

Validasi foF2 dan M(3000)F2 Model MSILRI Terhadap Data Observasi Ionosonde Vertikal di Indonesia

Asnawi dan Buldan Muslim

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN
Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung 40173
Email: nawi@bdg.lapan.go.id*

Abstrak

LAPAN Bandung, sedang mengembangkan suatu model sederhana ionosfer lintang rendah Indonesia (MSILRI). Model ini adalah model empiris yang dibuat untuk parameter ionosfer yang penting yaitu f_0F_2 , $M(3000)F_2$, MUF dan TEC (*Total Electron Content*). Parameter terakhir penting dalam kalibrasi penentuan posisi berbasis satelit untuk receiver single frekuensi. Dalam banyak hal model ionosfer dapat digunakan untuk menghitung dan memprediksi frekuensi kritis lapisan ionosfer atau parameter ionosfer lainnya. Untuk itu, kehandalan model tersebut menjadi hal yang sangat penting. Validasi dilakukan saat aktivitas matahari tinggi dan rendah serta saat posisi matahari di equator, di utara dan selatan dengan menggunakan data ionosonde vertikal dari beberapa stasion pengumpul data ionosfer milik LAPAN.

Hasil validasi model MSILRI ini memperlihatkan bahwa pola model cukup sesuai dengan data pengamatan. Rata-rata simpangan mutlak MSILRI terhadap data pengamatan 13.13 %, MAD 1.44 untuk f_0F_2 dan 9.17 %, MAD 0,25 untuk $M(3000)F_2$ pada kondisi aktivitas matahari tinggi, sedangkan pada

saat aktivitas matahari rendahnya 11.31 % , MAD 0.63 untuk foF2 dan 5.77 % , MAD 0.50 untuk M(3000). Prosentase kesalahan terbesarnya mencapai 31.7 % dengan MAD 1.62 yaitu untuk stasion Tanjungsari saat aktivitas matahari rendah (R=18.3) pada bulan May 1997 untuk parameter foF2. Prosentase terkecil adalah 2.3 % dengan MAD 0.06 di stasion Biak untuk parameter M(3000)F2 dengan R= 71.4 bulan Januari 1993. Pada umumnya kesalahan terbesar terjadi sekitar bulan equinox. Validasi menggunakan data Biak menunjukkan hasil yang baik, hal ini disebabkan kedekatan lintang geografis Biak dengan Singapore dan Vanimo, demikian juga tahun dari data yang digunakan untuk membuat model pada kedua lokasi tersebut sama dengan data Biak. Dari hasil ini bahwa model cukup logis namun masih perlu diperbaiki lagi, terutama dalam hal data yang digunakan untuk membuat model, sebaiknya juga memasukkan data ionosfer Indonesia.

Kata kunci: Validasi, Ionosfer, model regional lintang rendah, MSILRI

1. Pendahuluan

Lapisan ionosfer adalah media pemantul gelombang HF (High Frequency). Mengetahui karakteristik dan perilaku lapisan ionosfer sangat penting dalam hal propagasi gelombang HF, apalagi menyangkut manajemen frekuensi dan system HF, sehingga mengetahui besarnya frekuensi kritis lapisan ionosfer (foF2) sangat diperlukan. Sedangkan M(3000)F2 adalah suatu factor untuk memperoleh frekuensi maksimum propagasi gelombang HF antara dua tempat berjarak 3000 km dari frekuensi kritis (foF2) lapisan ionosfer menggunakan data vertical sounding (pantulan tegak). Karakteristik foF2 ionosfer memiliki pola yang tetap setiap harinya, pagi hingga siang hari frekuensinya mengalami peningkatan, siang hingga malam relatif stabil dan malam hingga pagi hari frekuensinya menurun. Pola ini didominasi oleh pengaruh matahari yang dapat dilihat dari siklus harian, bulanan dan tahunannya. Oleh karena dinamika di ionosfer sangat dipengaruhi oleh aktivitas

matahari maka dapat dibuat pemodelan ionosfer, dengan bilangan matahari sebagai salah satu inputnya. Dalam banyak hal model ionosfer dapat digunakan untuk menghitung dan memprediksi frekuensi kritis lapisan ionosfer atau parameter ionosfer lainnya. Untuk itu, kehandalan model tersebut menjadi hal yang sangat penting.

LAPAN Bandung dengan riset unggulan kemandirian kedirgantaraan, salah satunya adalah membuat model sederhana ionosfer lintang rendah Indonesia (MSILRI). MSILRI merupakan modifikasi dari model SIRM (*simplified Ionospheric Regional Model*) yang awalnya dikembangkan untuk mendapatkan model yang paling cocok di daerah lintang tengah Eropa dari pengamatan ionosonde vertikal yang tersebar di wilayah Eropa, pada jarak yang jauh dan dalam periode pengamatan yang berbeda-beda. Model SIRM mengambil asumsi bahwa di daerah lintang tengah, respon ionosfer terhadap siklus matahari saat aktivitas naik dan turun adalah sama dan pada waktu lokal yang sama tidak ada ketergantungan ionosfer terhadap longitude pada wilayah dengan batas tertentu dan hubungan linier koefisien-koefisien model terhadap lintang geografi. Asumsi-asumsi tersebut juga berlaku untuk MSILRI kecuali bentuk hubungan antara koefisien Fourier terhadap lintang, MSILRI mengambil hubungan polinomial karena ionosfer di daerah lintang rendah Indonesia didominasi oleh anomali ionisasi, di mana ionisasi terbesar tidak terletak di katulistiwa melainkan disebelah selatan dan utara katulistiwa secara tidak simetris (dikutip dari Buldan dkk, 2002). Data yang digunakan dalam pembuatan model MSILRI dikumpulkan dari World Data Center yang diakses melalui internet (www.wdc.rl.ac.uk), berisi nilai median bulanan parameter ionosfer. Untuk parameter foF2 dan M(3000)F2 diperoleh.. dari stasiun ionosonde vertikal sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

Ketergantungan foF2 pada aktivitas matahari diekspresikan dalam R_{12} yaitu rata-rata bergerak 12 bulan dari rata-rata bulanan, bilangan sunspot dan dijadikan sebagai input model, pemilihan indek R_{12} ini didasarkan pada

prediktibilitasnya yang lebih baik dari pada bilangan sunspot bulanan R dan sesuai dengan rekomendasi IRI (*International Reference Ionosphere*).

Tabel 1. Data pengamatan yang digunakan dalam pembuatan model MSILRI (sumber: Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia, Buldan dkk 2002)

No	Lokasi Stasiun	Lintang	Bujur	Data yang digunakan
1	Manila	14.70	121.10	1964 – 1994
2	Singapura	1.30	103.80	1957 – 1971
3	Vanimo	-2.70	141.30	1964 – 1993
4	Darwin	-12.45	130.95	1982 – 1993

Sebagai prediktor model MSILRI harus divalidasi. Dalam tulisan ini, akan divalidasi model MSILRI untuk parameter foF2 dan M(3000)F2 terhadap data pengamatan di lintang rendah Indonesia, menggunakan data yang ada pada stasion pengamat dirgantara LAPAN. Validasi ini untuk melihat besarnya kesalahan model terhadap data pengamatan dan kesesuaian trend model dengan trend data pengamatan pada kondisi aktivitas matahari tinggi dan rendahnya, selanjutnya hasil yang diperoleh akan dijadikan sebagai masukan untuk menentukan langkah selanjutnya.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam memvalidasi model adalah meruning model MSILRI untuk data foF2 dan M(3000)F2. Hasil running model akan divalidasi dengan data pengamatan. Data ionosfer yang digunakan untuk validasi model adalah dari pengamatan ionosfer di daerah Indonesia seperti Tangerang, Sumedang, Pontianak, dan Biak. Tabel 2 adalah koordinat geografis dari stasion-stasion tersebut.

Tabel 2. Lokasi geografis staion pengamat dirgantara

No	Lokasi Stasion	Lintang	Bujur	Tahun Data
1	Tangerang	-6.11	106.30	1981-1982
2	Tanjungsari	-6.54	107.55	1997 - 2003
3	Pontianak	-0.03	101.33	1987
4	Biak	-1	136.00	1992-1995

Validasi dilakukan pada dua kondisi aktivitas matahari yaitu saat matahari maksimum dan matahari minimum. Model MSILRI adalah model jangka panjang yaitu model nilai median bulanan foF2, M(3000)F2. Tingkat akurasi model ditentukan dengan cara menghitung selisih foF2 dan M(3000)F2 model dari foF2 dan M(3000)F2 pengamatan, sehingga dapat diketahui apakah model-model tersebut nilainya (*under estimate*) berada di bawah data pengamatan atau di atas data pengukuran (*over estimate*). Ukuran dari tingkat akurasi model adalah dihitung berdasarkan rata-rata simpangan mutlak (*mean absolute deviation MAD*) model terhadap data pengamatan :

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |(m_i - o_i)|}{n} \quad (1)$$

sedangkan persen rata-rata kesalahan model dihitung menggunakan persamaan (2)

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n |(m_i - o_i) / o_i| \times 100}{n} \quad (2)$$

dimana:

MAD = rata-rata simpangan mutlak

D = rata-rata persentase error model

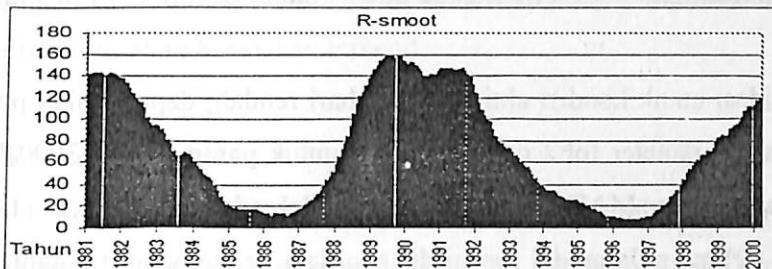
m_i = data hasil luaran model

o_i = data observasi

n = jumlah data (jam 00 s/d jam 23 waktu lokal)

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk melihat pengaruh aktivitas matahari pada kondisi tinggi dan rendahnya, maka plotting diambil beberapa tahun data pada kondisi tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, bahwa siklus minimum matahari terjadi pada tahun 1986, 1987, 1995, 1997 dan siklus maksimumnya adalah tahun 1981, 1982, 1990, 1991, 1992, 2000, 2001 .



Gambar 1. Grafik R_{12} yaitu rata-rata bergerak 12 bulan dari rata-rata

Perbandingan model dan pengamatan pada kondisi aktivitas matahari tinggi dapat dilihat pada Gambar 2 untuk parameter foF2 dan Gambar 3 untuk parameter M(3000)F2. Bulan data dipilih saat posisi matahari di equator, bulan equinox yaitu Maret dan September serta saat di selatan yaitu bulan Desember. Secara umum pola model terlihat sesuai dengan pola pengamatan baik untuk parameter foF2 dan M(3000)F2, terutama untuk stasion Biak dan Tanjungsari. Tapi pola untuk parameter M(3000)F2 di stasion Tangerang terlihat kurang sesuai dengan data pengamatan terutama saat tengah malam sampai menjelang tengah hari. Nilai MAD dan persen kesalahan model terhadap data pengamatan pada saat aktivitas matahari tinggi ini dapat dilihat pada Tabel 2 untuk foF2 dan M(3000)F2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa kesalahan tertinggi untuk parameter foF2 mencapai 24.4% untuk stasion Tangerang yaitu pada bulan Juli 1981 dengan MAD 1.90 , dan 9.7% untuk stasion Biak pada bulan Maret 1992 dengan MADnya 1.1 . Masih pada Tabel 2 untuk parameter M(3000)F2, kesalahan tertinggi adalah 16.6 % untuk stasion Tangerang pada bulan Oktober

1981, dimana MADnya adalah 0.40 dan 7.3 % untuk stasion Biak pada bulan Juni 1992 dengan MAD 0.23 . Bila kita perhatikan pada table ini maka rata-rata kesalahan paling besar adalah untuk stasion Tangerang yaitu 16.59 % untuk parameter foF2 dan 13.01 % untuk parameter M(3000)F2. Sedangkan untuk stasion Biak, rata-rata kesalahan model mencapai 6.8 % untuk parameter foF2 dan 5 % untuk M(3000)F2. Bila ditotal kesalahan model pada saat aktivitas matahari tinggi ini adalah 12.34 % dengan MAD 1.2 dan 9.1 % dengan MAD 0.2, masing-masing untuk parameter foF2 dan M(3000)F2. Dapat dilihat juga bahwa kesalahan tertinggi juga terjadi pada bulan- bulan equinox, yaitu Maret dan September.

Hasil validasi untuk kondisi aktivitas matahari rendah, dapat dilihat pada Gambar 4 untuk parameter foF2 dan Gambar 5 untuk parameter M(3000)F2. Sedangkan perhitungan MAD dan kesalahan model ada pada Tabel . Dari kedua gambar, terlihat pola model sesuai dengan data pengamatan terutama di stasion Biak, tapi untuk stasion Pontianak terlihat model untuk foF2 lebih tinggi dari data pengamatan. Dari table 3.2 ini bahwa kesalahan model cukup tinggi untuk stasion Pontianak dan Tanjungsari masing-masing mencapai 21 % dan 32 %, untuk parameter foF2. Model untuk parameter M(3000)F2 pada kondisi aktivitas matahari rendah terlihat cukup baik dengan kesalahan terbesar hanya mencapai 12.5 %. Dari table juga terlihat bahwa kesalahan model terbesar terjadi saat bulan-bulan equinox, yaitu Maret dan September. Jika ditotal kesalahan pada aktivitas matahari rendah maka kesalahan untuk foF2 adalah 11.31 % dengan MAD 0.63 dan untuk M(3000)F2 adalah 5.77 % dengan MADnya hanya 0.18

Dari hasil pada kedua kondisi aktivitas matahari diatas, maka terlihat bahwa model MSILRI memiliki pola yang sesuai dengan data pengamatan. Pada kondisi matahari tinggi, deviasi model, terkecil adalah 4.6 % , MAD 0.42 untuk foF2 dan 3.73 %, 0.34 untuk M(3000)F2. sedangkan deviasi tertingginya adalah 24.4%, MAD 1.9 untuk foF2 dan 15.7%, MAD 0.34 untuk M(3000)F2. Pada kondisi aktivitas matahari rendah, deviasi terkecil adalah 4.2

%, MAD 0.12 untuk foF2 dan 2.3 %, MAD 0.06 untuk M(3000)F2. Deviasi tertinggi pada kondisi matahari minimum adalah 31.76 %, MAD 1.62 untuk foF2 dan 12.5 %, MAD 0.2. Hasil ini menunjukkan bahwa model cukup logis. Kesalahan model tertinggi terjadi pada bulan-bulan equinox. Bila dilihat dari data yang digunakan untuk membuat model, table 1.1, terlihat bahwa belum digunakan data ionosfer yang ada di Indonesia. Apabila model MSILRI ini juga menggunakan data ionosfer Indonesia, mungkin hasilnya akan lebih baik. Masih dari table 1.1 bahwa lintang geografis dari Vanimo dan Singapura lebih mendekati stasion Biak, sehingga hasil validasi yang menggunakan data stasion Biak menunjukkan kesalahan terkecil.

4. Kesimpulan

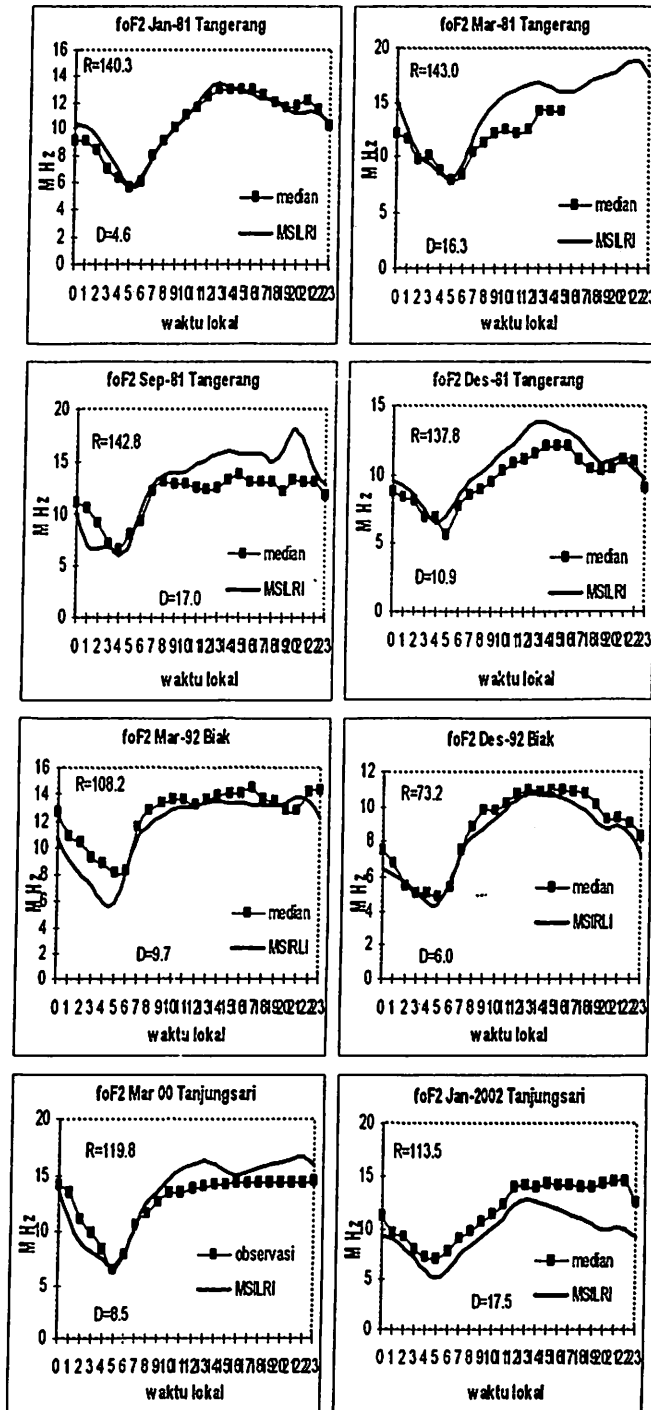
Dari hasil validasi model MSILRI ini dapat disimpulkan bahwa pola model cukup sesuai dengan data pengamatan. Model MSILRI untuk parameter M(3000)F2 terlihat lebih baik dari foF2. Prosentase kesalahan terbesarnya mencapai 31.7 % dengan MAD 1.62 yaitu untuk stasion Tanjungsari saat aktivitas matahari rendah ($R=18.3$) pada bulan May 1997 untuk parameter foF2. Prosentase terkecil adalah 2.3 % dengan MAD 0.06 di stasion Biak untuk parameter M(3000)F2 dengan $R=71.4$ bulan Januari 1993. Rata-rata simpangan mutlak MSILRI terhadap data pengamatan 13.13 %, 1.44 untuk foF2 dan 9.17 %, 0.25 untuk M(3000)F2 pada kondisi aktivitas matahari tinggi, sedangkan pada saat aktivitas matahari rendahnya 11.31 %, MAD 0.63 untuk foF2 dan 5.77 %, MAD 0.50 untuk M(3000)F2. Pada umumnya kesalahan terbesar terjadi sekitar bulan equinox. Validasi menggunakan data Biak menunjukkan hasil yang baik, hal ini disebabkan kedekatan lintang geografis Biak dengan Singapore dan Vanimo, demikian juga tahun dari data yang digunakan untuk membuat model pada kedua lokasi tersebut dengan Biak. Dari hasil ini bahwa model cukup logis namun masih perlu diperbaiki lagi, terutama dalam hal data yang digunakan untuk membuat model, sebaiknya juga memasukkan data ionosfer Indonesia.

Daftar Pustaka

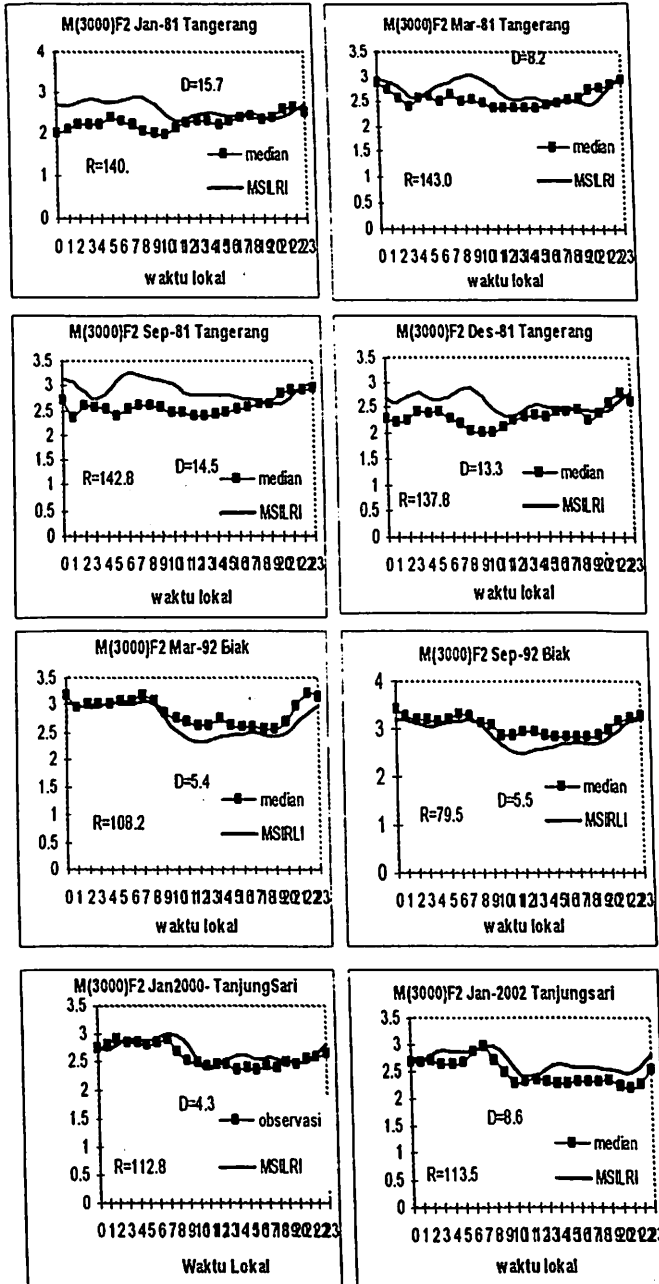
- Muslim B, dkk, (2002) Model Sederhana Lintang Rendah Indonesia, *Proc. Peranan Sains Antariksa dan Sains Atmosfer Dalam Pengembangan Teknologi Kedirgantaraan (Bandung)*, Nop 2002
- Muslim B., 2002, *Model Sederhana Ionosfer Regional Indonesia*, Kontribusi Fisika Indonesia, Volume 13 No. 2, 94-96.
- B.W Reinisch., *et al* (1994) *Validating Ionospheric Models With Measured Electron Density Profiles*, *Adv. Space Res.*, V 14 Number 12 67-69
- Budyanto dkk., (2000) *Hubungan Empiris Antara Frekuensi foF2 dengan Bilangan Sunspot (R) dan Derajat Bujur pada Lintang Tertentu Di Atas Indonesia*, *Warta LAPAN*. Volume 2 No 4 159-164

Acknowledgment

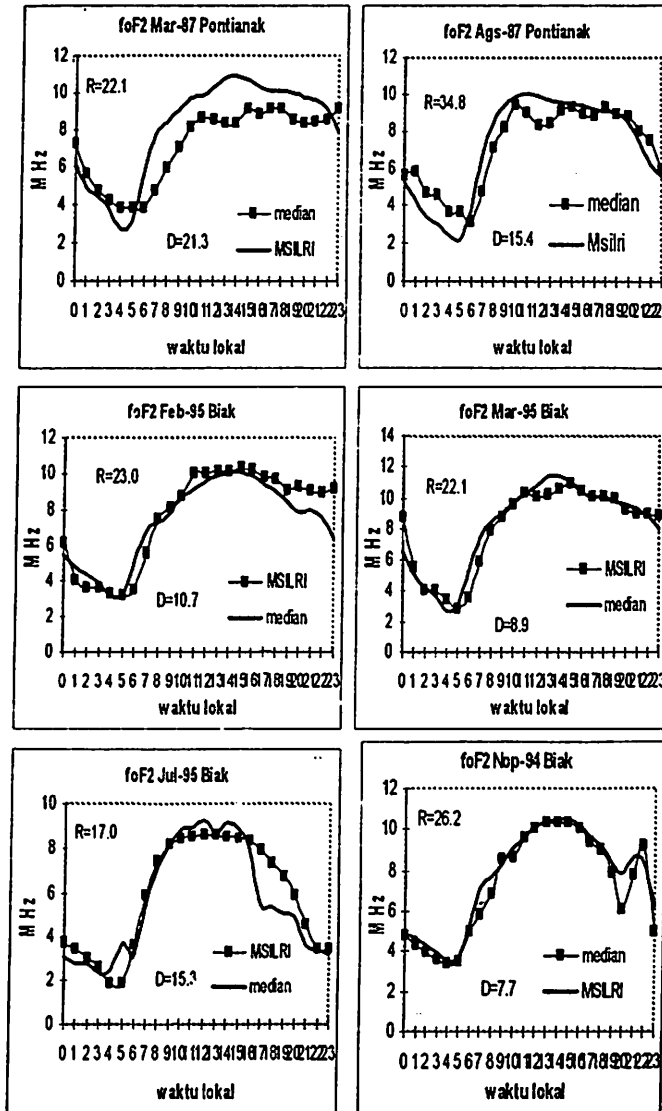
Makalah ini sebagian mendapat dukungan dari program Riset Unggulan Kemandirian Kedirgantaraan dengan judul *Pemodelan Ionosfer Regional Indonesia dan Aplikasinya untuk Komunikasi Radio dan Koreksi Ionosfer dalam Penentuan Posisi Berbasis Satelit GPS*



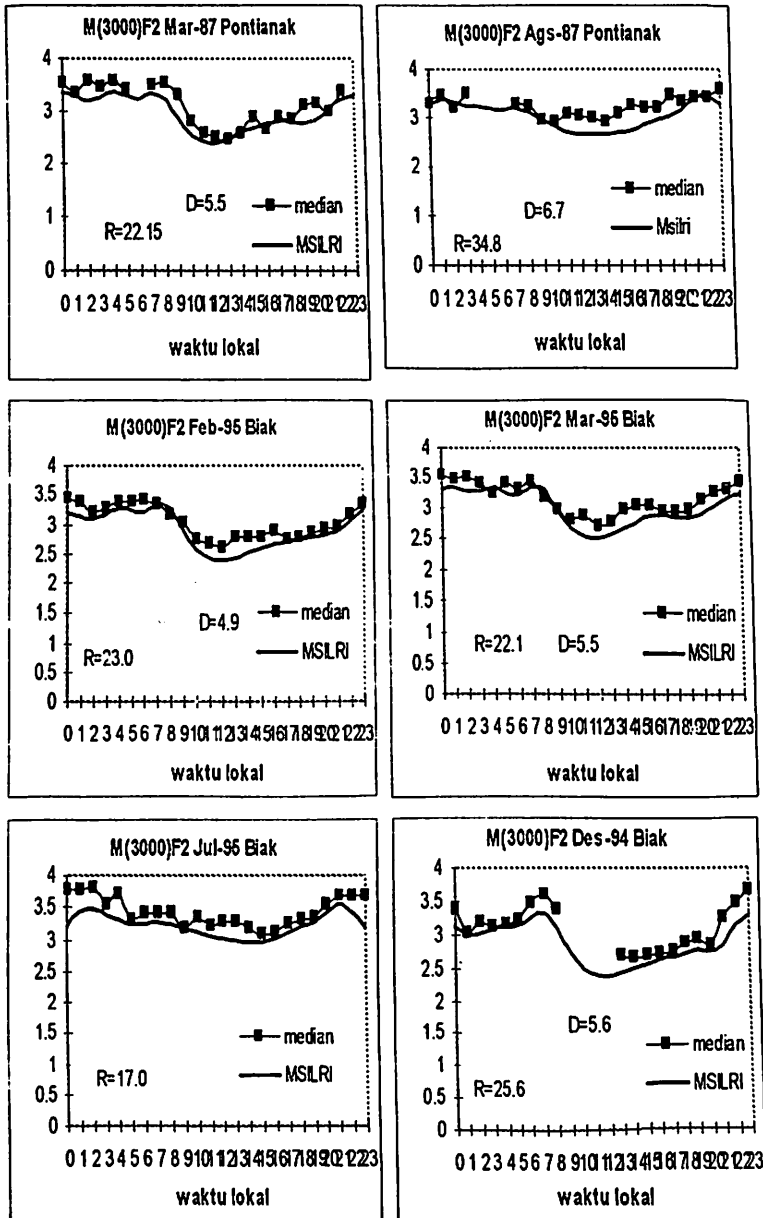
Gambar 2. Perbandingan model dan pengamatan untuk parameter foF2 di stasiun Tangerang, Biak dan Tanjung Sari pada kondisi aktivitas matahari maksimum. Masing-masing dengan bilangan sunspot R dan D adalah deviasi model



Gambar 3. Perbandingan model dan pengamatan untuk parameter M(3000)F2 di stasiun Tangerang, Biak dan TanjungSari pada kondisi aktivitas matahari maksimum. Masing-masing dengan bilangan sunspot R dan D persen deviasi model



Gambar 4. Perbandingan model dan pengamatan untuk parameter foF2 di stasiun Pontianak dan, Biak pada kondisi aktivitas matahari minimum. Masing-masing dengan bilangan sunspot R, dan persen deviasi model D



Gambar 5. Perbandingan model dan pengamatan untuk parameter M(3000)F2 di stasiun Pontianak dan, Biak pada kondisi aktivitas matahari minimum. Masing-masing dengan bilangan sunspot R dan persen kesalahan model D

Tabel 3. Prosentase kesalahan model dan Mean Absolute Deviation (MAD)
Untuk foF2 dan M(3000)F2 saat kondisi aktivitas matahari rendah

No	Lokasi	R12	Bulan	foF2		M(3000)F2	
				MAD	% Error	MAD	% Error
1	Pontianak	22.1	Mar-87	1.43	21.33	0.18	5.54
2		24.4	Apr-87	0.98	14.37	0.20	6.22
3		34.8	Ags-87	0.88	15.43	0.21	6.67
			rata-rata	1.10	17.04	0.20	6.14
4	Biak	71.4	Jan-93	0.52	6.77	0.06	2.34
5		69.3	Feb-93	0.66	8.45	0.13	4.59
6		66.6	Mar-93	1.17	11.54	0.17	5.89
7		59.9	May-93	0.68	6.22	0.18	5.55
8		56.1	Jun-93	0.72	8.97	0.12	3.54
9		54.7	Jul-93	0.67	9.49	0.16	4.82
10		52.3	Ags-93	0.51	7.82	0.15	4.86
11		48.4	Sep-93	0.59	13.46	0.16	5.22
12		44.9	Okt-93	0.49	6.58	0.11	3.87
13		41.2	Nop-93	0.48	6.67	0.12	4.21
14		38.4	Des-93	0.41	6.14	0.10	3.47
15		36.6	Jan-94	0.45	7.31	0.10	3.38
16		34.8	Feb-94	0.87	11.11	0.13	4.31
17		34.1	Mar-94	0.12	4.21	0.17	5.53
18		33.7	Apr-94	0.44	5.59	0.17	5.23
19		32.5	Mei-94	0.49	8.55	0.13	4.02
20		28.5	Jul-94	0.39	7.24	0.20	5.78
21		26.8	Ags-94	0.55	10.20	0.21	6.23
22		26.6	Sep-94	0.65	12.46	0.18	5.45
23		26.2	Nop-94	0.47	7.68	0.19	6.23
24		25.6	Dec-94	0.73	13.51	0.18	5.60
25		24.2	Jan-95	0.77	15.11	0.26	8.33
26		23	Feb-95	0.68	10.48	0.15	4.89
27		22.1	Mar-95	0.56	8.99	0.17	5.53
28		20.6	Apr-95	0.80	14.64	0.21	6.24
29		19.2	May-95	0.61	12.42	0.20	5.73
30		17	Jul-95	0.69	15.29	0.21	5.99
			rata-rata	0.60	9.51	0.16	5.07
31	Tanjungsari	18.3	May-97	1.62	31.76	0.39	12.52
32		22.6	Jul-97	0.90	16.93	0.21	6.67
			Total	0.63	11.31	0.18	5.77