

## Penentuan MUF Menggunakan Model Sederhana Ionosfer Regional Indonesia

Buldan Muslim  
Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN  
Jl. Dr. Junjungan 133 Bandung 40173  
Email: [bldn@lycos.com](mailto:bldn@lycos.com)

### Abstrak

Model Sederhana Ionosfer Regional Indonesia (MSIRI) 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 yang didasarkan pada ekspansi Fourier dari sekumpulan data yang telah lalu memiliki kesesuaian yang baik di daerah lintang tengah. Makalah ini menerangkan pemodelan MSIRI berdasarkan data ionosfer di daerah lintang rendah di sekitar Indonesia: Manila, Singapura, Vanimo dan Darwin, untuk dua parameter ionosfer penting yang diperlukan dalam penentuan MUF (*maximum usable frequency*) yaitu  $foF2$  dan  $M(3000)F2$ . Hasil MUF yang ditentukan dari MSIRI juga dibandingkan dengan pengamatan MUF menggunakan ionosonde oblique Sumedang-Manado.

**Kata kunci:** model, ionosfer, regional, maximum usable frequency.

### Abstract

Indonesian *simplified ionospheric regional model* (ISIRM) is modified of *simplified ionospheric regional model* (SIRM) which was originally developed for modeling the most relevant ionospheric characteristics over Europe for radiocommunication purposes. The model, based mainly on a Fourier expansion of a reference previous data set, have a good agreement at midlatitude region. This paper describe the modeling of (ISIRM) based on ionospheric data observation at low latitude around Indonesian region: Manila, Singapore, Vanimo, and Darwin, for two of important ionospheric parameter needed for maximum usable frequency (MUF) determination i.e.  $foF2$  and  $M(3000)F2$ . The MUF from ISIRM is also compared with MUF observation from Manado-Sumedang Oblique ionosonde.

**Keywords :** model, ionosphere, regional, maximum usable frequency

### 1. Pendahuluan

Beberapa model numerik telah dikembangkan selama dekade terakhir baik untuk pemetaan global maupun lokal parameter-parameter ionosfer yang digunakan untuk spesifikasi sistem penalaran 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<sup>1)</sup>. Dengan mengenalkan model ionosfer regional sederhana (*simplified ionospheric regional model*: SIRM<sup>2)</sup>), telah diusahakan 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  $F$  ( $foF2$ ), faktor propagasi untuk 3000 km pantulan lapisan  $F2$  ( $M(3000)F2$ ), ketinggian semu lapisan  $F$  ( $h'F$ ), frekuensi kritis lapisan  $F1$  ( $foF1$ ) dan frekuensi kritis lapisan  $E$  ( $foE$ ) di atas Eropa telah diekspresikan sebagai fungsi koordinat geografi, waktu lokal atau universal, dan rata-rata bulanan bilangan sunspot<sup>3)</sup>. 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<sup>4-9)</sup> yang telah mengkonfirmasi bahwa penting dan perlunya pengembangan model dan metode 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<sup>10)</sup>. Tetapi untuk daerah lintang rendah seperti Indonesia SIRM tidak dapat diadopsi dalam bentuk perumusan aslinya karena ionosfer daerah lintang rendah didominasi oleh adanya anomali ionisasi. Maka SIRM perlu dimodifikasi agar memiliki kesesuaian dengan kondisi ionosfer daerah lintang rendah khususnya wilayah Indonesia.

Dalam komunikasi radio yang menggunakan *high frequency* (HF) diperlukan informasi tentang frekuensi maksimum yang masih dapat dipantulkan oleh ionosfer. Frekuensi maksimum tersebut yang dikenal dengan MUF (*maximum usable frequency*) perlu diprediksi untuk dijadikan pedoman dalam komunikasi HF. Bentuk

prediksi MUF bisa jangka panjang (bulanan) dan jangka pendek (harian). Prediksi MUF jangka panjang dibuat menggunakan model ionosfer bulanan. Yaitu model dari nilai median bulanan dari parameter-parameter ionosfer seperti foF2 dan M(3000)F2. Input dari model bulanan umumnya adalah indek aktivitas matahari, bulan, waktu lokal atau universal time (UT) dan koordinat geografi receiver dan transmitter.

Dalam makalah ini penulis menjelaskan hasil modifikasi SIRM menjadi model sederhana ionosfer regional Indonesia (MSIRI) untuk parameter foF2 dan M(3000)F2 dan menggunakannya untuk penentuan MUF di atas Indonesia. Hasil MUF dari MSIRI dibandingkan juga dengan hasil pengamatan MUF menggunakan ionosonde oblique Manado - Sumedang.

**2. Perumusan Model**

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

$$\Gamma_{h,m} = a_{h,m} R_{12} + b_{h,m}, \tag{2-1}$$

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  $\Gamma$  untuk 24 jam (h=0 - 23) dalam waktu lokal yang dihitung dari (2-1) untuk dua kondisi tertentu dari aktivitas matahari yaitu untuk R12= 0 dan untuk R12 = 100,

$$\Gamma_m = A_0^m + \sum_{n=1}^{n=l} [A_n^m \cos(n\omega t) + B_n^m \sin(n\omega t)] \tag{2-2}$$

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 indek R12. Untuk daerah lintang tengah hubungan koefisien Fourier dengan lintang dan R12 dapat didekati dengan hubungan linear. Tetapi untuk daerah lintang rendah ternyata hubungan linear antara koefisien-koefisien Fourier dengan lintang tidak dapat diterapkan. Oleh karena itu penulis telah memodifikasinya dengan pendekatan polinom. Dan pendekatan polinom tingkat tiga model telah dapat mendekati data dengan baik dengan kesalahan tidak lebih dari 5 %. Kemudian koefisien-koefisien pendekatan polinom tingkat tiga tersebut dihubungkan secara linear dengan indek R12 sehingga menghasilkan persamaan:

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

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

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

Dengan  $l = 11$  ( 11 koefisien Fourier yang pertama untuk masing-masing  $A_n$  dan  $B_n$ ) dan satu koefisien  $A_0$  setiap bulannya akan diperoleh 23 koefisien Fourier. Koefisien-koefisien tersebut kemudian dicari hubungannya dengan lintang dan indek R12 seperti dirumuskan dengan persamaan (2-3) dan (2-4) sehingga akan diperoleh setiap bulannya sebanyak  $23 \times 8 = 184$  koefisien. Jadi dalam satu tahun ( $m = 1 - 12$ ) akan diperlukan koefisien model sebanyak  $184 \times 12 = 2208$  koefisien.

Parameter ionosfer yang dibuat modelnya dalam makalah ini adalah foF2 dan M(3000)F2 sehingga dapat digunakan untuk penentuan MUF menggunakan persamaan berikut:

$$MUF = M \times foF2 \tag{2-6}$$

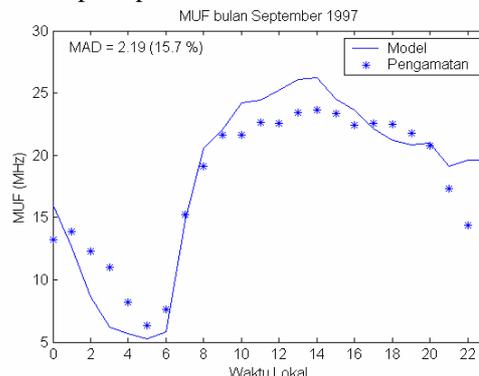
dimana  $M$  adalah faktor pengali untuk mendapatkan MUF dari foF2 di titik pantul yang tergantung jarak antara stasiun pemancar dengan penerima,  $D$  dan M(3000)F2. Faktor  $M$  dapat dihitung dari M(3000)F2 menggunakan rumus

$$M = 1 + \left( \frac{M(3000)F2 - 1}{3000} \right) D \tag{2-7}$$

dengan  $D$  adalah jarak antara stasiun pemancar dengan penerima dalam kilometer.

**3. Hasil dan Pembahasan**

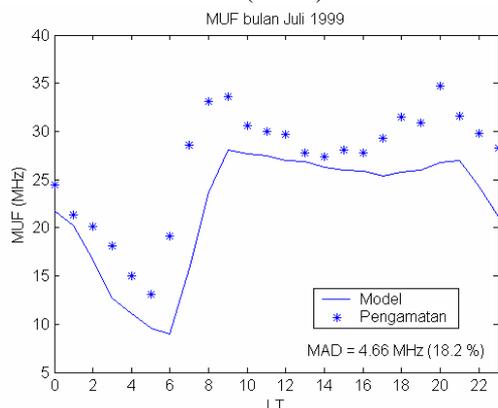
Untuk bulan September 1997 dengan aktivitas matahari rendah dengan R12 = 28,3 nilai MUF dari MSIRI ditunjukkan pada Gambar 3-1. Perbandingan antara MUFmodel dan pengamatan menunjukkan cukup baik dengan rata-rata deviasi absolut (MAD = mean absolut deviation) sebesar 2.19 MHz atau 15.7 % dan model dapat memberikan karakteristik diurnal dengan baik yaitu nilai minimum pada pukul 5 pagi dan maksimum pada pukul 14.00 LT.



Gambar 3-1. Perbandingan antara MUF dari MSIRI dengan data pengamatan oblique sounding Manado - Sumedang pada tingkat aktivitas matahari rendah bulan September 1997.

Untuk tingkat aktivitas matahari tinggi pada bulan Juli 1999 dengan nilai indek aktivitas matahari R12 = 94.3, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.2,

perbandingan MUF dari model dengan pengamatan menunjukkan bahwa MUF model secara keseluruhan lebih kecil dari pada MUF pengamatan dengan tingkat rata-rata deviasi absolut (MAD) sekitar 18.2 %.



Gambar 3-1. Perbandingan antara MUF dari MSIRI dengan data pengamatan oblique sounding Manado - Sumedang pada tingkat aktivitas matahari tinggi bulan Juli 1999.

Walaupun demikian MSIRI masih menunjukkan sifat variasi diurnal yang sama dengan pengamatan. Dan dibandingkan dengan hasil verifikasi ASAPS yang telah dilakukan oleh Budiyanto dkk. Dalam program penelitian LAPAN tahun 2001, yang menunjukkan bahwa prediksi MUF ASAPS memiliki kesalahan lebih besar dari 30 %, maka prediksi MUF dengan MSIRI jelas lebih baik dengan tingkat akurasi lebih besar dari 80 %, sementara prediksi MUF dengan ASAPS hanya mencapai tingkat akurasi rata-rata samapi 70 %.

Tingkat akurasi model MSIRI akurasinya berkurang pada aktivitas matahari tinggi. Ini antara lain bisa disebabkan oleh asumsi hubungan linear antara koefisien-koefisien model dengan indek R12. Padahal sebenarnya untuk tingkat aktivitas matahari tinggi, respon ionosfer tidaklah linear. Maka untuk meningkatkan akurasi model ionosfer regional di daerah lintang rendah perlu dipertimbangkan model nonlinear respon ionosfer terhadap aktivitas matahari. Ini bisa dilakukan dengan menghitung koefisien Fourier pada beberapa kondisi aktivitas matahari pada bulan tertentu yaitu pada nilai R12 yang berbeda-beda. Dengan cara ini hubungan antara koefisien dalam model dengan R12 bisa dimodelkan secara nonlinear misalnya dengan fungsi polinom orde tinggi atau fungsi hiperbolik. Model nonlinear ionosfer terhadap respon aktivitas matahari ini merupakan penelitian lanjut yang dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi model terutama pada saat aktivitas matahari tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Penentuan MUF menggunakan MSIRI yang merupakan modifikasi SIRM memiliki ketelitian yang cukup baik dengan kesalahan sekitar 15.7 % untuk bulan September 1997 (tingkat aktivitas matahari rendah) dan sekitar 18.2 % untuk bulan Juli 1999 (tingkat aktivitas matahari tinggi). Untuk tingkat aktivitas matahari tinggi tingkat akurasi model semakin berkurang. Ini dapat disebabkan asumsi respon linear ionosfer terhadap

aktivitas matahari. MSIRI masih bisa ditingkatkan akurasinya dengan mempertimbangkan hubungan nonlinear antara koefisien model dengan indeks aktivitas matahari. Jika model ini akan digunakan untuk prediksi MUF di atas Indonesia, model MSIRI perlu diverifikasi terlebih dahulu menggunakan data *Oblique Sounding* yang lebih panjang meliputi tingkat aktivitas matahari rendah, sedang, dan tinggi dan pada posisi lintasan matahari berada di bagian utara, selatan, dan ekuator dilihat dari permukaan bumi.

#### Daftar Pustaka

1. Anderson, D. N., Global ionospheric modelling, in *Modern Radio Science 1993*, edited by K. Matsumoto, pp.159 – 188, Oxford Univ. Press, New York, 1993.
2. 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
3. Zolesi B., L.R. Cander, and G. De Franceschi, Simplified Ionospheric Regional Model for telecommunication application, *Radio Sci.*, 28(4), 603-612, 1993.
4. Dvinskikh, N. I., Expansion of ionospheric characteristic fields in empirical orthogonal functions, *Adv. Space Res.*, 8(4), 179-187, 1988.
5. Singer, W., Comparison of empirical models of ionospheric characteristics developed by means of different mapping methods, *Proceedings of the PRIME COST 238 Workshop*, 529, pp. 190 - 201, Istituto Nazionale di Geofisica, Rome, Italy, 1991.
6. Reinisch, B. V., X. Huang, and G. S. Sales, Regional ionospheric mapping, *Adv. Space Res.*, 13(3), 45-48, 1993.
7. Mikhailov, A. V., V. V. Mikhailov, and M. G Skoblin, Monthly median foF2 and M(3000)F2 ionospheric model over Europe, in *Numerical Mapping and Modelling and their Applications to PZPRIME*, Proceeding of the PRIME COST 238 Workshop, pp. 219-236, Eindhoven Univ. of Technol., Eindhoven, Netherlands, 1994.
8. De Franceschi, G., and A. De Santis, PASHA: Regional long term predictions of ionospheric parameters by ASHA, *Ann. Geofis.*, 37(2), 209-220, 1994.
9. Bradley P. A., L. R. Cander, M. Dick, J. C. Jodogne, S. S. Kouris, R. Leitingner, W. Singer, T. D. Xenos, and B. Zolesi, The December 1993 new mapping meetings, in in *Numerical Mapping and Modelling and their Applications to PZPRIME*, Proceeding of the PRIME COST 238 Workshop, pp. 169-179, Eindhoven Univ. of Technol., Eindhoven, Netherlands, 1994.
10. 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.

