

VARIASI LAPISAN E DAN F IONOSFER DI ATAS KOTOTABANG

Ednofri ^{*}), Sri Suhartini ^{**})
Ednofri_lapan@yahoo.com

^{*}) Peneliti Stasiun Pengamat Dirgantara, LAPAN

^{**}) Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi Pusfatsainsa, LAPAN

ABSTRACT

Ionospheric observations at Kototabang (0.2°S, 100.3°E) has been done since March 2004 by using the *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) ionosonde. The data collected until September 2006 have been analyzed for knowing the ionospheric variations. The result shown in general, the ionospheric variations over Kototabang have a similar the characteristics pattern with the other region in Indonesia. Daily variations show the maximum value around midday, annual variations appear as the descending of foE, foF1, and foF2 associated with the declining of solar activities. This is confirmed by positive correlations between local noon value of the mean monthly median of foE, foF1 and foF2 and solar flux index F10.7 which have the correlation coefficients 0.64, 0.90 and 0.80 respectively. Seasonal variation appears from the two maxima on March-April and September – October, and two minima on July-August and December-January. Magnetic storm occurred on May 15, 2005 causes a decrease of foF2 value about 5.5 MHz or only 38% compared with the monthly median value about 5 hours after the storm onset.

ABSTRAK

Pengamatan ionosfer di atas Kototabang (0,2°LS, 100,3°BT) dilakukan menggunakan ionosonda *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) yang dioperasikan sejak Maret 2004. Hasil pengamatan sampai dengan September 2006 diteliti untuk mengetahui variasi ionosfer di daerah tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum variasi ionosfer di atas Kototabang mengikuti pola karakteristik ionosfer di daerah lainnya di Indonesia. Variasi harian menunjukkan maksimum sekitar tengah hari, variasi tahunan nampak dari penurunan nilai foE, foF1, dan foF2 seiring berkurangnya tingkat aktivitas matahari. Hal ini diperkuat dengan korelasi positif yang diperoleh antara rata-rata median bulanan foE, foF1, dan foF2 pada *local noon* (pukul 10.00 – 15.00), dengan koefisien korelasi masing-masing 0.64, 0.90, dan 0.80. Variasi musiman nampak dari adanya dua puncak (Maret-April dan September–Oktober), dan dua minimum (Juli-Agustus dan Desember–Januari). Badai magnet yang terjadi pada tanggal 15 Mei 2005 mengakibatkan penurunan foF2 sebesar 5.5 Mhz atau 38% dibandingkan harga median bulannya, sekitar 5 jam setelah terjadinya badai tersebut.

Kata kunci : *Ionosfer, Variasi, Lapisan E, Lapisan F*

1 PENDAHULUAN

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer bumi yang terletak pada ketinggian sekitar 50 sampai lebih dari 1000 km di atas permukaan bumi dan mengandung partikel bermuatan listrik. Pada siang hari ionosfer terdiri dari 4 lapisan yang disebut lapisan D, E, F1 dan F2. Letak masing-masing lapisan adalah (IPS, 2003):

- Lapisan D 50 sampai 90 km
- Lapisan E 90 sampai 140 km
- Lapisan F1 140 sampai 210 km
- Lapisan F2 di atas 210 km

Pada siang hari, kadang-kadang teramati adanya lapisan E sporadis pada ketinggian lapisan E, sedangkan pada malam hari lapisan D, E dan F1 menjadi sangat kekurangan elektron bebas sehingga hanya lapisan F2 yang dapat teramati, tetapi bukan tidak mungkin lapisan E sporadis muncul pada malam hari.

Berbagai metode telah digunakan untuk mempelajari ionosfer dan alat yang paling banyak digunakan adalah ionosonda. Ionosonda adalah radar frekuensi tinggi yang memancarkan pulsa sangat pendek tegak lurus ke atas, ke ionosfer. Pulsa yang dipancarkan secara berurutan dari frekuensi rendah ke frekuensi yang lebih tinggi akan dipantulkan ke bumi secara berurutan juga. Waktu perjalanan pulsa ini menunjukkan jarak yang telah ditempuh pulsa tersebut. Hasil rekaman berupa kurva hubungan antara frekuensi dan ketinggian lapisan ionosfer disebut ionogram. Frekuensi maksimum yang teramati disebut frekuensi kritis lapisan ionosfer. Hubungan antara besarnya frekuensi kritis berkaitan dengan kerapatan elektron dari medium adalah :

$$f_c \text{ (MHz)} = 9 \cdot 10^{-6} \times \sqrt{N} \quad (1-1)$$

dimana f_c adalah frekuensi kritis dan N kerapatan elektron yang dinyatakan dalam elektron/m³ (Rishbeth and Garriott, 1969).

Frekuensi kritis lapisan E dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan persamaan empiris sebagai berikut :

$$foE \text{ (MHz)} = 0.9 \times [(180 + 1.44 \times SSN) \times \cos(Z)]^{0.25} \quad (1-2)$$

dimana Z adalah sudut zenith matahari dan SSN adalah *Smoothed Sunspot number*. foE menunjukkan nilai maksimum di titik sub-solar. Sebagai contoh pada saat equinoks, untuk SSN = 75, foE = 4.1 MHz untuk tengah hari lokal di ekuator.

Frekuensi kritis lapisan F1 pada siang hari dinyatakan sebagai berikut:

$$foF1 \text{ (MHz)} = [4.3 + 0.01 \times SSN] \cdot [\cos(Z)]^{0.2} \quad (1-3)$$

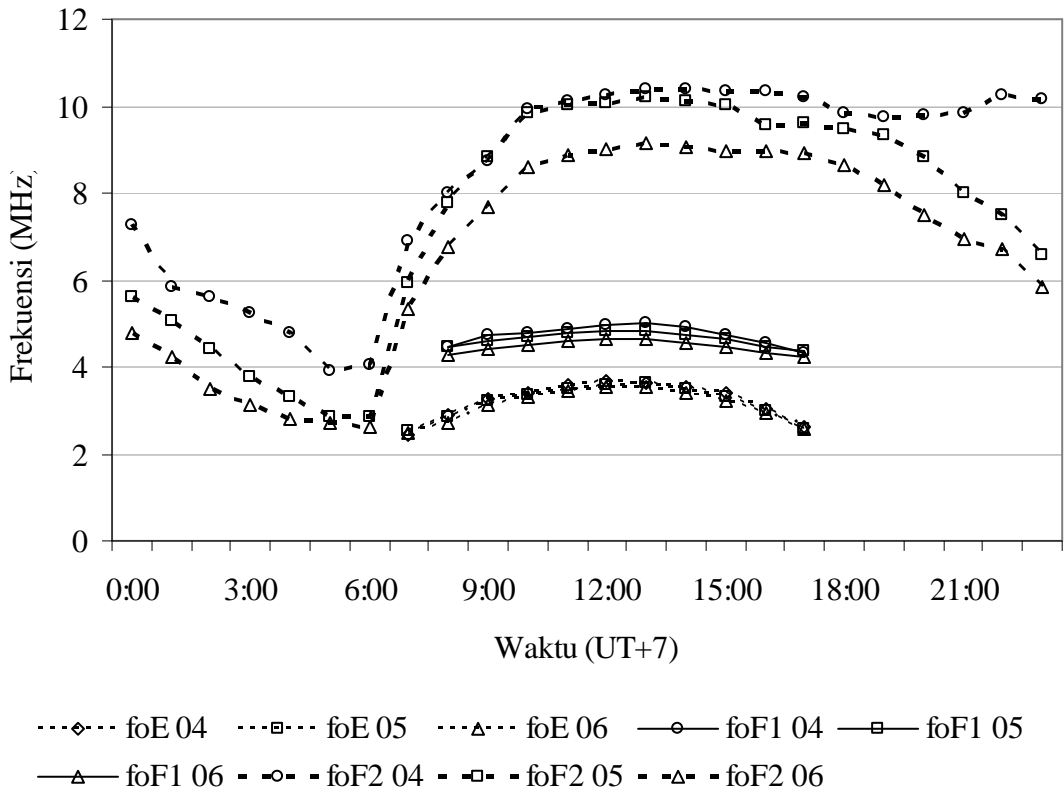
Persamaan empiris (1-2) dan (1-3) menggunakan asumsi bahwa proses fotokimia mendominasi pembentukan lapisan E dan F1 ionosfer. Asumsi kedua adalah bahwa proses transport pada ketinggian lapisan E dan F1 dapat diabaikan karena kecil pengaruhnya.

Dibandingkan dengan lapisan E, lapisan F lebih stabil meskipun dipengaruhi oleh radiasi matahari. Besarnya intensitas radiasi matahari tergantung pada aktivitas matahari (variasi jangka panjang) dan sudut zenith matahari (variasi jangka pendek). Menurut Kaloka dkk (1982) aktivitas matahari dan perubahan sudut zenith matahari setiap saat akan mempengaruhi lapisan ionosfer. Pengaruh tersebut ditunjukkan oleh korelasi frekuensi kritis lapisan ionosfer dengan sudut zenith matahari dan bilangan *sunspot*.

Beberapa variasi yang mempengaruhi karakteristik ionosfer di antaranya adalah variasi harian, variasi musiman dan variasi karena siklus matahari yang dihasilkan dari perubahan besarnya radiasi *extreme ultraviolet* (EUV), radiasi sinar X, dan dari berbagai proses dinamis dan kimia (Evans, 1965; Kane, 1992; Balan et al., 1994a, 1994b; Richards et al., 1994, 2001, Kawamura et al., 2002). Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui variasi lapisan E dan F ionosfer di atas Kototabang (0,20°LS, 100,32°BT) yang mewakili ionosfer di wilayah barat Indonesia.

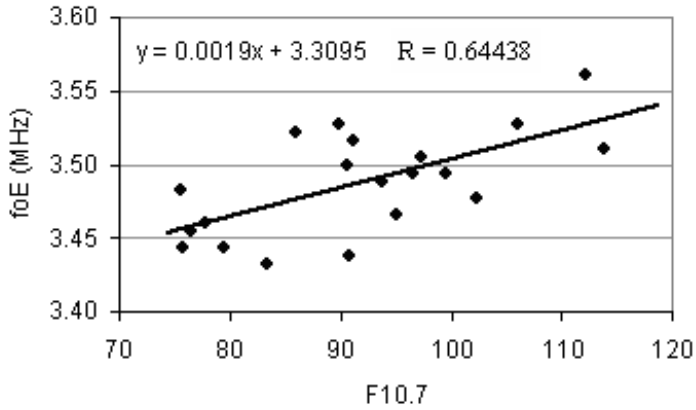
2 DATA DAN PENGOLAHANNYA

Data yang digunakan adalah ionogram hasil pengamatan menggunakan ionosonda FMCW di Kototabang dari bulan Maret 2004 sampai dengan September 2006. Parameter yang diolah adalah frekuensi kritis lapisan E (f_oE), F1(f_oF1) dan F2 (f_oF2). Untuk masing-masing parameter tersebut dihitung median bulannya dari pukul 00.00 sampai dengan pukul 23.00 waktu lokal, kemudian dihitung rata-rata median bulanan untuk masing-masing tahun untuk memperoleh variasi harian dari masing-masing parameter ionosfer. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2-1.

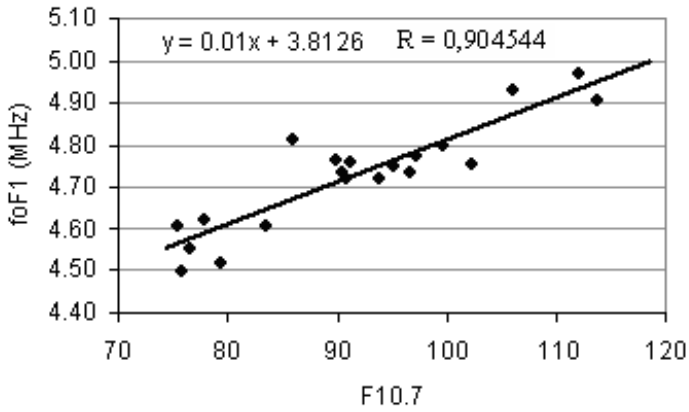


Gambar 2-1: Rata-rata median bulanan foE, foF1, dan foF2 tahun 2004, 2005, dan 2006 di Kototabang

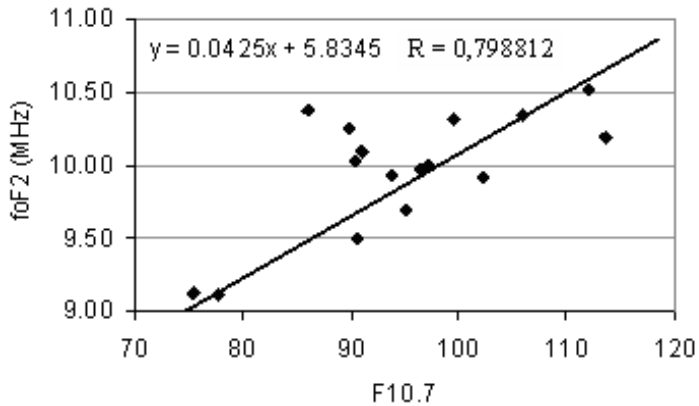
Untuk mengamati pengaruh variasi aktivitas matahari, dari setiap parameter diambil sampel pada waktu *local noon* (10.00 LT sampai dengan 15.00 LT) setiap hari. Median bulanan dari masing-masing parameter ionosfer dalam selang waktu tersebut diambil rata-ratanya. Plot nilai rata-rata *local noon* setiap parameter terhadap rata-rata bulanan fluks matahari (F10.7) yang diperoleh dari *International Solar-Geophysical Data* (SGD) dari tahun 2004 sampai dengan 2006 ditunjukkan pada Gambar 2-2 (a), (b), (c).



(a)



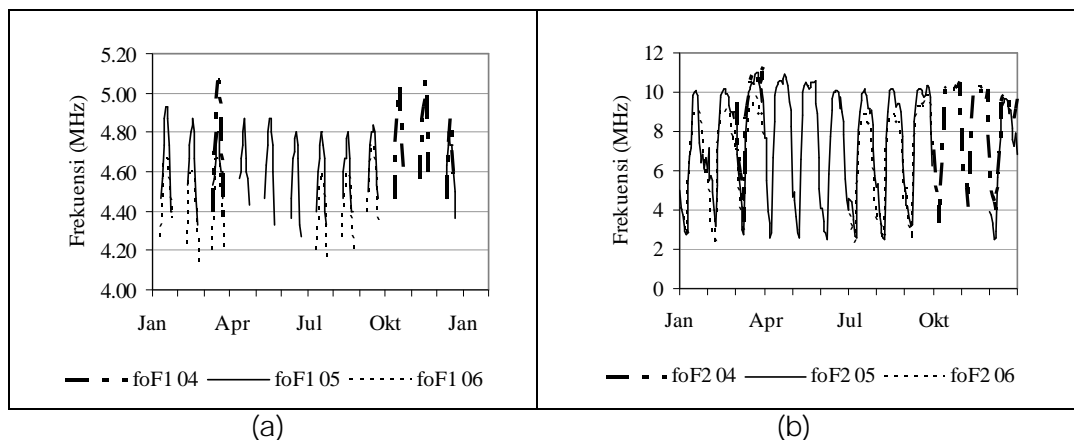
(b)



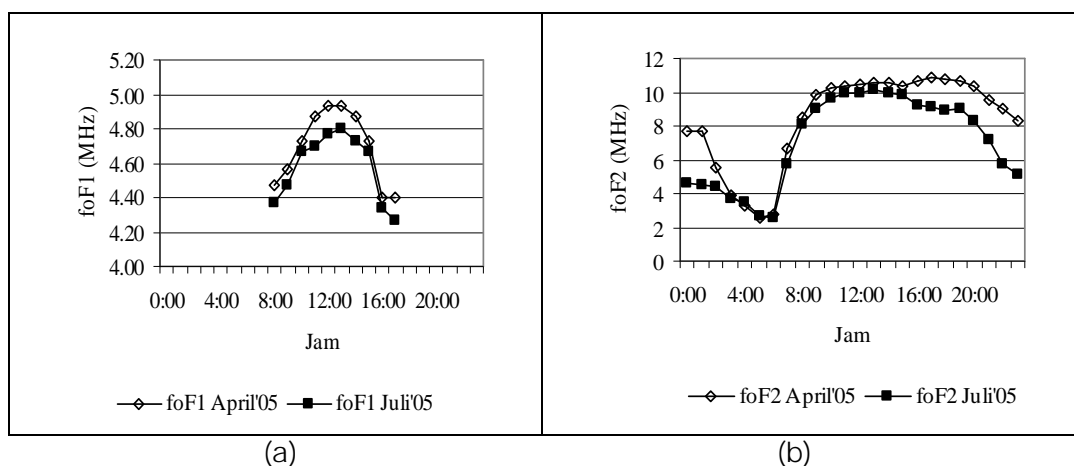
(c)

Gambar 2-2: Plot hubungan antara local noon (a) foE, (b)foF1 dan (c) foF2 di Kototabang dari tahun 2004 – 2006 dengan F10.7

Median bulanan jam-an frekuensi kritis lapisan F1(foF1) dan F2 (foF2) diplot sebagai fungsi waktu seperti terlihat pada Gambar 2-3 (a) dan (b), untuk mengetahui pengaruh posisi matahari (variasi musiman) terhadap lapisan F. Plot median bulanan foF1 dan foF2 pada bulan April dan Juli 2005 Gambar 2-4 (a) dan (b) menunjukkan perbedaan besarnya kedua parameter pada bulan yang berbeda karena pengaruh posisi matahari.

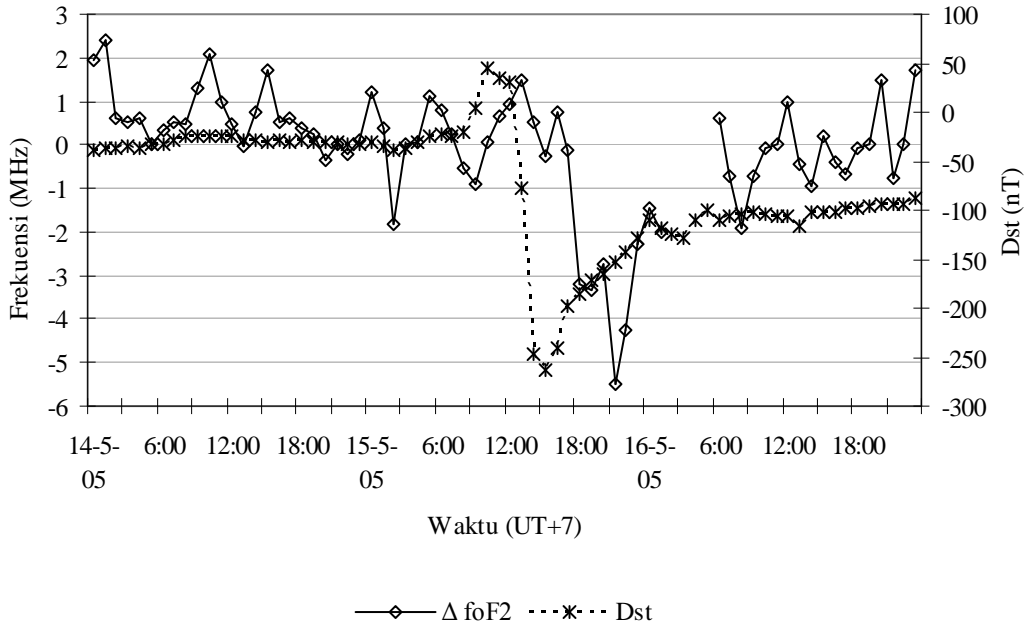


Gambar 2-3: Plot median bulanan (a) foF1 dan (b) foF2 di Kototabang dari tahun 2004, 2005, dan 2006



Gambar 2-4: Plot median bulanan (a) foF1 dan (b) foF2 di Kototabang pada bulan April dan Juli 2005

Untuk melihat dampak aktivitas geomagnet di lintang rendah terhadap lapisan F2 ionosfer, diambil contoh kejadian badai magnet pada tanggal 14 – 16 Mei 2005 dan dampaknya pada frekuensi kritis lapisan F2 (foF2). Aktivitas geomagnet diindikasikan oleh indeks Dst dari *World Data Center C-2*, Kyoto University Japan. Untuk mengetahui besarnya dampak badai magnet pada lapisan F2, dihitung $\Delta foF2$, yaitu selisih antara foF2 dan median bulannya. Plot $\Delta foF2$ dan Dst pada waktu yang sama ditunjukkan pada Gambar 2-5.



Gambar 2-5: Plot $\Delta foF2$ dan indeks Dst pada tanggal 14 – 16 Mei 2005

3 PEMBAHASAN

Rata-rata median bulanan foE, foF1, dan foF2 tahun 2004, 2005, dan 2006 seperti yang terlihat pada Gambar 2-1 menunjukkan variasi harian lapisan ionosfer di atas Kototabang. Lapisan E dan F1 yang teramati oleh ionosonde hanya pada siang hari menyebabkan plot foE dan foF1 juga hanya ada pada siang hari, dimana aktivitas matahari pada saat itu sedang menuju minimum.

Variasi harian lapisan E seperti terlihat pada Gambar 2-1 tidak terlalu besar. Selisih antara nilai foE maksimum dan minimum masing-masing tahun berturut-turut adalah 1.21, 1.13, dan 1.09 MHz. Nilai rata-rata median jam-an foE hampir sama pada ketiga tahun tersebut. Nilai maksimum foE berturut-turut pada tahun-tahun tersebut adalah 3.66, 3.65, dan 3.56 MHz, yang terjadi antara pukul 12.00 – 13.00 waktu setempat, sedangkan penurunan harga maksimum foE masing-masing hanya sebesar 0.01 dan 0.09 MHz dari tahun sebelumnya.

Untuk lapisan F1, variasi harian lebih kecil dibandingkan lapisan E. Selisih antara maksimum dan minimum foF1 untuk tahun 2004, 2005, dan 2006 berturut-turut adalah 0.67, 0.45, dan 0.42 MHz. Pengaruh aktivitas matahari lebih terlihat pada lapisan F1, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-1. Nilai maksimum foF1 berturut-turut adalah 5.01, 4.83, dan 4.64 MHz, berarti terdapat penurunan harga maksimum sebesar 0.18 dan 0.19 MHz dari tahun sebelumnya. Nilai maksimum foF1 juga terjadi antara pukul 12.00 – 13.00 waktu lokal.

Lapisan F2 yang teramati selama 24 jam oleh ionosonda, mempunyai variasi harian yang lebih jelas. Ketika matahari mulai terbit, proses ionisasi mulai terjadi dan mencapai puncaknya sekitar tengah hari. Setelah lewat tengah hari, proses ionisasi mulai berkurang secara perlahan dan setelah matahari terbenam kerapatan elektron mulai berkurang secara cepat. Hal ini berlanjut sampai mencapai minimum pada saat menjelang matahari terbit. Dari Gambar 2-1 diketahui rentang frekuensi maksimum sampai minimum untuk tahun 2004, 2005, dan 2006 masing-masing adalah 10.41 – 3.92 MHz, 10.19 – 2.84 Mhz, dan 9.13 – 2.63 MHz. Nilai minimum foF2 terjadi antara pukul 5.00 dan 6.00 waktu lokal.

Untuk melihat variasi karena aktivitas matahari dari masing-masing lapisan ionosfer digunakan sampel data *local noon*, yaitu dari jam 10.00 LT sampai dengan 15.00 LT. Median bulanan dari masing-masing parameter yang diperoleh pada rentang waktu tersebut dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan nilai frekuensi kritis *local noon* setiap bulan. Aktivitas matahari ditunjukkan oleh nilai rata-rata bulanan fluks matahari F10.7. Plot frekuensi kritis *local noon* terhadap F10.7 untuk masing-masing parameter ditunjukkan pada Gambar 2-2 (a), (b), dan (c). Dari ketiga gambar tersebut dapat diketahui bahwa frekuensi kritis *local noon* lapisan E, F1, dan F2 berubah sesuai dengan perubahan fluks matahari. Persamaan regresi linier antara foE, foF1, foF2 dengan F10.7 beserta koefisien korelasinya dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: PERSAMAAN REGRESI LINIER DAN KOEFISIEN KORELASI (R) ANTARA foE, foF1 DAN foF2 DENGAN FLUKS MATAHARI F10.7

Parameter	Persamaan regresi	R ²	R
foE	$y = 0.0019x + 3.3095$	0.4153	0.64
foF1	$y = 0.01x + 3.8126$	0.8182	0.90
foF2	$y = 0.0425x + 5.8345$	0.6381	0.80

Dari Tabel 3-1 terlihat bahwa korelasi terendah diperoleh antara foE dengan F10.7, diikuti oleh foF2 dan foF1. Hal ini menunjukkan bahwa dari data yang telah diolah, lapisan F1 paling sensitif terhadap perubahan fluks matahari F10.7, namun hal ini belum dapat disimpulkan, karena masih terlalu sedikitnya data yang digunakan.

Variasi karena posisi matahari (variasi musiman) tampak jelas pada Gambar 2-3 (a) dan (b). Dari plot median bulanan foF1 dan foF2 selama satu tahun terdapat dua maksimum, yaitu pada bulan Maret-April dan September-Oktober, dan dua minimum pada bulan Juli-Agustus dan Desember-Januari. Hasil ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Rastogi et al. (1958) untuk stasiun Singapura. Plot median bulanan foF1 dan foF2 pada Gambar 2-4 (a) dan (b) menunjukkan perbedaan besarnya foF1 dan foF2

pada bulan maksimum (April) dan minimum (Juli). Nilai foF1 antara pukul 11.00 LT – 14.00 LT menunjukkan penurunan lebih besar dari 0.1 MHz dari bulan April ke bulan Juli. Sedangkan untuk foF2, penurunan lebih besar dari 1 MHz terjadi antara jam 16.00 LT – 2.00 LT. Pengurangan besarnya foF2 bahkan cukup signifikan pada sekitar tengah malam (pukul 22.00 – 01.00), sampai lebih dari 3 MHz.

Selain aktivitas matahari juga ada faktor lain yang mempengaruhi frekuensi kritis lapisan ionosfer, di antaranya adalah aktivitas geomagnet. Ketika terjadi badai magnet, akan terjadi peningkatan medan listrik, arus dan presipitasi partikel yang menghasilkan penumpukan energi yang besar di ionosfer-thermosfer di lintang tinggi. Sebagai respon dari masukan energi ini, kerapatan elektron di daerah kutub meningkat dan terjadi peningkatan temperatur elektron dan ion di lintang tinggi. Selain itu juga terjadi perubahan komposisi partikel netral dan peningkatan kecepatan angin netral meridional yang bergerak ke arah ekuator. Peningkatan angin netral meridional ini akan menyebabkan *upwelling* dan penurunan perbandingan kerapatan O/N₂ yang mengakibatkan penurunan kerapatan elektron di lapisan F. Pada kejadian badai yang besar, peningkatan angin netral dan perubahan komposisi ini dapat menembus sampai daerah ekuator (Schunk, R.W., 2000). Salah satu contoh dampak aktivitas geomagnet terhadap lapisan ionosfer di atas Kototabang adalah kejadian badai magnet pada tanggal 15 Mei 2005. Selisih foF2 dengan median bulanannya (Δ foF2) pada tanggal 14 sampai 16 Mei 2005 yang diplot bersama indeks Dst pada waktu yang sama (Gambar 2-5) menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan Dst lebih dari 200 nT secara bertahap sejak pukul 12.00 tanggal 15 Mei 2005, yang diikuti penurunan Δ foF2 secara bertahap mulai pukul 17.00. Dst mencapai minimum pada pukul 15.00 dengan nilai Dst = -263 nT, sedangkan Δ foF2 mencapai harga minimum pada pukul 21.00 sebesar - 5.50 MHz. Median bulanan foF2 pada pukul 21.00 bulan Mei 2005 adalah 8.83 MHz, sedangkan foF2 = 3.33 MHz pada jam yang sama pada tanggal 15 Mei 2005, sehingga badai magnet tersebut telah menyebabkan penurunan foF2 menjadi hanya 38% dari harga median bulanannya. Hasil yang sama juga didapat oleh Suhartini (1999) dan Mamat R, dkk (2001), dimana setelah kejadian badai magnet diikuti dengan penurunan frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) beberapa jam sesudahnya.

4 KESIMPULAN

Lapisan E ionosfer di atas Kototabang menunjukkan awal kemunculan pada pukul 07.00 LT, mencapai maksimum pada pukul 12.00 – 13.00 LT, kemudian turun sampai pukul 17.00 LT dan akhirnya menghilang. Variasi harian foE (selisih antara maksimum dan minimum) sekitar 1 MHz, sedangkan variasi tahunan sangat kecil (selisih maksimum foE dua tahun yang berurutan sekitar 0.01 MHz). Lapisan F1 menunjukkan karakteristik

kemunculan yang sama dengan lapisan E, dengan variasi harian kurang dari 1 MHz, sedangkan variasi tahunan sekitar 0.2 MHz. Variasi harian lapisan F2 ionosfer di atas Kototabang lebih jelas dibandingkan lapisan lainnya karena keberadaannya selama 24 jam. Frekuensi lapisan F2 relatif stabil antara pukul 10.00 – 17.00. Minimum foF2 tercapai sekitar pukul 05.00 – 06.00 dan rentang nilai foF2 adalah 3 – 10 MHz.

Regresi linier antara rata-rata median bulanan foE, foF1, dan foF2 antara pukul 10.00–15.00 *local noon* dengan rata-rata bulanan fluks matahari F10.7 memberikan koefisien korelasi positif masing-masing sebesar 0.64, 0.90, dan 0.80. hal ini menunjukkan bahwa ada kaitan yang cukup kuat antara kedua parameter tersebut.

Variasi musiman menunjukkan adanya dua puncak (maksimum), yaitu pada bulan Maret-April dan September–Oktober, dan dua lembah (minimum) pada bulan Juli-Agustus dan Desember–Januari. Meskipun tidak terlalu signifikan, variasi dari tahun ke tahun juga nampak pada median bulanan kedua parameter ini. Secara umum karakteristik lapisan ionosfer yang diamati dengan ionosonde FMCW di Kototabang mengikuti pola karakteristik ionosfer di daerah lainnya di Indonesia.

Dampak badai magnet tanggal 15 Mei 2005 mengakibatkan penurunan foF2 sekitar 5 jam setelah terjadinya badai, yaitu sebesar 5.5 MHz atau sekitar 38% dari harga median bulanannya.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada Sdr. Zainal Abidin dan Darmayendrizar yang telah membantu melakukan pengolahan data ionosfer (*scaling*).

DAFTAR RUJUKAN

- Balan, N.; G. J. Bailey; B. Jenkins; P. B. Rao; and R. J. Moffett, 1994a. *Variations of Ionospheric Ionization and Related Solar Fluxes During an Intense Solar Cycle*, J. Geophys. Res., 99(A2), 2243–2253.
- Balan, N.; G. J. Bailey; and R. J. Moffett, 1994b. *Modeling Studies of Ionospheric Variations During an Intense Solar Cycle*, J. Geophys. Res., 99(A9), 17,467–17,475.
- Evans, J. V., 1965. *Cause of the Mid-Latitude Evening Increase in foF2*, J. Geophys. Res., 70(5), 1175–1185.
- IPS, 2003. *Introduction to HF Radio Propagation*, <http://www.ips.gov.au>. Download tanggal 25 Februari 2003.
- Kaloka S. P.; Sarmoko Saroso; Sri Suhartini; Yasminal, 1982. *Korelasi Frekuensi Kritis Lapisan Ionosfer dengan Sudut Zenith Matahari dan Bilangan Sunspot*, Kumpulan kertas kerja program 1981/1982, LAPAN.

- Kane, R. P., 1992. *Sunspots, Solar Radio Noise, Solar EUV and Ionospheric foF2*, J. Atmos. Terr. Phys., 54. 463-466.
- Kawamura, S.; N. Balan; Y. Otsuka; and S. Fukao, 2002. *Annual and Semiannual Variations of the Midlatitude Ionosphere Under Low Solar Activity*, J. Geophys. Res., 107(A8), 1166, doi:10.1029/2001JA000267.
- Mamat R.; Jiyo; Eddy I.S.; Dodi S., 2001. *Dampak Aktivitas Geomagnet Terhadap Lapisan Ionosfer*, Warta LAPAN Vol. 3 No. 1 Maret 2001, hlm. 15-18.
- Rastogi. R.G, 1958. *A Study of the Noon Critical Frequencies of the E and F1 Layers of the Ionosphere*, Research Department of All India Radio, New Delhi and at the Secretariat of the Radio Research Committee, New Delhi, 145-156.
- Richards, P. G.; D. G. Torr; B. W. Reinisch; R. R. Gamache; and P. J. Wilkinson, 1994. *F2 Peak Electron Density at Millstone Hill and Hobart: Comparison of theory and measurement at solar maximum*, J. Geophys. Res., 99(A8), 15,005–15,016.
- Richards, P. G., 2001. *Seasonal and Solar Cycle Variations of the Ionospheric Peak Electron Density: Comparison of Measurement and Models*, J. Geophys. Res., 106(A12), 12,803–12,819.
- Rishbeth, H. and Garriott O.K., 1969. *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York, San Francisco, London.
- Schunk, R.W. and A.F. Nagy, 2000. *Ionospheres, Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Suhartini, S., 1999. *Dampak Flare tanggal 21 dan 25 Agustus 1998 pada Medan Magnet Bumi dan Lapisan F2 Ionosfer*, Majalah LAPAN Vol. 1 No. 2 April-Juni 1999, hlm. 34-43.