

KAJIAN DUA MODEL EMPIRIS LAPISAN E IONOSFER

Jiyo

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, LAPAN
jiyolpnbdg@yahoo.com

ABSTRACT

Two E layer empirical models, Hunsucker-Hargreaves and Edinburgh models, have been analyzed. The values of foE which are obtained from both simulations models have been compared to the observed data from Tanjungsari (6.91°S, 107.83°E) during 2001 to 2002 and 2009. From the data analysis we get four conclusions. First, both Hunsucker-Hargreaves and Edinburgh models are able to show the daily, seasonal, solar cycle variations of the E layer. Second, both models are unable to show the latitudinal variation. Third, there are big differences between results of these models for 6:00 LST (UT+7) and 18:00 LST (UT+7). For this reason, it need a following research by using more data. Finally, according to Hunsucker-Hargreaver formulae, it is easier to be reconstructed again for Indonesian regional foE data.

Keywords: *Empirical model, E layer, Solar cycle, Latitudinal variations*

ABSTRAK

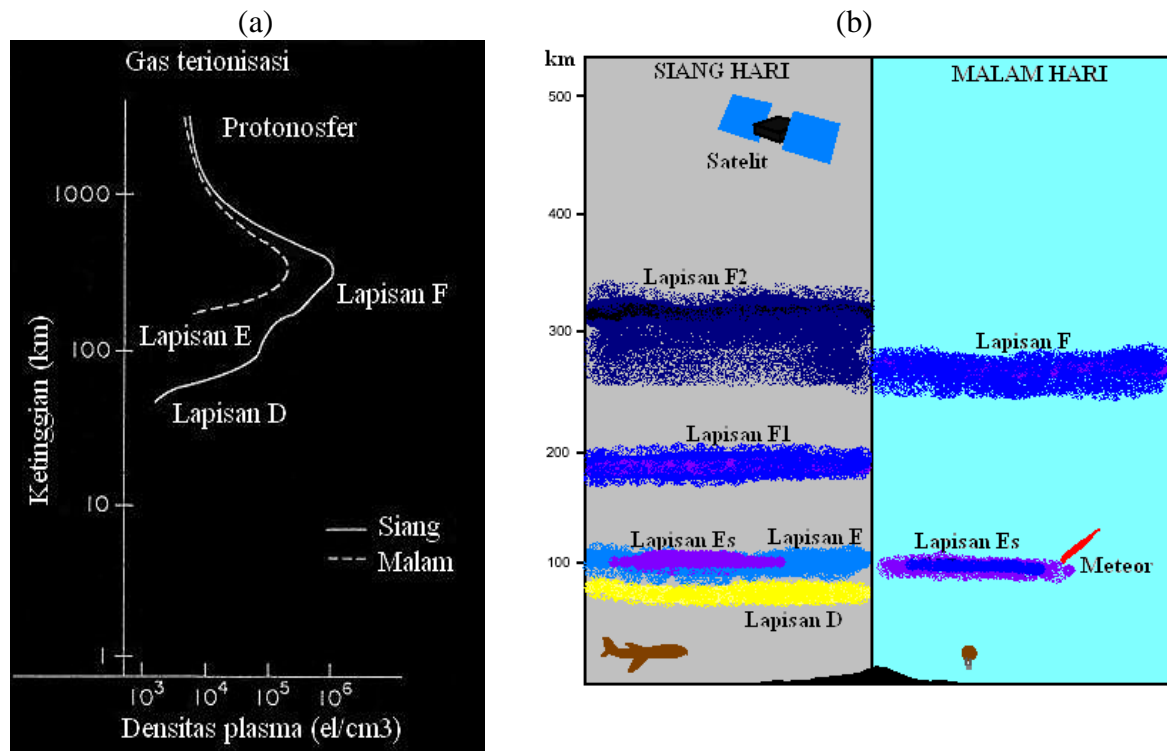
Dalam penelitian ini dikaji dua model empiris lapisan E yaitu model Hunsucker-Hargreaves dan Edinburgh. Analisis dilakukan terhadap data foE hasil simulasi menggunakan dua model tersebut dan data hasilnya dibandingkan dengan data foE hasil pengamatan di Tanjungsari (6,91°LS, 107,83°BT) tahun 2001-2002 dan 2009. Dari analisis yang telah dilakukan diperoleh empat kesimpulan yaitu: Pertama, model Hunsucker-Hargreaves dan Edinburgh sama-sama mampu menunjukkan variasi harian, musiman, dan variasi skala siklus Matahari dari lapisan E; Kedua, dua model tersebut tidak mampu menunjukkan variasi lapisan E terhadap garis lintang; Ketiga, terdapat perbedaan cukup besar antara kedua model akan hasil perhitungan foE pada pukul 6:00 WIB dan 18:00 WIB; dan Keempat, jika dilihat dari segi perumusannya, maka model Hunsucker-Hargreaves lebih berpeluang untuk dibangun kembali menggunakan data foE regional Indonesia.

Kata kunci: *Model empiris, Lapisan E, Variasi lintang*

1 PENDAHULUAN

Lapisan E adalah lapisan ionosfer yang terbentuk dari ion dan elektron yang menempati ketinggian antara 80 km hingga 110 km, merupakan bagian dari lapisan ionosfer yang mengisi ruang angkasa dari ketinggian 60 km hingga lebih dari 600 km dari permukaan Bumi (Gambar 1-1). Lapisan E dapat berperan ganda yakni sebagai pemantul

gelombang radio dan juga menjadi penghalang gelombang radio yang semestinya dipantulkan oleh lapisan F di atasnya. Oleh karenanya, kondisi lapisan ini perlu diteliti, khususnya yang akan terjadi pada waktu mendatang. Untuk mengetahui kondisi lapisan E yang akan terjadi, perlu ditentukan model lapisan tersebut.



Gambar 1-1: Profil densitas elektron lapisan ionosfer (a) dan gambaran umum ketinggian bagian-bagiannya

Dua model empiris lapisan E yang telah dikembangkan adalah model empiris yang terdapat pada tulisan Hunsucker-Hargreaves (2003) dan model Edinburgh (ITU-R P.1239-1, 1997-2007; Muggleton, 1975; Prabotosari, 1983). Dua model ini menghubungkan frekuensi kritis atau frekuensi maksimum dari lapisan E yang dinyatakan f_oE dengan bilangan bintik Matahari (*sunspot*) dan sudut pancar Matahari (*zenith angle*). Karena bintik Matahari telah diamati secara rutin dan sudut pancar Matahari dapat dihitung, maka kedua model tersebut dapat digunakan untuk menentukan prediksi nilai f_oE dan batas atas frekuensi komunikasi radio (*Maximum Usable Frequency, MUF*) yang dapat dipantulkan lapisan E ($MUF-E$).

Pada makalah ini dibahas perumusan dua model empiris dimaksud dan verifikasi keluarannya dengan variasi umum lapisan E di Indonesia. Kemudian dibahas pula secara sekilas tentang kecocokannya dengan nilai f_oE Indonesia hasil pengamatan dengan menggunakan ionosonda. Dari perumusan model dapat diketahui tingkat

kerumitannya sehingga diperoleh informasi tentang kemungkinan untuk menyesuaikannya dengan kondisi lapisan E Indonesia. Sasaran yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah diketahuinya model lapisan E yang mampu menunjukkan variasi, kecocokan dengan data pengamatan, dan kemudahan untuk menyesuaikan dengan ionosfer Indonesia.

2 LANDASAN TEORI

Seperti pada Gambar 1-1, lapisan ionosfer terdiri dari lapisan D, lapisan E, lapisan E Sporadis, lapisan F1, dan lapisan F2. Kerapatan elektron lapisan ionosfer ditentukan dari hasil ionisasi, rekombinasi elektron dan ion, dan transportasi elektron. Tingkat kerapatan elektron menunjukkan besaran frekuensi lapisan ionosfer. Demikian pula kerapatan elektron maksimum lapisan E sebanding nilai f_oE .

Seperti halnya lapisan D dan F, ionisasi lapisan E utamanya bergantung kepada intensitas energi Matahari yang masuk mencapai ketinggian lapisan E.

Sebagai akibatnya, kerapatan elektron maksimum dan nilai foE bergantung kepada intensitas energi Matahari. Dengan demikian variasi lapisan E juga akan mengikuti variasi aktivitas Matahari dan intensitas energi Matahari yang masuk lapisan E. Variasi umum lapisan ionosfer adalah variasi harian, musiman, siklus Matahari, dan variasi terhadap garis lintang.

Variasi harian berkaitan dengan rotasi Bumi terhadap sumbunya sehingga posisi Matahari terhadap lapisan E di suatu tempat berubah sepanjang hari (sangat variatif) sehingga menyebabkan nilai foE juga bervariasi sepanjang hari. Revolusi Bumi mengelilingi Matahari menyebabkan nilai foE bervariasi sepanjang tahun. Aktivitas Matahari yang mempunyai perioda 9 - 11 tahun mengakibatkan adanya variasi foE sepanjang siklus tersebut. Perbedaan arah medan magnet Bumi di lintang rendah dan lintang tinggi mengakibatkan perbedaan nilai foE di kedua lokasi tersebut.

2.1 Model Empiris Hunsucker-Hargreaves

Model pertama adalah model empiris yang disebut sebagai model Hunsucker-Hargreaves (Hunsucker dan Hargreaves, 2002). Persamaan matematis dari model ini menyatakan hubungan antara median foE dengan bilangan bintik Matahari (*sunspot*), dan sudut pancar Matahari (*zenith angle*):

$$f_oE = 3,3[(1 + 0,008 R) \cos \chi]^{\frac{1}{4}} \quad (2-1)$$

Dengan R adalah bilangan bintik hasil perataan dan pemulusan selama 12 bulan (R12), dan χ adalah sudut pancar Matahari.

Persamaan ini menggunakan asumsi bahwa lapisan E sebagai lapisan α -Chapman sehingga laju produksi ion (laju ionisasi, q) di lapisan ini berbanding lurus dengan $(foE)^4 / \cos \chi$. Dengan demikian besarnya nilai foE bergantung kepada aktivitas Matahari (R12) dan sudut zenit Matahari.

2.2 Model Edinburgh

Model kedua adalah model empiris yang dibangun oleh Edinburgh berdasarkan data pengamatan selama 30 tahun (1944-1973) di 55 stasiun pengamatan (Muggleton, 1975). Persamaan matematis model ini adalah sebagai berikut :

$$f_oE = (A \times B \times C \times D)^{\frac{1}{4}} \quad (2-2)$$

dengan A adalah faktor aktivitas Matahari dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = 1 + 0,0094(\varphi - 66) \quad (2-3)$$

dengan φ adalah rata-rata fluks radio Matahari pada panjang gelombang 10,7 cm (F10.7). Pendekatannya dapat digunakan rata-rata pemulusan 12-bulanan dari F10.7 (φ_{12}). Karena saat ini telah diperoleh hubungan empiris antara F10.7 dengan R12 maka dalam penerapannya digunakan R12. Data R12 relatif lebih mudah diperoleh daripada F10.7 (Thompson dan Wulff, 1991).

Kemudian B adalah faktor musiman yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$B = \cos^m N \quad (2-4)$$

dengan $N = \lambda - \delta$ untuk $|\lambda - \delta| < 80^\circ$ dan $N = 80$ untuk $|\lambda - \delta| \geq 80^\circ$, λ adalah derajat lintang geografis dan δ adalah sudut deklinasi Matahari, keduanya bernilai positif untuk lokasi di belahan Bumi Utara dan negatif untuk lokasi di belahan Bumi Selatan. Sedangkan pangkat m dirumuskan sebagai :

$$m = \begin{cases} -1,93 + 1,92 \cos \lambda \dots |\lambda| \geq 32^\circ \\ 0,11 + 0,49 \cos \lambda \dots |\lambda| \leq 32^\circ \end{cases} \quad (2-5)$$

Selanjutnya, C adalah faktor lintang yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C = X + Y \cos \lambda \quad (2-6)$$

Untuk $|\lambda| < 32^\circ$ nilai $X = 23$ dan nilai $Y = 116$. Kemudian untuk $|\lambda| \geq 32^\circ$ nilai $X = 92$ dan nilai $Y = 35$.

Terakhir, D adalah jam dalam sehari yang dirumuskan seperti:

$$D = \begin{cases} \cos^p \chi & \dots \dots \dots \text{untuk } \chi \leq 73^\circ \\ \cos^p \left(\chi - (6,27 \cdot 10^{-13} (\chi - 50)^8) \right) & \dots \dots \dots \text{untuk } 73^\circ < \chi < 90^\circ \\ 0,072^p e^{(25,2 - 0,28\chi)} & \dots \dots \dots \text{untuk } \chi \geq 90^\circ \end{cases} \quad (2-7)$$

dengan χ adalah sudut zenith Matahari dalam satuan derajat, nilai pangkat p adalah sebagai berikut:

$$p = \begin{cases} 1,31 & \dots \dots \text{untuk } |\lambda| \leq 12^\circ \\ 1,20 & \dots \dots \text{untuk } |\lambda| > 12^\circ \end{cases} \quad (2-8)$$

3 METODOLOGI DAN HASIL SIMULASI

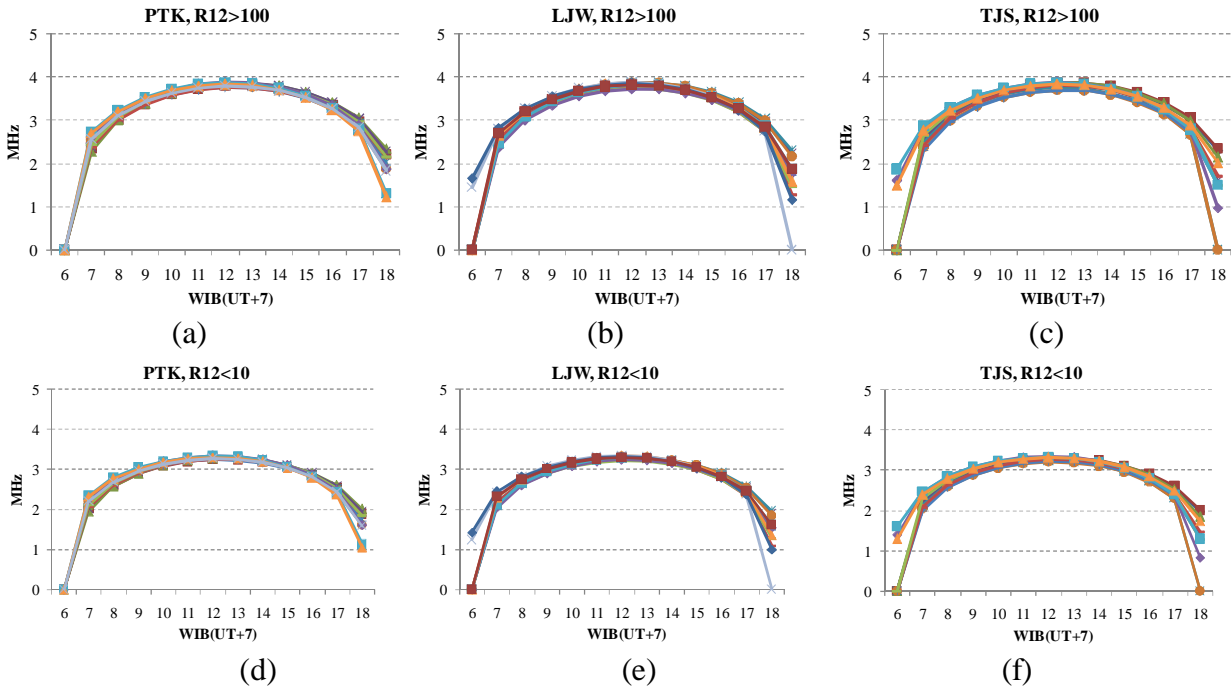
Untuk mendapatkan informasi tentang rumitnya perumusan dapat dilihat langsung pada persamaan (2-1) untuk model Hunsucker-Hargreaves dan rangkaian persamaan (2-2) sampai dengan (2-6) untuk model Edinburgh. Kemudian untuk melihat variasi harian, musiman, dan siklus Matahari dari foE keluaran kedua model, maka dilakukan simulasi untuk bulan-bulan pada saat Matahari aktif dan tenang seperti pada tabel 3-1. Lokasi yang akan digunakan dalam simulasi adalah Pontianak (0,03°LS, 109,33°BT), Laut Jawa (3,8°LS, 108,0°BT), dan Tanjungsari (6,91°LS, 107,83°BT). Dengan menganalisis nilai foE untuk tiga lokasi ini dapat diketahui variasinya terhadap lintang.

Selanjutnya, untuk melihat tingkat kecocokan foE hasil perhitungan dengan kedua model, maka keluarannya dibandingkan dengan data pengamatan di Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) Tanjungsari bulan Agustus 2001 - Juli 2002 dan pengamatan Januari - Desember 2009. Dengan mengetahui selisih antara nilai foE model dengan nilai foE hasil pengamatan maka dapat diketahui model yang lebih mendekati data pengamatan.

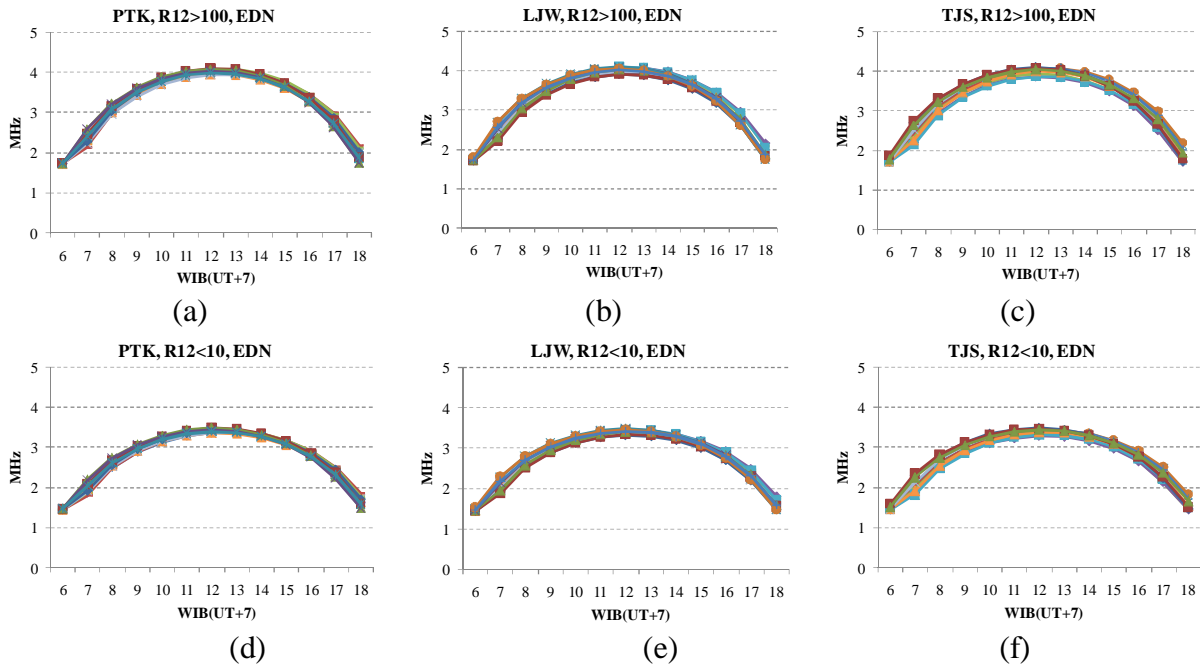
Gambar 3-1 adalah grafik foE hasil simulasi model Hunsucker-Hargreaves untuk lokasi Pontianak (PTK), Laut Jawa (LJW), dan Tanjungsari (TJS). Panel (a), (b), dan (c) pada gambar ini menunjukkan grafik foE pada saat Matahari aktif (R12>100), dan panel (d), (e), dan (f) adalah grafik foE pada saat Matahari tenang (R12<10). Selanjutnya panel (a), (b), dan (c) pada gambar 3-2 menunjukkan grafik foE model Edinburgh pada saat Matahari aktif. Sedangkan panel (d), (e), dan (f) merupakan grafiknya pada saat Matahari tenang.

Tabel 3-1: BILANGAN BINTIK MATAHARI YANG DIGUNAKAN UNTUK SIMULASI

MATAHARI AKTIF R12>100		MATAHARI TENANG R12<10	
BULAN	R12	BULAN	R12
Agustus 2001	113,9	Januari 2009	1,8
September 2001	114,1	Februari 2009	1,9
Oktober 2001	114,0	Maret 2009	2,0
November 2001	115,5	April 2009	2,2
Desember 2001	114,6	Mei 2009	2,3
Januari 2002	113,5	Juni 2009	2,7
Februari 2002	114,6	Juli 2009	3,6
Maret 2002	113,3	Agustus 2009	4,6
April 2002	110,5	September 2009	6,1
Mei 2002	108,8	Oktober 2009	7,0
Juni 2002	106,2	November 2009	7,3
Juli 2002	102,7	Desember 2009	7,5



Gambar 3-1: Grafik foE selama setahun yang menunjukkan variasi harian, variasi siklus Matahari, dan variasi terhadap garis lintang dari foE berdasarkan model empiris Hunsucker-Hargreaves

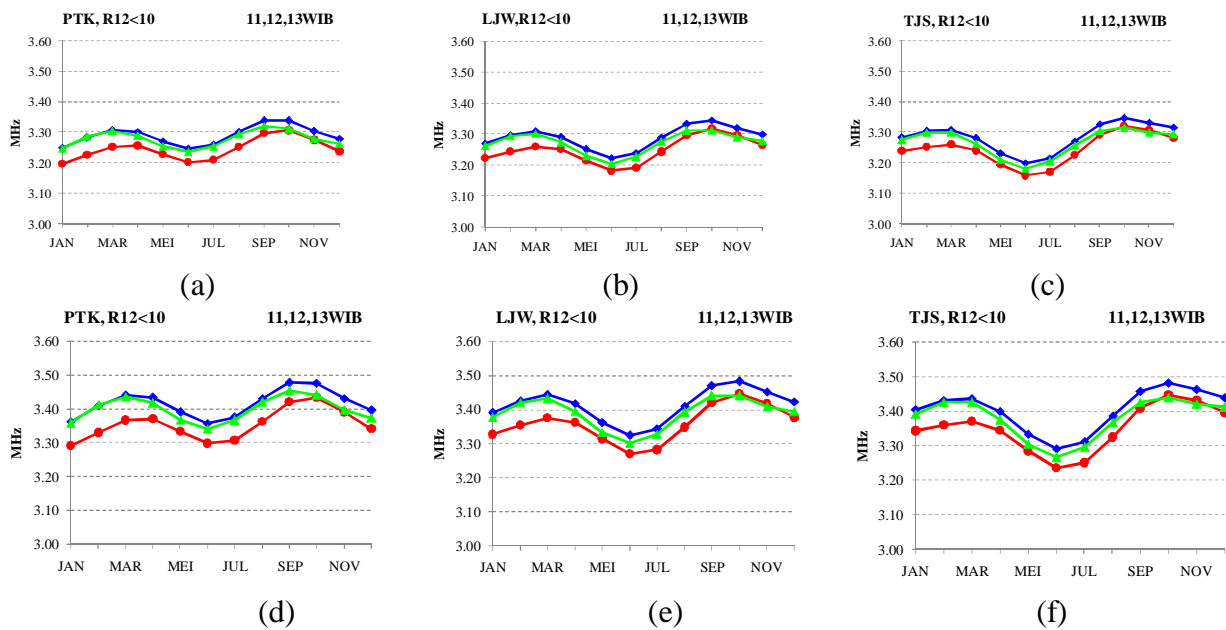


Gambar 3-2: Grafik foE selama setahun yang menunjukkan variasi harian, variasi siklus Matahari, dan variasi terhadap garis lintang dari foE berdasarkan model empiris Edinburgh

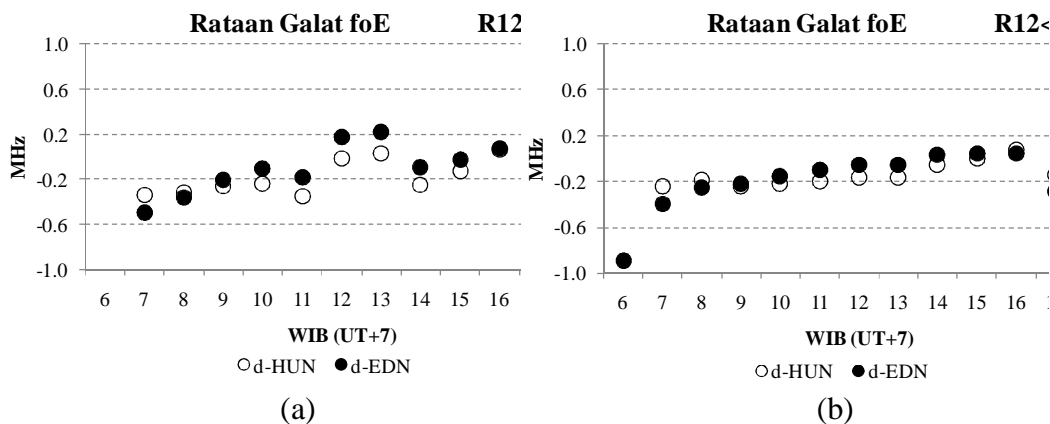
Berikutnya, Gambar 3-3 adalah variasi musiman yang ditunjukkan oleh foE hasil perhitungan dengan model Hunsucker-Hargreaves dan Edinburgh untuk tiga titik yaitu Pontianak, Laut Jawa, dan Tanjungsari, pada saat Matahari tenang. Pada panel (a), (b), dan (c) menunjukkan variasi musiman foE hasil perhitungan dengan model Hunsucker-Hargreaves, sedangkan panel

(d), (e), dan (f) menunjukkan variasi foE menurut model Edinburgh.

Terakhir, Gambar 3-4 adalah selisih antara foE model Hunsucker-Hargreaves dengan foE hasil pengamatan di atas Tanjungsari (panel (a)) dan antara foE model Edinburgh dengan pengamatan di tempat yang sama (panel (b)). Nilai pada grafik adalah rata-rata selama setahun untuk setiap jam antara pukul 6:00 WIB hingga 18:00 WIB.



Gambar 3-3: Variasi musiman dari foE di atas Pontianak (0,03°LS), Laut Jawa (3,8°LS), dan Tanjungsari (6,91°LS) hasil perhitungan dengan model Hunsucker-Hargreaves (panel (a), (b), (c)) dan Edinburgh (panel (d), (e), (f))



Gambar 3-4: Rata-rata galat foE model Hunsucker-Hargreaves (d-HUN) dan model Edinburgh (d-EDN) pada saat Matahari aktif (a) dan tenang (b), dihitung berdasarkan data pengamatan di atas SPD Tanjungsari tahun 2001-2002 dan 2009

4 PEMBAHASAN

Dengan menganalisis Gambar 3-1 dan Gambar 3-2 dapat diperoleh informasi bahwa baik model Hunsucker-Hargreaves maupun Edinburgh mampu menunjukkan variasi harian dari lapisan E melalui nilai foE-nya. Namun demikian terdapat perbedaan cukup menyolok dari nilai foE pada pukul 06:00 WIB dan 18:00 WIB. Terdapat beberapa bulan dimana model Hunsucker-Hargreaves menghasilkan nilai foE sama dengan nol pada kedua penghujung siang. Sementara model Edinburgh tetap memberikan nilai foE yang tidak nol. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pendekatan dari kedua model. Model pertama menghubungkan nilai foE dengan R12 dan sudut zenit Matahari saja, sedangkan model kedua menggunakan lebih banyak faktor yang mempengaruhi foE yakni faktor aktivitas Matahari (A), faktor musim (B), faktor lintang (C), dan durasi siang hari (D).

Kemudian, variasi foE terhadap siklus Matahari sangat jelas ditunjukkan oleh kedua model seperti terlihat pada Gambar 3-1 dan 3-2. Untuk satu lokasi nilai foE saat Matahari aktif sebagaimana ditunjukkan pada panel (a), (b), (c) Gambar 3-1 dan 3-2 lebih tinggi dibanding nilainya saat Matahari tenang (panel (d), (e), dan (f)). Namun demikian variasi terhadap lintang tidak nampak jelas. Di Pontianak yang lintangnya paling rendah (panel (a) dan (d) Gambar 3-1 dan 3-2) nilai foE tidak berbeda dengan di Laut Jawa (panel (b) dan (e)) dan Tanjungsari (panel (c), dan (f)) yang terletak pada garis lintang yang lebih tinggi. Ini berbeda dengan variasi lintang dari lapisan F (Jiyo, 2006) yang mana nilai frekuensi kritis lapisan F (foF2) di Pontianak relatif lebih rendah dibandingkan nilainya di Tanjungsari.

Variasi lapisan E terhadap musim cukup jelas ditunjukkan oleh kedua model seperti pada Gambar 3-3. Pada bulan Januari dan Juni nilai foE di atas Pontianak, Laut Jawa, dan Tanjungsari

relatif lebih rendah nilainya dibandingkan pada bulan-bulan lainnya. Sedangkan pada bulan Maret dan September, nilai foE lebih tinggi nilainya dibandingkan pada bulan-bulan lainnya.

Untuk melihat perbedaan lainnya, dilakukan analisis berdasarkan Gambar 3-4, yang menghasilkan bahwa saat Matahari aktif, galat dari kedua model terhadap data pengamatan tidak jauh berbeda. Pada pagi hari hingga tengah hari foE model lebih rendah dari data pengamatan dengan rata-rata selisihnya antara 0,2 MHz hingga 0,6 MHz. Sedangkan pada selang waktu pukul 12:00 hingga 17:00 WIB nilai foE model cukup dekat dengan data pengamatan dengan rata-rata selisihnya kurang dari 0,2 MHz. Pada pukul 18:00 WIB nilai foE model lebih tinggi dengan rata-rata selisih antara 0,2 MHz hingga 0,8 MHz. Pada saat Matahari tenang (selang waktu pukul 8:00 WIB hingga pukul 16:00 WIB selisih antara foE kedua model dengan data pengamatan nilainya kurang dari 0,2 MHz. Sedangkan pada selang waktu lainnya, selisihnya antara 0,2 hingga 0,8.

Jadi, berdasarkan analisis terhadap variasi musiman, variasi siklus Matahari, variasi lintang dari foE yang ditunjukkan dan selisihnya terhadap data pengamatan, maka diperoleh kesimpulan bahwa model Hunsucker-Hargreaves dan Edinburgh mempunyai kemampuan sama. Namun, jika dilihat dari variasi harian yang ditunjukkan oleh kedua model maka terdapat perbedaan nilai foE pada pukul 06:00 WIB dan pukul 18:00 WIB. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut tentang kedua model untuk menentukan nilai foE pada kedua waktu di penghujung hari tersebut dengan menggunakan data pengamatan yang lebih banyak. Jika dilihat dari perumusannya, maka model empiris Hunsucker-Hargreaves yang lebih mudah untuk dibangun kembali dengan data foE regional Indonesia. Sedangkan

model empiris Edinburgh relatif lebih rumit karena selain faktor aktivitas Matahari dan musim, model ini juga memasukan faktor lintang dan durasi waktu siang hari.

5 KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) baik model Hunsucker-Hargreaves maupun Edinburgh mampu menunjukkan variasi harian, musiman, dan variasi skala siklus Matahari dari lapisan E; (2) kedua model tidak mampu menunjukkan variasi lapisan E terhadap garis lintang; (3) terdapat perbedaan cukup besar antara kedua model akan hasil perhitungan foE pada pukul 6:00 WIB dan 18:00 WIB. Untuk itu perlu penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data pengamatan yang lebih banyak dan khusus untuk kedua waktu di penghujung hari tersebut; dan (4) jika dilihat dari segi perumusannya, maka model Hunsucker-Hargreaves lebih berpeluang untuk dibangun kembali menggunakan data foE regional Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Hunsucker, R. D., dan Hargreaves, J. K., 2003. *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, New York, halaman 44-45.
- ITU-R P.1239-1, 1997-2007. *ITU-R Reference Ionospheric Characteristic*, halaman 5-6.
- Jiyo, 2006. *Variasi Lapisan F Ionosfer Indonesia*, Publikasi Ilmiah LAPAN : Sains Atmosfer & Iklim, Sains Antariksa serta Pemanfaatannya, halaman 147 – 153.
- McNamara, L. F., 1991. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding*, Kreiger Publishing Company, Florida, halaman 17-38.
- Muggleton, L. M., 1975. *A Method of Predicting foE at Any Time and Place*, Telecommunication Journal, Vol. 42 – VII.
- Prabotosari, S. K., 1983. *Prediksi foE Dengan Metode Edinburgh*, Prosiding Penelitian Dirgantara LAPAN, halaman 35-43.
- Thompson, R., dan Wulff, S., 1992. *Regressions Between Solar Indices and The IPS Ionospheric T Index*, A Collection of IPS Papers Presented at The Ottawa Solar-Terrestrial Prediction Workshop, halaman 77-82.