

## Verifikasi dan Revisi MSILRI02 Menggunakan Data Ionosonde Vertikal Sumedang dan Model IRI 2001

*Buldan Muslim\*), Aries Kurniawan\*) dan Imam Syafe'I\*\*)*

*\*) Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi*

*\*\*\*)Bidang Instalasi Pengamat Dirgantara*

*Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa*

*Jl Dr Junjuran 133 Bandung 40173*

### Abstrak

Dari data pengamatan ionosonde vertikal di Manila, Singapura, Vanimo dan Darwin telah dibuat model sederhana ionosfer lintang rendah Indonesia versi tahun 2002 (MSILRI02) menggunakan formulasi polinom tingkat 3 untuk estimasi ketergantungan terhadap lintang geografi dari koefisien-koefisien Fourier variasi diurnal nilai median bulanan parameter ionosfer pada bulan tertentu. Respon ionosfer terhadap aktifitas matahari diestimasi dengan fungsi linier berdasarkan dua kondisi aktivitas matahari pada  $R12 = 0$  dan  $100$ . Validasi MSILRI02 dengan data ionosfer Indonesia menunjukkan bahwa MSILRI02 hanya akurat untuk daerah yang lintangnya tidak berjauhan dari lintang Vanimo dan Singapura, sementara untuk daerah Sumedang MSILRI02 kurang akurat dibandingkan dengan model IPS (software ASAPS). Penggunaan fungsi polinom tingkat lima dalam pembuatan model dengan melibatkan data Sumedang (lintang  $-6.5^\circ$ ) dan data kelurana model IRI 2001 untuk lintang  $6^\circ$  dan  $10^\circ$  menghasilkan MSILRI versi 2003 (MSILRI03). Setelah verifikasi dan revisi MSILRI menjadi lebih akurat dari model IPS.

*Kata kunci: Ionosfer, lintang rendah, model, verifikasi, revisi.*

## 1. Pendahuluan

Beberapa model numerik telah dikembangkan selama dekade terakhir baik untuk pemetaan global maupun lokal dari parameter-parameter ionosfer yang digunakan untuk spesifikasi sistem penjalaran gelombang radio HF. Model-model tersebut didasarkan pada nilai median bulanan yang dipilih dari suatu database pengamatan ionosfer pada lokasi yang luas dari permukaan bumi, waktu, musim dan tingkat aktivitas matahari dan geomagnet. Sebagian besar dari model tersebut dibatasi oleh salah satu hal yaitu asumsi fisis atau oleh tidak terpenuhinya kondisi syarat batas yang diterapkan (Anderson, 1993). Perbaikan lebih lanjut diharapkan dari penggunaan data ionosfer yang lebih strategis dan sederhana tetapi aplikatif. Lebih bermanfaatnya cara tersebut telah didiskusikan dalam beberapa makalah review dalam kerangka proyek Cost 238(PRIME) (Bradley, 1993 Cander et. al., 1994).

Dengan mengenalkan model ionosfer regional sederhana (*simplified ionospheric regional model* :SIRM), Zolesi dkk. (1991) telah mengusahakan suatu cara bagaimana membuat model ionosfer di suatu area tertentu dengan jaringan ionosonde yang letaknya berjauhan dan bagaimana menggunakan data yang diperoleh dari periode pengamatan yang tidak sama antara satu stasiun ionosonde dengan stasiun ionosonde yang lainnya. Dalam model ini nilai median bulanan frekuensi kritis lapisan F ( $f_oF_2$ ), faktor propagasi M 3000 lapisan F2 ( $M(3000)F_2$ ), ketinggian semu lapisan F ( $h'F$ , frekuensi kritis lapisan F1 ( $f_oF_1$ ) dan frekuensi kritis lapisan E ( $f_oE$ ) di atas Eropa telah diekspresikan sebagai fungsi koordinat geografi, waktu lokal atau universal, dan rata-rata bulanan bilangan sunspot, R12 (Zolesi dkk., 1993). Prosedur pembuatannya berdasarkan pada asumsi bahwa pada waktu lokal tertentu tidak ada ketergantungan parameter ionosfer pada bujur (longitude) dan bahwa variasi diurnal dan musimannya dapat direpresentasikan secara baik menggunakan ekspansi Fourier dengan jumlah koefisien yang relatif sedikit. Teknik-teknik lainnya yang didasarkan pada algoritma fitting temporal dan

spasial, baru-baru ini telah diusulkan dan diterapkan untuk daerah Eropa (Dvinskikh, 1988, Singer, 1991; Reinisch dkk., 1993; Mikailov dkk., 1994; De Franceschi dan De Santis, 1994; Bradley dkk., 1994), telah mengkonfirmasi bahwa penting dan perlunya metode dan pemetaan ionosfer regional.

Setelah diterapkan untuk daerah lintang tengah yang lainnya menggunakan sekumpulan data yang sesuai dengan daerahnya ternyata SIRM memiliki potensi aplikatif untuk model ionosfer regional daerah lintang tengah (Zolesi et. al., 1996).

Melanjutkan studi sebelumnya penulis telah memodifikasi SIRM sehingga memiliki kesesuaian dengan kondisi ionosfer daerah lintang rendah khususnya wilayah Indonesia, yang kami beri nama dengan MSILRI. Sebagai langkah awal penulis membuat model ionosfer untuk 3 parameter ionosfer terpenting yang berguna untuk komunikasi radio dan penentuan posisi berbasis satelit GPS. Parameter-parameter tersebut adalah foF2 dan M(3000)F2 yang mana dari dua parameter tersebut dapat ditentukan MUF bulanan antar kota-kota propinsi di seluruh wilayah Indonesia, dan total electron content (TEC) yang diperlukan untuk kalibrasi dalam penentuan posisi berbasis satelit dan koreksi dalam penjejak satelit.

Perumusan model yang dibuat pertama kali hanya terbatas berdasarkan data pengamatan ionosonde vertikal Manila, Singapura, Vanimo dan Darwin. Dari empat stasiun tersebut penggunaan polinom tingkat 3 untuk pendekatan model terhadap lintang geografi sudah cukup akurat. MSILRI versi tahun 2002 ini (MSILRI02) telah diverifikasi menggunakan data Sumedang. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa masih dapat dilakukan peningkatan model menggunakan fungsi polinom dengan derajat yang lebih tinggi. Maka telah dilakukan revisi MSILRI02 dalam hal perumusan model dan penggunaan data dari pengamatan maupun keluaran model untuk lintang tertentu yang tidak ada pengamatan ionosfer di daerah tersebut. Makalah ini menjelaskan verifikasi dan revisi model MSILRI02 sehingga menghasilkan MSILRI versi 2003 (MSILRI03) untuk parameter foF2 dan M(3000)F2.

## 2. Data dan Perumusan Model

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari World Data Center yang diakses melalui internet ([www.wdc.rl.ac.uk](http://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. Semua data untuk stasiun tertentu dikelompokkan berdasarkan bilangan sunspot dan mengabaikan perbedaan respon ionosfer saat naiknya dan turunnya aktivitas matahari dalam suatu siklus. Ketergantungan foF2 pada aktivitas matahari diekspresikan dalam  $R_{12}$  yaitu rata-rata bergerak 12 bulan dari rata-rata bulanan bilangan sunspot mengikuti apa yang telah dilakukan oleh Kouris et. al., (1993) yang telah mengadopsi R12 untuk pemetaan regional karakteristik lapisan F yang telah dilakukan oleh grup PRIME. Selain itu pemilihan indek R12 juga didasarkan pada prediktibilitasnya yang lebih baik dari pada bilangan sunspot bulanan R dan sesuai dengan rekomendasi IRI.

Tahap pertama pembuatan model adalah didasarkan pada analisis regresi linier nilai median bulanan parameter ionosfer yang diambil pada waktu lokal tertentu terhadap indek aktivitas matahari R12

$$\Gamma_{h,m} = a_{h,m} R_{12} + b_{h,m}, \quad (1)$$

dengan  $a_{h,m}$  dan  $b_{h,m}$  adalah dua matrik dari 288 koefisien yang berhubungan dengan setiap jam,  $h$  dari suatu hari dan setiap bulan,  $m$  dari satu tahun. Tahap kedua adalah analisis Fourier dari foF2 yang dihitung dari (2) untuk dua kondisi tertentu dari aktivitas matahari yaitu untuk  $R_{12} = 0$  dan untuk  $R_{12} = 100$ ,

$$\Gamma_m = A_0^m + \sum_{n=1}^{n=l} [A_n^m \text{Cos}(n\omega t) + B_n^m \text{Sin}(n\omega t)], \quad (2)$$

dengan  $n$  adalah nomor harmonik dan  $\omega$  adalah frekuensi dasar, dan  $t$  adalah waktu lokal. Selanjutnya koefisien-koefisien  $A_0^m$ ,  $A_n^m$ ,  $B_n^m$  dicari hubungannya dengan lintang geografi dan indeks  $R_{12}$ . Untuk daerah lintang tengah hubungan koefisien Fourier dengan lintang dan  $R_{12}$  dapat didekati dengan hubungan linier.

Tetapi untuk daerah lintang rendah ternyata hubungan linier antara koefisien-koefisien Fourier dengan lintang tidak dapat diterapkan. Oleh karena itu penulis telah memodifikasinya dengan pendekatan polinomial. Dan pendekatan polinom tingkat tiga, model telah dapat mendekati data dengan baik untuk proses pembuatan model berdasarkan data empat stasiun tanpa melibatkan stasiun Sumedang. Jika stasiun Sumedang dipakai dalam proses pembuatan model, polinom tingkat 3 kurang sesuai lagi. Maka telah dilakukan revisi model menggunakan polinom tingkat 5. Kemudian koefisien-koefisien pendekatan polinom tingkat lima tersebut dihubungkan secara linier dengan indeks R12 sehingga menghasilkan persamaan:

$$A_0^m = a_0^m + b_0^m R_{12} + (a_1^m + b_1^m R_{12})L + (a_2^m + b_2^m R_{12})L^2 + (a_3^m + b_3^m R_{12})L^3 + (a_4^m + b_4^m R_{12})L^4 + (a_5^m + b_5^m R_{12})L^5 \quad (3)$$

$$A_n^m = a_{n0}^m + b_{n0}^m R_{12} + (a_{n1}^m + b_{n1}^m R_{12})L + (a_{n2}^m + b_{n2}^m R_{12})L^2 + (a_{n3}^m + b_{n3}^m R_{12})L^3 + (a_{n4}^m + b_{n4}^m R_{12})L^4 + (a_{n5}^m + b_{n5}^m R_{12})L^5 \quad (4)$$

$$B_n^m = c_{n0}^m + d_{n0}^m R_{12} + (c_{n1}^m + d_{n1}^m R_{12})L + (c_{n2}^m + d_{n2}^m R_{12})L^2 + (c_{n3}^m + d_{n3}^m R_{12})L^3 + (c_{n4}^m + d_{n4}^m R_{12})L^4 + (c_{n5}^m + d_{n5}^m R_{12})L^5 \quad (5)$$

Dengan  $l = 6$  (ekspansi Fourier orde 6) diperlukan 6 koefisien untuk masing-masing A dan B dan satu koefisien  $A_0$  setiap bulannya sehingga akan diperoleh 13 koefisien Fourier. Koefisien-koefisien tersebut kemudian dicari hubungannya dengan lintang dan indeks R12 seperti dirumuskan dengan persamaan (3) dan (4) sehingga akan diperoleh setiap bulannya sebanyak  $13 \times 8 = 104$  koefisien. Jadi dalam satu tahun ( $m = 1 - 12$ ) akan diperlukan koefisien model sebanyak  $104 \times 12 = 1248$  koefisien. Penentuan orde ekspansi Fourier ini didasarkan atas hasil evaluasi model awal yang semula sampai orde 11, ternyata justru menimbulkan efek variasi yang tidak sesuai dengan karakteristik ionosfer bulanan. Disamping itu juga mengikuti model ionosfer lainnya yang telah dikembangkan lebih dahulu yaitu *The Fully Analytical Ionospheric Model*

(Anderson, 1989; Forbes, 1989). Model yang telah dibuat kemudian dibandingkan dengan model global yang ada seperti model IPS yang diimplementasikan dalam software ASAPS dan diverifikasi tingkat akurasi menggunakan data ionosfer hasil pengamatan ionosonde vertikal di SPD Tanjung Sari untuk parameter foF2 tahun 1998 - 2003.

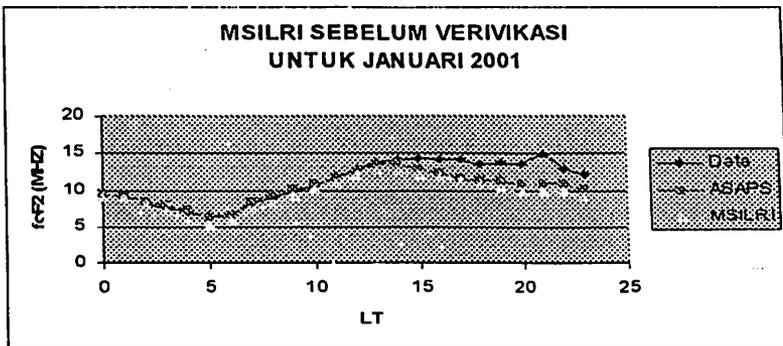
Tabel 1. Data pengamatan yang digunakan dalam pembuatan model ionosfer regional Indonesia

No	Lokasi Stasiun	Lintang	Bujur	Data yang digunakan
1	Manila	14.70	121.10	1964 - 1994
2	IRI2001	10.0	107.0	1996 - 2001
3	IRI2001	6.0	107.0	1996 - 2001
2	Singapura	1.30	103.80	1957 - 1971
3	Vanimo	-2.70	141.30	1964 - 1993
4	Sumedang	-6.54	107.9	1998 - 2003
4	Darwin	-12.45	130.95	1982 - 1993

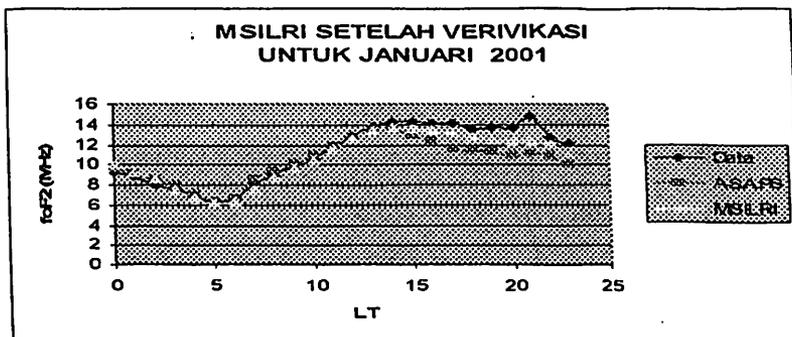
### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk melihat peningkatan akurasi model setelah revisi, telah digunakan data pengamatan ionosfer di atas Sumedang dan model IPS yang diimplementasikan dalam software ASAPS. Sebelum verifikasi perbandingan MSILRI dengan ASAPS diperlihatkan pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa akurasi MSILRI02 (tanpa data Sumedang) kurang akurat dibandingkan dengan model global yang digunakan dalam software ASAPS. Walaupun sama-sama lebih rendah tetapi MSILRI lebih rendah dibandingkan dengan ASAPS. Padahal yang diinginkan adalah bawa MSILRI hendaknya

lebih akurat dibandingkan dengan ASAPS. Ini sangat mungkin terjadi mengingat ASAPS telah mengakomodasi data Darwin, Vanimo, Singapura dan Manila. Mungkin saja data yang digunakan dalam ASAPS lebih banyak dari data yang digunakan dalam MSILRI02. Oleh karena itu kami telah menggunakan data Sumedang dari 1998 sampai 2003 untuk verifikasi MSILRI02. Maksud verifikasi ini adalah untuk membuktikan penggunaan polinom tingkat 3 apakah masih cocok jika data Sumedang digunakan juga dalam proses pembuatan model. Hasil verifikasi ditampilkan pada Gambar 2 untuk bulan Januari tahun 2001.

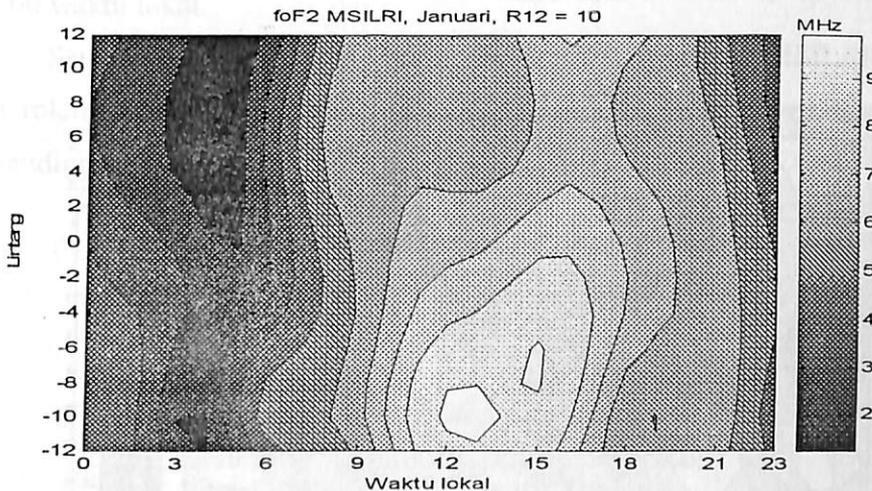


Gambar 1. Sebelum verifikasi menggunakan data Sumedang, akurasi MSILRI lebih rendah dibandingkan dengan ASAPS. Secara umum MSILRI lebih rendah dibandingkan dengan data pengamatan.



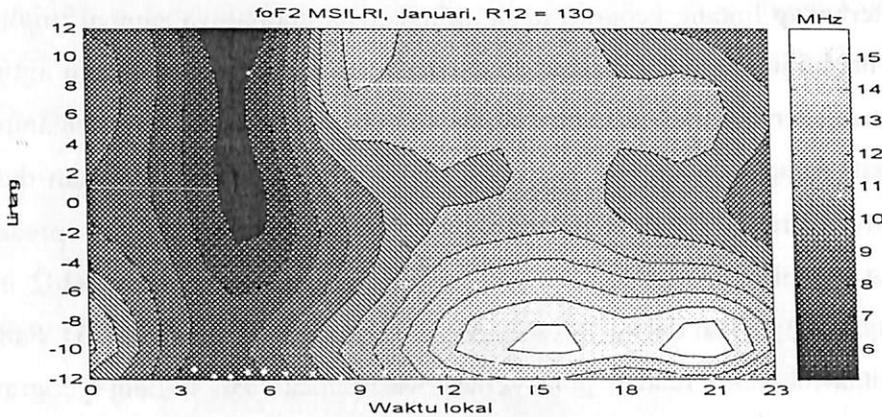
Gambar 2. MSILRI setelah verifikasi menunjukkan peningkatan akurasi model foF2 melebihi akurasi ASAPS untuk bulan Januari 2001.

Setelah dilakukan verifikasi menggunakan data Sumedang (dilakukan proses ulang pembuatan model dengan formulasi yang sama tetapi dengan tambahan data Sumedang), diperoleh peningkatan akurasi model sampai melebihi tingkat akurasi ASAPS seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Tetapi telah terjadi penurunan akurasi model untuk lintang lainnya seperti Pontianak dan Biak. Maka fungsi polinom yang digunakan untuk estimasi ketergantungan ionosfer terhadap lintang geografi telah ditingkatkan derajatnya sampai tingkat 5. Tetapi hal ini justru menimbulkan pola variasi lintang yang tidak sesuai untuk daerah lintang rendah Indonesia terutama untuk daerah antara lintang singapura (1.7 derajat) sampai lintang 14.7 derajat (Manila). Maka telah digunakan data keluaran model IRI2001 untuk lintang 6 dan 10 derajat geografi dalam proses pembuatan model dengan formulasi yang telah direvisi. Revisi MSILRI02 ini telah diimplementasikan dalam software MSILRI versi 2003 (MSILRI03). Pada saat aktivitas matahari rendah pola variasi waktu local dan lintang geografi MSILRI03 ditunjukkan pada Gambar 3. Pada kondisi aktivitas matahari tinggi ( $R12 = 130$ ) pola model diperlihatkan pada Gambar 4.

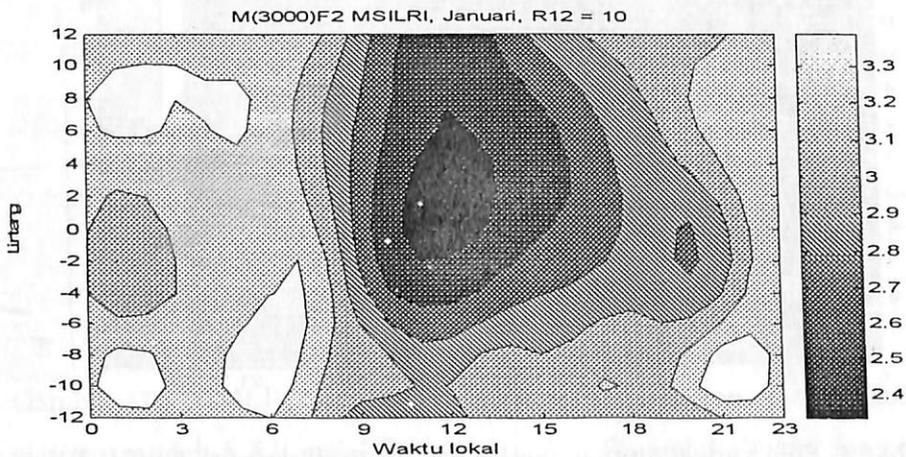


Gambar 3. Pola variasi diurnal dan lintang geografi dari foF2 MSILRI03 bulan Januari pada  $R12 = 10$ . Daerah anomali ionisasi terletak di sekitar lintang  $-5$  derajat.

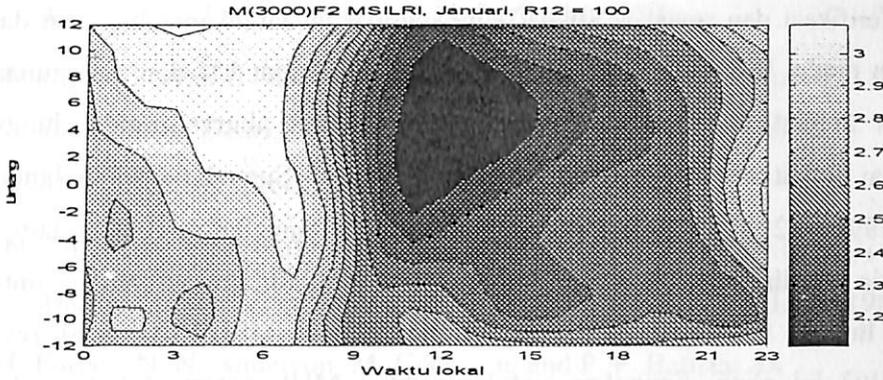
Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa daerah anomali ionisasi ionosfer saat matahari renfah pada  $R12 = 10$ , terletak di sekitar lintang  $-5$  derajat dan antara jam 13.00 sampai 16.00 waktu lokal. Sementara pada saat matahari tinggi dengan  $R12 = 130$ , daerah anomali ionisasi bergeser di sekitar lintang  $-10$  derajat dan terjadi dalam waktu yang lebih lama sampai setelah matahari terbenam seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola variasi lintang dan waktu lokal MSIULRI03 pada  $R12 = 130$ . Anomali ionisasi mendominasi di sekitar lintang  $-9$  derajat antara jam 13.00 sampai 22.00 waktu lokal.



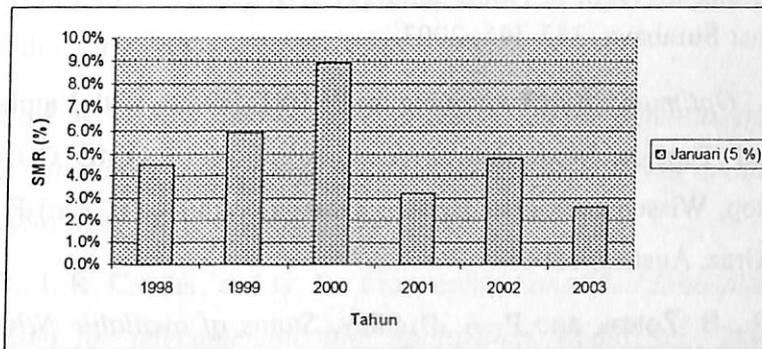
Gambar 5. Pola variasi diurnal dan lintang geografis dari  $M(3000)F2$  MSILRI03 Bulan Januari pada  $R12 = 10$ .



Gambar 6. Pola variasi diurnal dan lintang geografis dari foF2 MSILRI03 Bulan Januari pada R12 = 100.

Untuk parameter M(3000)F2 pada saat aktivitas matahari rendah dan tinggi masing-masing ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa pola variasi lintang dan waktu lokal M(3000)F2 mencapai nilai minimum di sekitar lintang +2 derajat (aktivitas matahari rendah) dan +5 derajat (aktivitas matahari tinggi) dan terjadi pada sekitar jam 12.00 waktu lokal.

Setelah verifikasi dan revisi MSILRI02 menjadi MSILRI03 telah diperoleh peningkatan akurasi model sehingga mencapai ketelitian 95 % dibandingkan dengan data Sumedang seperti dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Simpangan Mutlak Rata-rata (SMR) MSILRI03 terhadap data pengamatan foF2 di atas Sumedang pada bulan Januari tahun 1998 – 2003.

#### 4. Kesimpulan

Verifikasi dan revisi MSILRI02 menggunakan data Sumedang dan data keluaran model IRI 2001 untuk lintang 6 dan 10 derajat LU dan penggunaan polinom tingkat 5 telah menghasilkan peningkatan akurasi model hingga mencapai ketelitian 95 % dibandingkan dengan data Sumedang bulan Januari tahun 1998 – 2003. Validasi menggunakan data ionosfer di tempat lain di Indonesia masih diperlukan untuk mengecek tingkat akurasi model untuk daerah lintang rendah di sektor Indonesia. Model MSILRI03 hasil revisi MSILRI02 ini akan digunakan untuk prediksi MUF antara dua tempat di permukaan bumi yang melakukan komunikasi HF menggunakan lapisan pemantul ionosfer di atas Indonesia yang tercakup oleh MSILRI.

#### Referensi

- Anderson, D. N., *Global ionospheric modelling*, in Modern Radio Science 1993, edited by K. Matsumoto, pp.159 – 188, Oxford Univ. Press, New York, 1993.
- Asnawi dan Muslim B., *Vaidasi foF2 dan M(3000)F2 Model MSILRI Terhadap Data Observasi Ionoosnde Vertikal di Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya 2003, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuna Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 342-345, 2003.
- Bradley P. A., *Optimum PRIME mapping*, in PRIME Studies with Emphasis on TEC and Topside Modelling, Proceeding of the PRIME COST 238 Workshop, Wissenschaftlicher Bericht 2 part I, pp. 43 – 50, Karl-Franzens Univ., Graz, Austria, 1993.
- Cander L. R., B. Zolesi, and P. A. Bradley, *Status of available N(h) model profiles, in Numerical Mapping and Modelling and their Applications to*

- PRIME*, Proceedings of the PRIME COST 238 pp. 269 – 274, Eindhoven Univ. of Technol., Eindhoven, Netherlands, 1994.
- Cohen C.E., Pervan B., and Parkinson B. W., *Estimation of Absolute Ionospheric Delay Exclusively through Single-Frequency GPS Measurements*, Proceedings of ION GPS-93, 1992.
- D. N. Anderson, J. M. Forbes, and M. Codrescu, *A Fully Analytical, Low- and Middle-Latitude Ionospheric Model*, J. Geophys. Res. 94, 1520, 1989.
- J. M. Forbes, N. N. Anderson, M. Codrescu, and P. P. Batista, *An Analytical/Empirical Model of the Middle and Low Latitude Ionosphere*, Air Force Geophysics Laboratory, Report GL-TR-89- 0096, Hanscom AFB, Massachusetts, 1989.
- Muslim B., *Penentuan MUF Menggunakan Model Sederhana Ionosfer regional Indonesia*, 2002, Kontribusi Fisika Indonesia, Jurusan Fisika ITB, dalam proses penerbitan
- Zolesi B., L.R. Cander, and G. De Franceschi, *Mapping of some characteristics over a restricted area using SIRM (Simplified Ionospheric Regional Model)*, Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Antennas Propag. ICAP 91, 333, 512-515, Inst. Of Electric. And Electron. Eng., New York, 1991
- Zolesi B., L.R. Cander, and G. De Franceschi, *On the potential applicability of the simplified ionospheric regional model to different midlatitude areas*, Radio Sci., 31(4), 547-552, 1996.
- Zolesi B., L.R. Cander, and G. De Franceschi, *On the potential applicability of the simplified ionospheric regional model to different midlatitude areas*, Radio Sci., 31(4), 547-552, 1996.
- Zolesi B., L.R. Cander, and G. De Franceschi, *Simplified Ionospheric Regional Model for telecommunication application*, Radio Sci., 28(4), 603-612, 1993.