkk. (2003) menyatakan bahwa respon mendadak EIA di sektor Amerika dan China, Asia Tenggara dan Australia (CSAA) dipicu oleh arah medan magnet magnetosfer (Bz) arah selatan walaupun tidak semua pengamatan ionosonda dapat diterangkan

dengan variasi AE dan Bz. Di Amerika peningkatan EIA lebih intensif karena lebih seringnya penetrasi medan listrik dari analisis data ionosonda. Terjadinya peningkatan EIA malam hari dapat dihasilkan oleh adanya gangguan medan listrik dinamo oleh karena sirkulasi waktu badai yang mana hal ini sesuai dengan prediksi model Fejer dan Scherliess (1997). Di dua sektor tersebut EIA tidak simetri di mana peningkatan EIA di Amerika lebih besar dari CSAA. Antara belahan bumi utara dan selatan juga tidak simetri di mana di sebelah utara geomagnet, peningkatan EIA lebih intensif dari sebelah selatan yang disebabkan oleh perbedaan injeksi energi di daerah kutub sehingga respon termosfer di dua belahan bumi berbeda yang menyebabkan peningkatan EIA yang berbeda antara dua daerah tersebut. Dari pengamatan diperoleh bahwa efek penetrasi medan listrik pada EIA sangat pendek walaupun jika lingkungan magnetosfer mendukung maka efek tersebut dapat menyamai efek melalui proses lain seperti proses kimia dari respon EIA terhadap badai geomagnet.

Dari hasil-hasil tersebut diketahui bahwa secara global respon ionosfer terhadap CME 28 Oktober belum secara menyeluruh dikaji yang meliputi lintang tinggi, tengah, rendah dan ekuator di seluruh sektor di bumi dan dampaknya pada komunikasi HF. Pada makalah ini didiskusikan pengaruh badai matahari Oktober 2003 pada ionosfer dari data TEC GIM yang meliputi sektor Amerika, Afrika, Asia Tengah, China, Jepang, Indonesia dan Australia. Di samping itu dibahas juga bagaimana upaya mitigasi gangguan komunikasi HF pada saat terjadi badai ionosfer pada saat tersebut.

## DATA DAN METODOLOGI

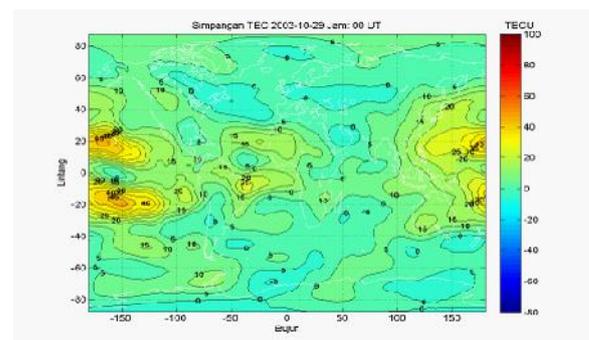
Menggunakan data TEC GIM, kondisi normal TEC ditentukan dari nilai rata-rata bulanan TEC pada jam tertentu dari TEC GIM harian pada bulan Oktober 2003. Deviasi TEC pada jam tertentu setelah terjadinya CME digunakan untuk menentukan besar respon ionosfer terhadap CME. Secara berurutan metodologi untuk mengetahui pengaruh badai matahari berupa CME 28 dan 29 Oktober 2003 adalah sebagai berikut:

Langkah pertama menghitung median bulanan TEC GIM pada jam tertentu selang 2 jam pada bulan Oktober 2003. Kemudian

menghitung simpangan TEC GIM pada jam tertentu pada tanggal 28-31 Oktober 2003 dari nilai median bulannya. Selanjutnya menganalisis simpangan TEC GIM dalam kaitannya dengan CME, angin surya, gangguan geomagnet dan lingkungan disekitar ionosfer. Terakhir untuk mengetahui dampak gangguan ionosfer telah digunakan model foF2 GIMMSILRI untuk estimasi foF2 sehingga gangguan komunikasi HF dapat diidentifikasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

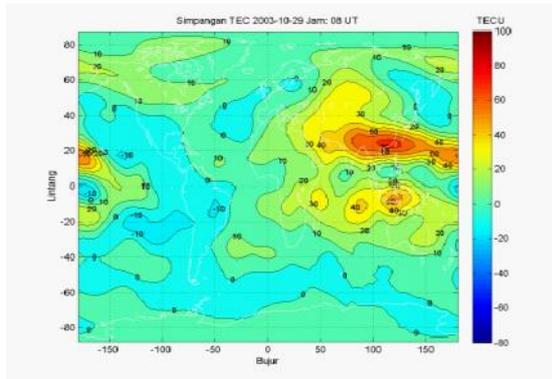
Dengan mengambil simpangan TEC GIM terhadap rata-rata bulanan TEC bulan Oktober 2003, dapat dilihat pada tanggal 29 Oktober 2003 jam 00:00 UT ada peningkatan TEC sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1, tetapi masih di bawah 40 TECU. Adapun pada jam 08:00 UT peningkatan TEC mulai signifikan mencapai lebih dari 70 TECU seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Peningkatan TEC terjadi di sektor Asia Timur sebelah utara ekuator geomagnet. Pada jam tersebut adalah waktu anomali ionisasi ekuator yaitu jam 15:00 – 17:00 LT di sektor Asia Timur. Peningkatan TEC juga terjadi di atas selatan Indonesia. (sebelah selatan ekuator geomagnet) tetapi peningkatannya lebih kecil dibandingkan sebelah utara ekuator geomagnet. Hal ini bisa disebabkan oleh tidak samanya energy CME yang masuk ke kutub-kutub bumi di mana kutub utara mendapat energi lebih banyak dari pada kutub selatan.



Gambar 1. Simpangan TEC tanggal 29 Oktober 2003 jam 00:00 UT

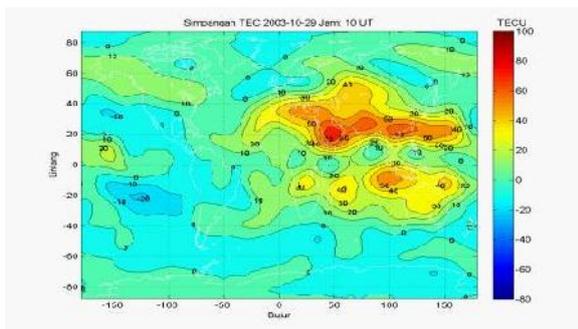
Terjadi peningkatan TEC pada 29 Oktober jam 08:00 UT (21 Jam setelah meletusnya CME) di daerah anomali ionisasi ionosfer sekitar 70 TECU. Ini sekitar 2 jam setelah sampainya partikel-partikel CME mencapai

magnetosfer bumi pada jam 06:00 UT sebagaimana diketahui dari data magnetosfer.



Gambar 2. Peningkatan TEC mulai signifikan mencapai lebih dari 70 TECU terjadi pada tanggal 29 Oktober 2003 jam 08:00 UT

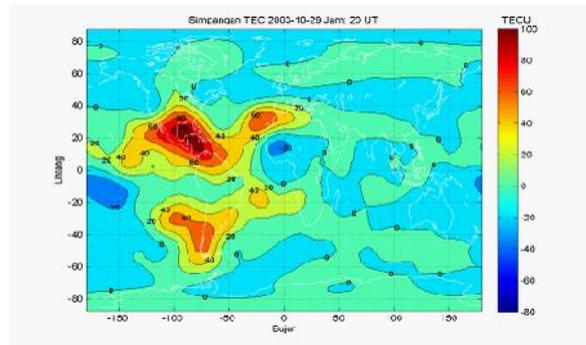
Peningkatan TEC ini merupakan badai ionosfer positif yang mengawali respon tak langsung ionosfer terhadap CME yaitu melalui interaksi solar wind-magnetosfer-ionosfer. Peningkatan TEC tersebut terjadi mulai jam 08:00 sampai jam 10 UT seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Jadi terdeteksi selama sekitar 2 jam di mana peningkatan TEC juga terjadi lebih tinggi di sebelah utara ekuator geomagnet dibanding di sebelah selatan ekuator geomagnet. Walaupun hanya dua jam tetapi peningkatan TEC ini membentang dari bujur 40 – 150 derajat yang berarti dalam daerah dengan waktu lokal jam 13:00 LT sampai daerah dengan waktu lokal jam 20:00 LT.



Gambar 3. Peningkatan TEC masih terlihat sampai jam 10 UT pada 29 Oktober 2003.

Pada jam 12:00 UT nilai TEC daerah anomali ionisasi mulai turun kembali pada 50

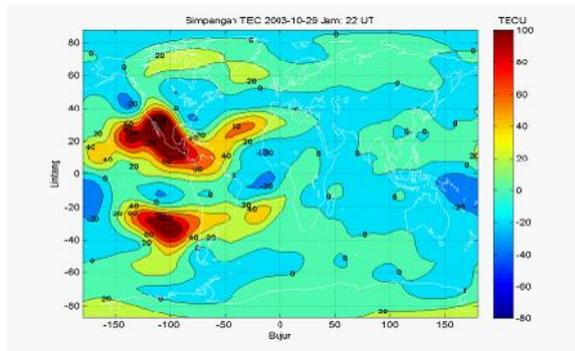
TECU dan bertahan pada 40 TECU sampai terjadi kenaikan kembali pada jam 18 UT dengan nilai TEC sebesar 60 TECU. Peningkatan TEC terus intensif sehingga mencapai nilai di atas 100 TECU pada jam 20 UT seperti dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Terjadi badai positif di anomali ionisasi di belahan bumi utara sampai sekitar 100 TECU pada jam 20 UT.

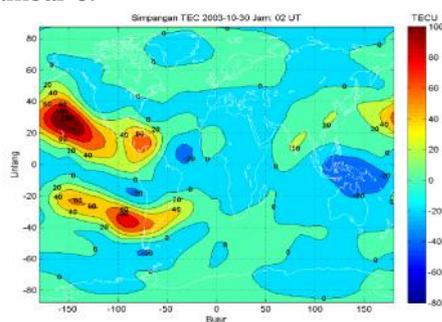
Pada saat daerah anomali ionisasi berada di atas Amerika dan mencapai lebih dari 120 TECU pada tanggal 29 Oktober jam 22 UT (Gambar 5) yang kemudian diikuti dengan badai ionosfer negatif yang mulai muncul di Indonesia timur pada 30 Oktober 2003 jam 00:00 UT. Badai ionosfer negatif ini sebenarnya sudah mulai terdeteksi di sebelah barat Amerika di belahan bumi selatan dari ekuator geomagnet pada jam 20 UT tanggal 29 Oktober 2003, hanya saja di Indonesia waktu itu belum kelihatan. Penundaan waktu terjadinya badai ionosfer negatif ini sejak badai geomagnet adalah sekitar 12 jam. Badai ionosfer negatif ini bisa disebabkan oleh adanya perubahan komposisi atom oksigen dan molekul nitrogen yang dapat mengubah laju rekombinasi ion-elektron ionosfer.

Adanya transfer energi CME dari lintang tinggi ke ekuator dalam bentuk perpindahan partikel netral ke arah ekuator dapat menyebabkan kenaikan molekul nitrogen di lintang rendah sehingga terjadi peningkatan rekombinasi yang berujung pada badai ionosfer negatif.

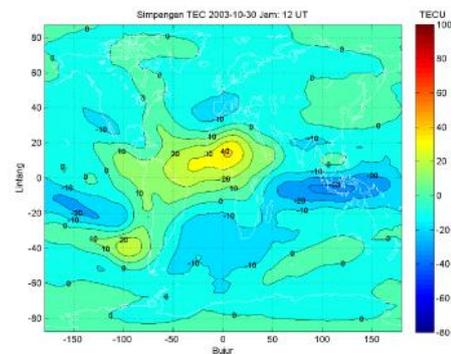


Gambar 5. Sementara peningkatan TEC tetap makin intensif di belahan siang hari pada 29 Oktober 2010 jam 22:00 UT, di belahan lain mulai terjadi penurunan TEC di daerah yang mengalami dini hari di atas Papua. (antara  $2^{\circ}25'$  **Lintang** Utara -  $9^{\circ}$  **Lintang** Selatan dan  $130^{\circ}$  -  $141^{\circ}$  **Bujur** Timur)

Selain mekanisme perubahan komposisi kemungkinan lain badai ionosfer negatif bisa disebabkan oleh adanya aliran plasma ionosfer keluar ionosfer menuju magnetosfer karena terlalu cepatnya terangkat ke atas oleh medan listrik dan magnet. Badai negatif terus bergerak ke arah Indonesia bagian tengah pada 30 Oktober jam 02:00 UT seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

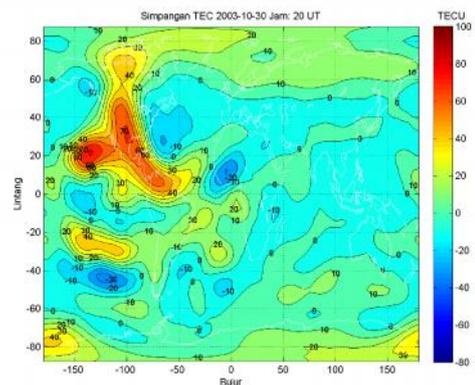


Gambar 6. Badai negatif terus bergerak ke arah Indonesia bagian tengah pada 30 Oktober jam 02:00 UT.

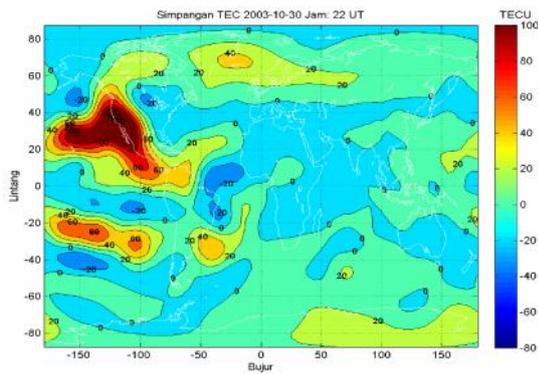


Gambar 7. Sampai jam 04 UT 30 Oktober 2003 badai positif mulai turun sementara badai negatif tetap bertahan sampai -20 TECU.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, badai ionosfer positif mulai turun sementara badai negatif tetap bertahan sampai -20 TECU di atas Indonesia pada jam 4 UT, 30 Oktober 2003. Badai negatif mulai turun pada jam 12 UT (Gambar 8). Dan kembali normal pada jam 14 UT tanggal 30 Oktober 2003. Badai negatif terjadi selama sekitar 14 jam di atas Indonesia.

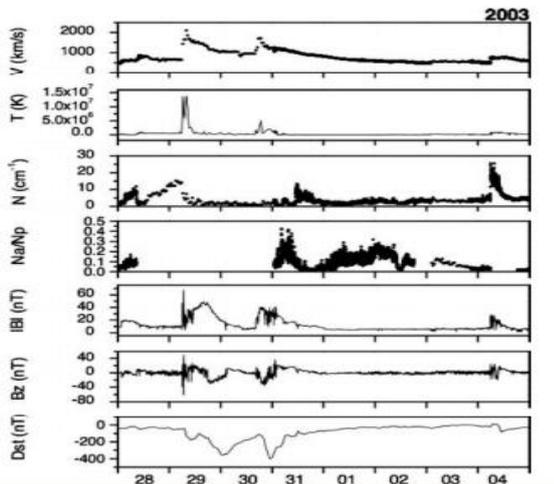


Gambar 8. Badai negatif mulai turun pada jam 12 UT. Dan kembali normal pada jam 14 UT tanggal 30 Oktober 2003.

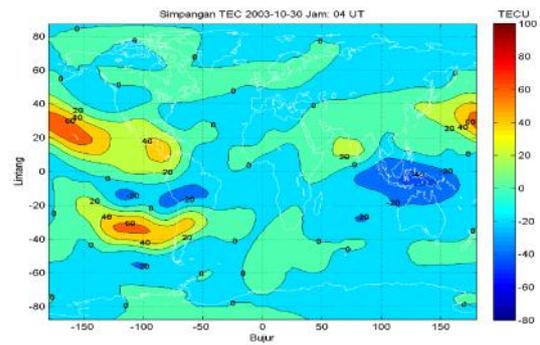


Gambar 9. Terjadi peningkatan TEC pada tanggal 30 Oktober 2003 jam 20 UT di daerah siang hari di atas Amerika. Indikasi efek CME 29 Oktober 2003 yang mulai terasa dari adanya peningkatan TEC sampai 70 TECU.

Seperti dapat dilihat pada Gambar 9, pada tanggal 30 Oktober 2003 jam 20 UT kembali terjadi badai ionosfer positif di atas Amerika. Ini merupakan indikasi efek CME 29 Oktober 2003 mulai masuk ke magnetosfer bumi pada tanggal 30 Oktober 2003 pada jam 16:19 UT seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Jadi sekitar tiga jam empat puluh menit dari awal badai geomagnet terjadi badai ionosfer positif.



Gambar 10. Efek CME 28 dan 29 Oktober 2003 pada magnetosfer bumi.



Gambar 11. Badai ionosfer positif tanggal 30 Oktober jam 22 UT lebih besar dari pada badai ionosfer tanggal 29 Oktober 2003. Ini mungkin disebabkan oleh efek ganda CME 28 dan 29 Oktober 2003.

Efek ganda CME 28 dan 29 Oktober 2003 dapat dilihat pada simpangan TEC ionosfer lebih dari 120 TECU pada tanggal 30 Oktober 2003 jam 22 UT seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Ini bisa disebabkan masih adanya akumulasi elektron dari badai ionosfer 29 Oktober kemudian diikuti dengan badai ionosfer 30 Oktober 2003. Badai positif terjadi sampai 100 TECU dan mulai menurun jam 02 UT tanggal 31 Oktober 2003 di belahan bumi yang mengalami siang hari di daerah anomali ionisasi sampai jam 04 UT. Pada jam 06:00 UT tanggal 31 Oktober 2003 badai positif menghilang jadi total waktu badai positif kedua ini adalah 10 jam mulai jam 20 UT sampai jam 00 UT 30 Oktober 2003 (4 jam) dan mulai 00 UT – 06:00 UT tanggal 31 Oktober 2003 di daerah Amerika Utara.

Dengan mengetahui karakteristik global badai ionosfer setelah CME, mitigasi gangguan komunikasi HF dapat dilakukan dengan mengkonversi simpangan TEC menjadi simpangan frekuensi kritis lapisan ionosfer (foF2)

Komunikasi HF jarak dekat yaitu pada jarak kurang dari 500 km tetapi lebih jauh dari 100 km umumnya menggunakan ionosfer sebagai pemantul gelombang radio HF. Komunikasi HF jarak dekat tersebut sangat tergantung pada foF2. Jika frekuensi HF mendekati nilai foF2 atau sedikit lebih rendah dari foF2 maka komunikasi HF jarak dekat dapat berjalan dengan baik. Jika frekuensi HF lebih besar dari foF2 maka komunikasi HF tidak

dapat berlangsung karena gelombang HF tidak dapat dipantulkan ionosfer.

Dengan demikian jika terjadi badai ionosfer negatif, maka telah terjadi penurunan foF2 sehingga frekuensi HF yang semula sama dengan foF2 menjadi lebih besar dari foF2. Pada saat tersebut komunikasi HF terganggu dan tidak dapat berjalan. Oleh karena itu gangguan ionosfer berupa badai ionosfer negatif merupakan penyebab terputusnya komunikasi HF atau dengan kata lain terjadinya badai ionosfer negatif propagasi HF menjadi tertutup pada frekuensi foF2 yang normal tanpa badai.

### KESIMPULAN

Badai matahari CME 28 dan 29 Oktober 2003 telah menyebabkan terjadinya badai ionosfer global yang terjadi 21 jam setelah meletusnya CME dan sekitar 2 jam setelah partikel CME mencapai magnetosfer bumi. Badai ionosfer yang terjadi umumnya berupa badai ionosfer positif di belahan bumi utara di daerah lintang rendah dan tengah. Badai ionosfer positif bisa mencapai 100 TECU. Orde lamanya badai ionosfer positif sekitar beberapa jam.

Sebaliknya di belahan bumi selatan di sektor Indonesia telah terjadi badai ionosfer negatif selama 14 jam mulai sekitar 35 jam setelah CME meletus, di mana penurunan TEC bisa mencapai lebih dari 50 %. Badai ionosfer negatif dapat menyebabkan beberapa frekuensi HF yang dalam kondisi normal dapat digunakan tidak dapat digunakan selama badai ionosfer negatif berlangsung sehingga frekuensi HF yang digunakan lebih besar dari frekuensi foF2.

Terjadinya badai ionosfer negatif setelah terjadinya badai matahari CME dengan selang waktu hampir satu setengah hari. Oleh karena itu pada saat terjadi badai matahari CME yang mengarah ke bumi, monitoring TEC ionosfer perlu dilakukan sampai beberapa hari setelah badai CME agar gangguan komunikasi HF

dapat diantisipasi yaitu dengan menggunakan frekuensi HF yang lebih rendah atau sama dengan frekuensi foF2.

### REFERENSI

- Buonsanto, M.J. 1999. Ionospheric storms-A review. *Space Sci. Rev.*, 88: 563–601.
- Fejer, B.G. and Scherliess, L. 1997. Empirical models of storm time equatorial electric fields. *J. Geophys. Res.*, 102: 24047–24056.
- Huang, Y.-N. and Cheng, K. 1991. Ionospheric disturbances at the equatorial anomaly crest region during the March 1989 magnetic storms. *J. Geophys. Res.*, 96: 13952–13965.
- Tsurutani B.T., Mannucci, A.J., Lijima, B., Guarnieri, F.L., Gonzales, W.D., Gangopadhyay, P. 2006. The extreme Halloween 2003 solar flares (and Bastille Day, 2000 Flare), ICMEs, and result an extreme ionospheric effects : A review. *Advances in Space Research* , 37: 1583–1588.
- Vlasov, M., Kelley, M.C., and Kil, H. 2003. Analysis of ground-based and satellite observations of F-region behavior during the great magnetic storm of 15 July, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 65: 1223–1234.
- Zhao, B., Wan, W., and Liu, L. 2003. Responses of equatorial anomaly to the October–November 2003 super storms. *Annales Geophysicae*, 23: 693–706.
- Soho/lasco CME Catalog, [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/UNIVERSAL/2003\\_10/univ2003](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/UNIVERSAL/2003_10/univ2003)