

Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia Untuk Parameter foF2 (MSILRI versi 2002)

Buldan Muslim, Asnawi, Dyah R.M., Aries Kurniawan dan Syarifudin

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung 40173
Email: buldanms@yahoo.com*

Abstrak

Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia (MSILRI) adalah modifikasi dari *simplified ionospheric regional model* (SIRM) yang awalnya dikembangkan untuk pemodelan karakteristik ionosfer yang paling cocok di atas Eropa yang digunakan untuk keperluan komunikasi radio. Model tersebut didasarkan pada ekspansi Fourier dari sekumpulan data hasil pengamatan ionosonde vertikal yang letaknya berjauhan dan dengan periode pengamatan yang tidak sama. Di daerah lintang tengah SIRM telah terbukti memiliki kesesuaian yang baik dengan data pengamatan. Tetapi untuk ionosfer daerah lintang rendah seperti Indonesia SIRM perlu dimodifikasi sehingga diperoleh MSILRI. Makalah ini menerangkan prosedur yang digunakan untuk mengembangkan MSILRI yang dibuat berdasarkan data ionosfer yang mengelilingi wilayah Indonesia dari pengamatan ionosonde Manila, Singapura, Vanimmo dan Darwin dan Tanjungsari untuk parameter foF2. Perbandingan MSILRI dengan model IPS yang diimplementasikan dalam software ASAPS dan model *International References Ionosphere* 2001 (IRI 2001) dilakukan untuk mendapatkan gambaran akurasi MSILRI dan kemungkinan

pengembangan MSILRI agar memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dari model global yang sudah ada.

Kata kunci: Ionosfer, model, regional, lintang rendah.

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 suau 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 pada jarak 3000 km ($M(3000)F_2$), 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. Model tersebut sampai saat dapat digunakan untuk prediksi bulanan 3 parameter ionosfer 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 penjejukan satelit. Dalam makalah ini hanya diterangkan prosedur pemodelan MSILRI untuk parameter foF2 dan perbaningannya dengan ASAPS dan IRI2001.

2. Data dan Perumusan Model

• Data ionosfer yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari World Data Center yang diakses melalui internet (www.wdc.rl.ac.uk), berisi nilai median bulanan parameter ionosfer. Untuk parameter foF2 diperoleh dari stasiun ionosonde vertikal sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2-1. 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 R₁₂ 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 (1) untuk dua kondisi tertentu dari aktivitas matahari yaitu untuk R12= 0 dan untuk R12 = 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 ω 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 R₁₂. Untuk daerah lintang tengah hubungan koefisien Fourier dengan lintang dan R₁₂ 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. Kemudian koefisien-koefisien pendekatan polinom tingkat tiga tersebut dihubungkan secara linier dengan indeks R12 sehingga menghasilkan persamaan:

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

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

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

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 IRI 2001 dan model IPS yang diimplementasikan dalam software ASAPS dan diverifikasi tingkat akurasi menggunakan data ionosfer hasil pengamatan ionosonde vertikal di

Stasiun BMG Tangerang tahun 1981 saat aktivitas matahari tinggi, pengamatan ionosonde vertikal dari Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) milik LAPAN yaitu SPD Pontianak dan SPD Sumedang untuk parameter foF2.

TABEL 2-1 Data pengamatan yang digunakan dalam pembuatan model ionosfer regional Indonesia

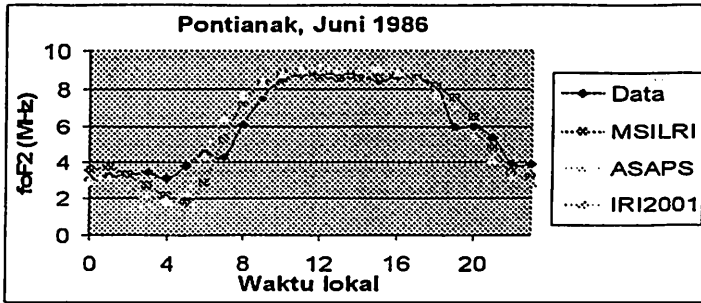
No	Lokasi Stasiun	Lintang	Bujur	Data yang digunakan
1	Manila	14.70	121.10	1964 - 1994
2	Singapura	1.30	103.80	1957 - 1971
3	Vanimo	-2.70	141.30	1964 - 1993
4	Darwin	-12.45	130.95	1982 - 1993
5	Tanjungsari	-6.9	107.6	1999 - 2003

3. Hasil dan Pembahasan

Karena data yang digunakan dalam pembuatan model MSILRI adalah dari sekitar wilayah Indonesia maka model ini hanya berlaku untuk area antara 96 – 140 BT dan antara 15 LU sampai 12 LS yang mana area tersebut meliputi wilayah Indonesia. Untuk melihat akurasi model MSILRI maka model MSILRI dapat dibandingkan dengan data dari pengamatan stasiun ionosonde di Indonesia yang dioperasikan oleh LAPAN.

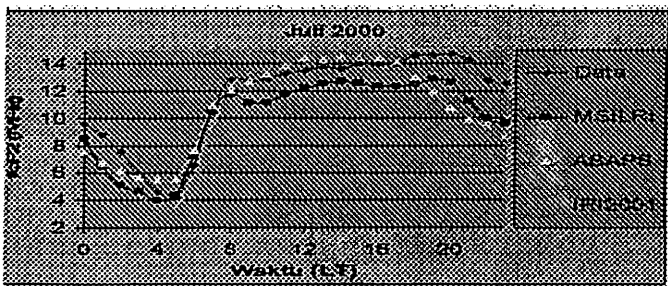
Pada bulan Juni 1986, diperlihatkan oleh Gambar 1 bahwa MSILRI, IRI 2001 (ASAPS) dan IRI 2001 untuk foF2 di atas Pontianak memiliki pola variasi diurnal yang sesuai dengan data pengamatan, di mana nilai minimum sekitar jam 5.00 waktu lokal dan nilai maksimumnya pada sekitar jam 14.00 waktu lokal. Nilai rata-rata simpangan mutlak model-model terhadap pengamatan masing-masing adalah 0.61 untuk MSILRI, 0.68 untuk ASAPS dan 0.76 untuk IRI 2001. Melihat simpangan model-model terhadap data pengamatan yang

hanya berbeda dalam orde kurang dari sepersepuluh MHz (yaitu sekitar $0.68 - 0.61 = 0.07$ MHz) maka dapat dikatakan bahwa untuk bulan Juni saat matahari minimum akurasi model-model tidak signifikan berbeda baik pola diurnal maupun sebaran model terhadap data pengamatan.



Gambar 1. Perbandingan MSILRI dengan ASAPS dan IRI 2001 untuk foF2 di atas Pontianak pada bulan Juni 1986 saat matahari minimum.

Untuk bulan Juli 2000 saat matahari maksimum, perbandingan model-model dapat dilihat pada Gambar 2. Pola variasi MSILRI nampak paling sesuai dengan data pengamatan dibandingkan dengan pola model ASAPS dan IRI 2001. Sedangkan rata-rata simpangan mutlak model terhadap data adalah: MSILRI sebesar 1.59 MHz, ASAPS sebesar 1.43 MHz dan IRI 2001 sebesar 1.49 MHz.



Gambar 2. Perbandingan MSILRI, ASAPS dan IRI 2001 untuk foF2 bulan Juli 2000. MSILRI nampak memiliki pola variasi diurnal yang paling sesuai dengan data pengamatan.

Adapun nilai rata-rata simpangan mutlak model terhadap data ionosfer pada tahun 1981 di atas Tangerang, tahun 1986 di atas Pontoianak dan tahun

2000 di atas Sumedang pada bulan-bulan tertentu selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Perbandingan MSILRI, ASAPS and IRI 2001

No	Lokasi	Tahun	Bulan	MSILRI (MHz)	ASAPS (MHz)	IRI 2001 (MHz)
1	Tangerang	1981	Januari	0.5	0.5	1.3
		1981	Maret	2.7	2.5	1.4
		1981	Desember	1.1	2.1	1.9
2	Sumedang	2000	Januari	1.02	0.96	1.41
		2000	Juli	1.59	1.43	1.49
		2000	Sep	0.76	1.04	1.11
3	Pontianak	1986	Januari	1.12	1.29	1.19
		1986	Maret	1.86	2.09	1.83
		1986	Juni	0.61	0.68	0.76
	Rata-rata			1.25	1.40	1.39

Dari Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa rata-rata MSILRI memiliki akurasi sedikit lebih baik dibandingkan dengan ASAPS dan IRI 2001. Namun hanya berbeda dalam orde sepersepuluh MHz. Tetapi untuk kondosi matahari berada di atas katulistiwa yaitu pada bulan Maret MSILRI akurasinya kurang baik dibandingkan dengan ASAPS dan IRI 2001.

4. Kesimpulan

Untuk foF2, pola variasi diurnal MSILRI, model IPS dan IRI 2001 memiliki kemiripan dan sudah sesuai dengan teori. Akurasi model-model hanya berbeda dalam orde sepersepuluh MHz. Secara umum MSILRI memiliki akurasi yang lebih rendah dibandingkan model IPS dan IRI 2001 saat matahari

di ekuator, pada bulan Maret dan September. Secara keseluruhan MSILRI hanya sedikit lebih akurat dari model IPS dan IRI 2001 (berbeda sebesar 0.15 MHz). Model MSILRI dapat dikembangkan untuk parameter ionosfer lainnya dan dapat ditingkankan akurasinya dengan penambahan data ionosfer yang digunakan dalam pembuatan model.

Daftar Pustaka

- Anderson, D. N., *Global ionospheric modelling*, in *Modern Radio Science* 1993, edited by K. Matsumoto, pp.159 – 188, Oxford Univ. Press, New York, 1993.
- 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.

- Buldan Muslim., *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. 7th 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.