

MUF Regional Indonesia: MUFREGIN

Buldan Muslim, Asnawi dan Syarifudin

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

Abstrak

Dari pengamatan oblique sounding yang dipancarkan dari Vanimo, Manado, Shongkhla, Cocos Island dan diterima di Sumedang mulai tahun 1997 sampai 2003 dapat dibuat model MUF regional Indonesia (MUFREGIN). MUF diestimasi sebagai perkalian faktor M dan foF2 di atas titik tengah antara stasiun pemancar dan penerima. Nilai foF2 di titik tengah tersebut diambil dari MSILRI, sedangkan M dihitung dari perbandingan pengamatan MUF (MOF) terhadap foF2 di titik tengahnya. Model untuk M dibuat menggunakan jaringan syaraf tiruan regresi umum yang dapat menangkap nonlinieritas M terhadap jarak antara pemancar dan penerima, d. Makalah ini menjelaskan MUFREGIN dan perbandingannya dengan Prolab Pro dan ASAPS.

Kata kunci: Ionosfer, foF2, MUF.

1. Pendahuluan

Dalam komunikasi radio HF diperlukan informasi kondisi ionosfer, untuk pemilihan frekuensi yang digunakan. Dalam kondisi tenang keberhasilan komunikasi HF tergantung pada frekuensi gelombang yang digunakan dan nilai median bulanan *maximum usable frequency* (MUF). Jika frekuensi yang digunakan berada di bawah MUF maka komunikasi HF biasanya dapat berjalan dengan baik asalkan tidak ada gangguan ionosfer yang signifikan mempengaruhi propagasi gelombang HF. Walaupun ionosfer dalam kondisi

tenang tetapi frekuensi yang dipakai berada di atas MUF, maka komunikasi HF tidak dapat dilakukan, kecuali pada jarak pendek sehingga gelombang dapat diterima oleh penerima tanpa melalui ionosfer melainkan langsung dari pemancar ke penerima atau dikenal dengan propagasi *groundwave*. Pada pembahasan selanjutnya diasumsikan gelombang HF menjalar melalui lapisan ionosfer sehingga dengan adanya informasi MUF penentuan frekuensi dapat ditentukan secara tepat atau penggunaan gelombang HF dengan frekuensi tertentu dapat diprediksi kapan kemungkinan dapat digunakan dalam satu hari dan bulan tertentu.

Informasi MUF dapat diperoleh dari model atau dari pengamatan oblique sounding. Informasi dari oblique sounding lebih akurat untuk komunikasi antara dua lokasi yang pemancar dan penerimanya dekat dengan lokasi stasiun pemancar dan penerima oblique sounding. Tetapi di wilayah Indonesia oblique sounding hanya ada beberapa unit yaitu oblique sounding Vanimo-Sumedang, Manado-Sumedang, Shongkhla-Sumedang dan Cocos Island - Sumedang. Mengingat wilayah Indonesia jauh lebih luas dari cakupan pengamatan oblique sounding tersebut, data MUF yang diperoleh dari oblique sounding kurang memadai untuk prediksi MUF di wilayah Indonesia. Apalagi sarana komunikasi data dan pemrosesan ionogram oblique belum memungkinkan untuk mendukung perolehan informasi MUF secara cepat. Disamping itu oblique sounding di Indonesia dapat beroperasi melalui kerjasama luar negeri yang mana menjadikan kita tergantung pada stasiun pemancar yang berada di luar negeri kecuali pemancar yang ada di Manado. Oleh karena itu informasi MUF di Indonesia sampai saat ini diperoleh dari model dan software yang ada baik yang *freeware* maupun *shareware*. Diantara software prediksi MUF yang *freeware* adalah VOACAP, QSTMUF (MINIMUF), dll. Sedangkan yang *shareware* adalah ASAPS, Pangolin, Proplab Pro dll.

Karena kemampuan IPS Australia dalam mengkases data ionosfer dari jaringan ionosode di permukaan bumi maka telah lama tersedia model IPS yang menggunakan indek T bulanan sebagai input model dan output model antara

lain adalah MUF(d) bulanan antara dua tempat yang berjarak d km. Indeks T bulanan merupakan indeks aktivitas matahari yang dirancang khusus untuk pemodelan dan prediksi ionosfer. Indeks tersebut diturunkan dari model hubungan antara median foF2 dengan indeks matahari R12. Dengan model hubungan tersebut maka jika ada data pengukuran foF2 di lokasi tertentu dapat diestimasi indeks matahari R12. Estimasi R12 dari foF2 dengan metode tertentu antara lain menghasilkan indeks T . Perhitungan T bulanan dimulai dari pengamatan foF2 pada setiap jam, sehingga diperoleh indeks T jaman (lokal). Kemudian indeks T jaman tersebut dirata-ratakan dalam sehari sehingga diperoleh indeks T harian (lokal). Indeks T harian lokal tersebut dihitung dari seluruh data foF2 yang ada dalam regional tertentu yang kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan indeks T regional. Indeks T regional harian dihitung untuk daerah tertentu kemudian dibandingkan dengan prediksi indeks T bulanan (global). Jika indeks T regional harian selisih lebih dari 25 dari nilai prediksi indeks T bulanan (global) maka prediksi MUF ASAPS kurang akurat sehingga perlu dilakukan prediksi ulang dengan menggunakan indeks T regional harian untuk prediksi MUF pada saat tersebut. Cara tersebut juga dapat diterapkan untuk melihat akurasi prediksi MUF bulanan dibandingkan dengan MUF pada jam tertentu dalam suatu hari. Jika indeks T jaman berbeda lebih dari 25 maka pada jam tersebut MUF harus diprediksi ulang menggunakan indeks T jaman yang diturunkan dari pengamatan foF2 di daerah tersebut. Cara demikian itu hanya memungkinkan jika kita bisa mendapatkan data foF2 secara real time.

Jika indeks T regional diturunkan dari pengukuran median MUF dari pengamatan beberapa oblique sounding maka diperoleh indeks T regional bulanan. Perbandingannya dengan indeks T bulanan global menentukan apakah model IPS cocok untuk daerah tersebut. Berdasarkan verifikasi yang dilakukan oleh DSTO (Barnes, tanpa tahun), menggunakan data oblique sounding Manado-Sumedang telah diperoleh kesimpulan awal bahwa model IPS kurang cocok diterapkan untuk wilayah Indonesia yang didominasi oleh anomali ionisasi. Sedangkan model VOACAP, Prolab Pro dan model prediksi MUF

lainnya belum divalidasi untuk daerah Indonesia sehingga belum diketahui validitasnya. Maka sampai saat ini pelayanan prediksi MUF di Indonesia masih berupa prediksi bulanan menggunakan ASAPS, sementara koreksi prediksi bulanan tersebut secara real time belum dapat dilakukan karena tidak dapat diperolehnya data foF2 di Indonesia secara real time. Oleh karena itu perlu dilakukan metode prediksi MUF yang lebih strategis untuk komunikasi HF di Indonesia menggunakan data oblique sounding dan model regional yang telah dibuat di Indonesia.

Pada tahun 2003 telah dilakukan validasi model ionosfer regional Indonesia yang dikenal dengan MSILRI (model sederhana ionosfer lintang rendah Indonesia). MSILRI merupakan modifikasi dari SIRM (simplified ionospheric regional model) yang telah dikembangkan di atas Eropa dan telah terbukti sesuai dan potensial untuk digunakan sebagai model regional lintang tengah di daerah lain (Asnawi dan Buldan Muslim, 2003). Dalam SIRM digunakan formulasi linier yang menghubungkan koefisien Fourier variasi diurnal ionosfer dengan lintang geografi (Zolesi, 1996). Dalam MSILRI formulasi linier tersebut telah diganti dengan formulasi nonlinier (polinom) untuk merepresentasikan anomali ionisasi ionosfer di daerah lintang rendah. Dari nilai foF2 dan M(3000)F2 MSILRI sebenarnya dapat diprediksi MUF(d) antara dua lokasi di Indonesia, tetapi hanya terbatas pada jarak dekat kurang dari 400 km (Buldan Muslim, 2002). Disamping itu model hubungan antara M(3000)F2 dengan ketinggian maksimum lapisan F2 (hmF2) masih dipertanyakan akurasi karena model yang digunakan selain menggunakan asumsi parabolik juga belum banyak menggunakan data ionosfer lintang rendah bagian selatan karena keterbatasan ionosonde vertikal yang tidak mungkin diinstalasi di daerah lautan yang mendominasi bumi bagian selatan.

Dengan demikian perlu strategi lain untuk memprediksi MUF(d) di wilayah Indonesia. Menggunakan foF2 keluaran MSILRI dan data MUF(d) dari pengamatan oblique sounding mulai 1997-2003 yang dipancarkan dari Vanimo, Manado, Shongkhla dan Cocos Island, yang diterima di SPD Tanjungsari telah

dibuat model: MUF(d) menggunakan jaringan syaraf tiruan regresi umum (JSTRU). MUF(d) di atas Indonesia ini kami beri nama MUF regional Indonesia (MUFREGIN) atau dalam bahasa Inggris Indonesian Regional Model of MUF (IRMMUF). Makalah ini memaparkan metode pemodelan MUFREGIN tersebut dan aplikasinya untuk prediksi MUF dan perbandingannya dengan prediksi ASAPS dan Prolab Pro.

2. Data dan Metode

Data hasil pengamatan oblique sounding yang dipancarkan dari Vanimo, Manado, Shongkhla dan Cocos Island, diterima di Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN Tanjungsari (-6.54°LS , 107.55°BT) antara lain adalah MUF pengamatan atau MOF (maximum observable frequency). Dengan koordinat lokasi pemancar sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 kolom 2 dan 3, dapat ditentukan koordinat titik pantul ionosfer pada propagasi oblique dari pemancar sampai ke penerima dan jarak (km) menggunakan persamaan (1) sampai (5) dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1 masing-masing pada kolom 4 – 5 dan kolom 6.

Tabel 1 Lokasi Pemancar oblique sounding dan titik pantul serta jaraknya dengan stasiun penerima di Sumedang.

Pemancar	Lintang($^{\circ}$)	Bujur($^{\circ}$)	Titik Pantul($^{\circ}$)		Jarak (km)
Vanimo	-2.67	141.35	-4.61	124.45	3776.3
Manado	1.48	124.8	-2.53	116.18	2111.6
Shongkhla	7.12	100.35	0.29	103.95	1714.0
Cocos Island	-12.17	96.9	09.36	102.23	1337.2

Jika stasiun pemancar terletak di koordinat (x_1, y_1) yang masing-masing adalah lintang dan bujur geografi, dan stasiun penerima terletak di koordinat (x_2, y_2) , maka jarak (km) dapat dihitung dari persamaan:

$$d = 111 \times a \cos \left(\left(\frac{\sin(x_1) \cdot \sin(x_2)}{+ \cos(x_1) \cdot \cos(x_2) \cdot \cos(y_1 - y_2)} \right) \right) \quad (1)$$

Sudut bearing antena dapat dihitung menggunakan

$$b_1 = a \cos \left(\frac{\sin(x_2) - \sin(x_1) \cdot \cos(d)}{\cos(x_1) \cdot \sin(d)} \right) \quad (2)$$

$$b_2 = a \cos \left(\frac{\sin(x_1) \cdot \sin(x_2) \cdot \cos(d)}{\cos(x_2) \cdot \sin(d)} \right) \quad (3)$$

Yang kemudian koordinat titik potong (titik tengah) dapat dihitung dengan:

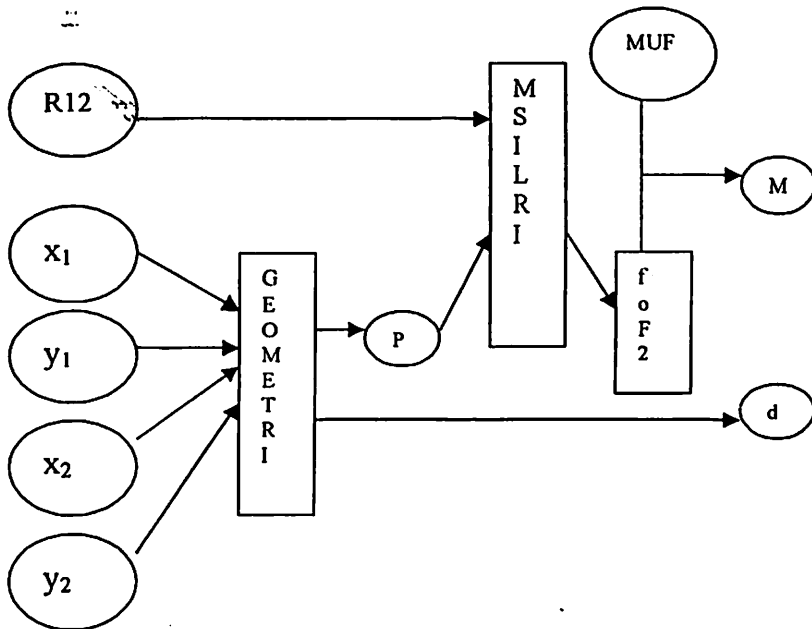
$$x_n = 90 - a \cos \left(\cos \left(\frac{d}{2} \right) \cdot \sin(x_1) + \sin \left(\frac{d}{2} \right) \cdot \cos(x_1) \cdot \cos(b_1) \right) \quad (4)$$

$$y_n = y_1 + a \cos \left(\frac{\cos \left(\frac{d}{2} \right) - \sin(x_n) \cdot \sin(x_1)}{\cos(x_n) \cdot \cos(x_1)} \right) \quad (5)$$

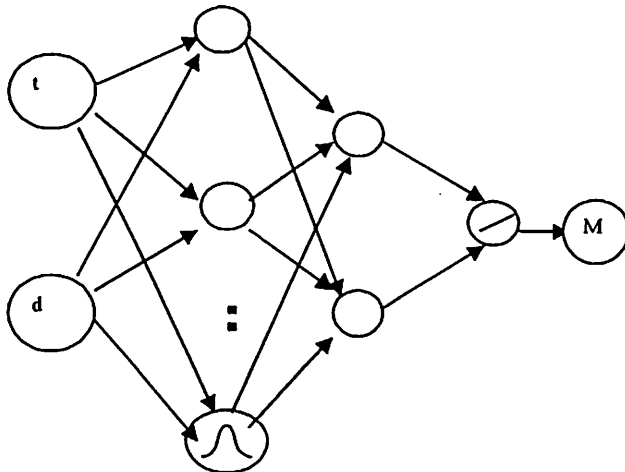
Pada titik $P(x_n, y_n)$ dapat diperoleh nilai foF2 menggunakan MSILRI, sehingga faktor propagasi pada jarak d dapat dihitung dari data MUF oblique sounding dengan pembagian $M(d) = \text{MUF}(d) / \text{foF2}$. Secara skematik proses perhitungan M dan d dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada bulan tertentu terdapat 24 nilai median bulanan M yaitu untuk jam 00:00 sampai 23:00 waktu lokal. Dari pasangan median bulanan M dan jarak pemancar-penerima oblique sounding dapat diestimasi M sebagai fungsi jarak d , menggunakan model nonlinier dengan metode regresi umum yang dikenal dengan jaringan syaraf tiruan regresi umum (JSTRU) yang secara skematik dapat dijelaskan dengan Gambar 2 (Specht D. F., 1991).

JSTRU dimulai dari penampilan vektor input $x = [t \ d]$, dan nilai M untuk semua satuan-satuan pola. Setiap satuan pola didedikasikan untuk satu set (M_p, x_i) dari sekumpulan data M dan yang mempengaruhi yaitu x yang terdiri dari waktu lokal t dari jam 00:00 – 23:00 dan jarak d .



Gambar 1. Penentuan faktor M dan d dari data data MUF pengamatan (MOF) dan foF2 MISILRI. Jarak pemancar ke penerima d secara geometri dapat dihitung dari koordinat lokasi pemancar oblique sounding dan penerima sinyal di SPD Tanjungsari.



Gambar 2. Arsitektur jaringan syaraf tiruan regresi umum terdiri dari lapisan input, lapisan tersembunyi, lapisan penjumlahan pembagi dan yang dibagi serta lapisan output.

Satuan-satuan pola menghitung jarak antara vektor input dan bobotnya sehingga menghasilkan input terbobot yang mengekspresikan jarak Euclidean yang dapat dituliskan sebagai

$$d_i = \sum_{j=1}^2 |x_j - x_j^i| \quad (6)$$

di mana x_j adalah vektor input berdimensi 2, dan superskrip i menunjukkan pusat yaitu data ke i dari x . Kemudian jarak ini menjadi input terbobot yang diaktivasi menggunakan fungsi eksponensial dan dismoothing menggunakan parameter σ yang dituliskan sebagai

$$a_{1i} = e^{\left(-\frac{d_i}{\sigma}\right)} \quad (7)$$

Nilai a_{1i} ini merupakan output dari lapisan pertama atau lapisan tersembunyi. Jika jumlah pengamatan adalah n maka ada n buah nilai a_{1i} . Setelah keluar dari lapisan pertama, selanjutnya dilewatkan melalui satuan-satuan penjumlahan. Setelah output dari satuan-satuan pola dikalikan dengan nilai M yang bersesuaian, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan

$$A = \sum_{i=1}^n M_i \cdot a_{1i} \quad (8)$$

Selain itu juga dilakukan penjumlahan dari semua output satuan-satuan pola

$$B = \sum_{i=1}^n a_{1i} \quad (9)$$

Output dari satuan-satuan penjumlahan adalah model M yang diperoleh melalui pembagian A dengan B sbb:

$$\bar{M} = \frac{A}{B} \quad (10)$$

Dari sekumpulan data sebanyak m pasangan data diambil $n < m$ untuk proses pembelajaran jaringan. Untuk nilai σ tertentu jaringan yang telah diperoleh diuji dengan sekumpulan data yang tidak digunakan dalam proses pembelajaran yaitu sebanyak $m-n$ pasangan data input-output. Antara \bar{M} dengan M tentunya ada selisih yang dapat diukur dengan jumlah kuadrat simpangan atau rata-rata kesalahan absolut atau nilai ukuran kesalahan lainnya yang dapat digunakan untuk mengukur akurasi jaringan dengan nilai σ tertentu. Nilai σ tersebut kemudian diubah-ubah sehingga diperoleh nilai simpangan model terhadap data untuk σ yang berbeda-beda. Kemudian dipilih σ yang menjadikan model JSTRU memiliki kesalahan terkecil. JSTRU yang dipilih adalah JSTRU dengan σ terpilih yang menghasilkan kesalahan terkecil pada data uji.

Pasangan data faktor propagasi M dan jarak d yang diperoleh dari oblique sounding bervariasi dari jarak 1300 – 3700 km. Pada jarak 0 km M bernilai 1 yang berarti MUF sama dengan $foF2$. Karena untuk jarak dekat (kurang dari 400 km) bisa digunakan formulasi sederhana untuk konversi vertikal ke oblique yang dapat diekspresikan sebagai

$$MUF(d) = foF2 \frac{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + (hmF2)^2}}{hmF2} \quad (11)$$

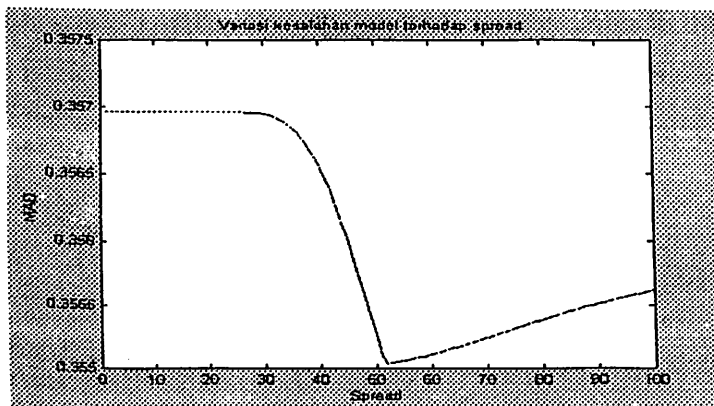
maka jika jarak d kurang dari 400 km prediksi MUF dapat menggunakan persamaan (11).

3. Hasil dan Pembahasan

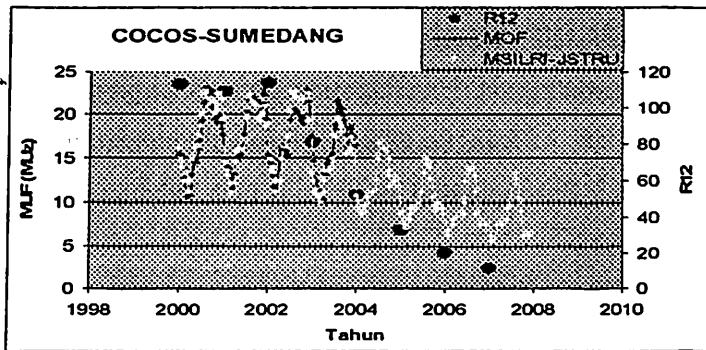
Model faktor propagasi \overline{M} telah dibuat dengan JSTRU dengan input waktu lokal t dan jarak d . Sebanyak 24 pasangan data input – output telah digunakan untuk uji model dalam rangka pemilihan parameter smoothing σ (spread). Selama proses pembelajaran dan uji model nilai rata-rata kesalahan mutlak ditunjukkan pada Gambar 3. Mula-mula kesalahan model konstan sampai spread sekitar 30, kemudian kesalahan dengan cepat menurun dengan bertambah besarnya spread dan mencapai terkecil pada saat spread sebesar 52. Selanjutnya JSTRU dipilih dengan spread 52 yang membuat JSTRU memiliki kesalahan terkecil.

MUF(d) dapat dihitung menggunakan JSTRU dan MSILRI. JSTRU menghasilkan estimasi M(d) dan MSILRI memberikan informasi foF2 pada titik pantul ionosfer saat aktivitas matahari dengan bilangan sunspot R12 yang sesuai dengan bulan dan tahun yang akan dihitung MUF(d). MUF merupakan perkalian M(d) dengan foF2.

Dengan informasi M(d) dari JSTRU dan foF2 dari MSILRI dapat ditentukan dan diprediksi MUF pada bulan dan tahun tertentu. Sebagai contoh MUF(d) untuk komunikasi Cocos Island – Sumedang pada bulan Januari mulai 2000 sampai 2007 dapat dilihat pada Gambar 3.



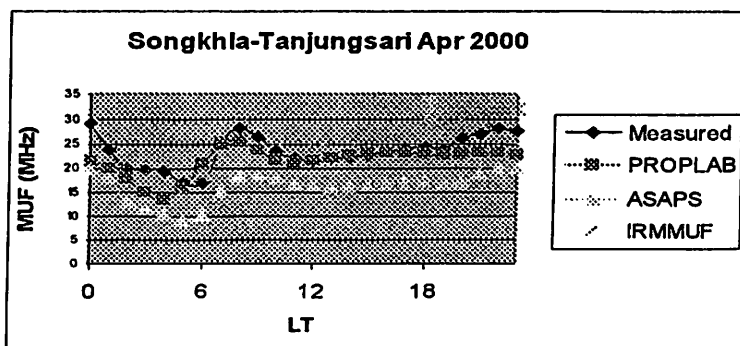
Gambar 3. Pola variasi MAD untuk parameter smoothing (spread) mulai dari 1 sampai 100. Pada spread 52 nilai MAD mencapai nilai terkecil sehingga model M dipilih untuk spread 52.



Gambar 4. Prediksi MUF Cocos Island – Sumedang menggunakan MUFREGIN untuk bulan Januari 2004-2007.

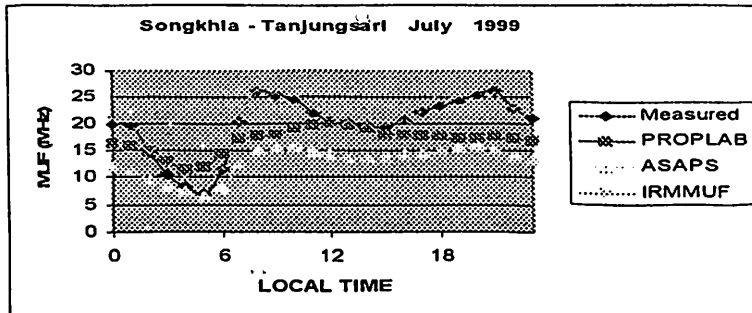
Gambar 4. memperlihatkan perbandingan MUF pengamatan dengan nilai MUFREGIN untuk komunikasi HF Cocos Island – Sumedang pada bulan Januari 2000- 2003 dan prediksi MUFREGIN bulan Januari 2004-2007. Tingkat aktivitas matahari yang direpresentasikan oleh R12 juga diperlihatkan. Pada tahun 2007 diperkirakan aktivitas matahari mencapai nilai minimum dengan R12 sekitar 11. Pada saat tersebut MUF bervariasi dari sekitar 5 – 13.5 MHz.

Pada kondisi aktivitas matahari tinggi tahun 2000 dengan $R12 = 120.8$ untuk komunikasi HF Songkhla-Tanjungsari diperlihatkan Gambar 5.



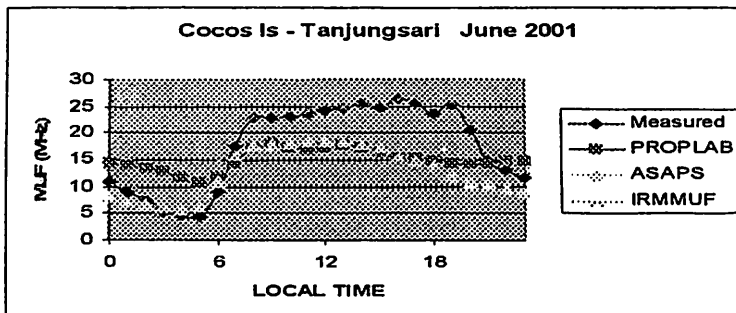
Gambar 5. MUF Songkhla-Tanjungsari pada bulan April 2000, perbandingan antara pengukuran dan prediksinya dengan beberapa model.

Dari Gambar 5 tersebut dapat diketahui bahwa ada kesesuaian yang cukup baik anatar MUFREGIN (IRMMUF, Indonesian Regional Model of MUF) dengan pengamatan mulai tengah malam sampai pagi sekitar jam 08:00. Sedangkan untuk MUF ASAPS berada di bawah pengamatan untuk semua waktu. Prediksi Prolab Pro menunjukkan cukup baik dibandingkan IRMMUF apalagi terhadap ASAPS.



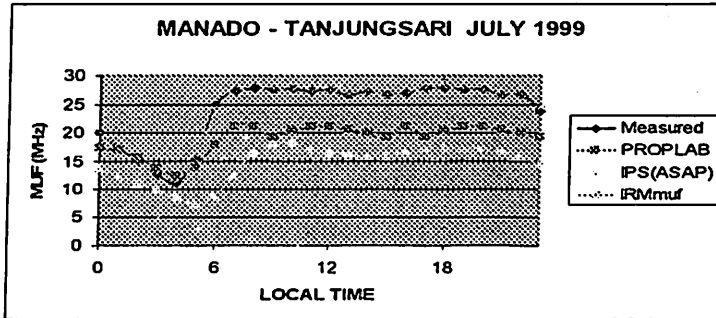
Gambar 6. Perbandingan MUF Songkhla-Tanjung Sari dari pengamatan dengan beberapa model untuk kondisi aktivitas matahari tinggi pada bulan Juli 1999 dengan $R_{12} = 94$.

Dari Gambar 6 diketahui bahwa MUF ASAPS terlihat berada di bawah pengamatan, Prolab Pro juga di bawah pengamatan kecuali menjelang terbit matahari, dan IRMMUF terlihat memiliki kesesuaian yang sangat baik dengan data pengamatan.



Gambar 7. Perbandingan MUF Cocos Island-Tanjung Sari hasil pengamatan dengan oblique sounding dengan model-model lainnya, pada bulan Juni 2001 dengan $R_{12} = 109.8$.

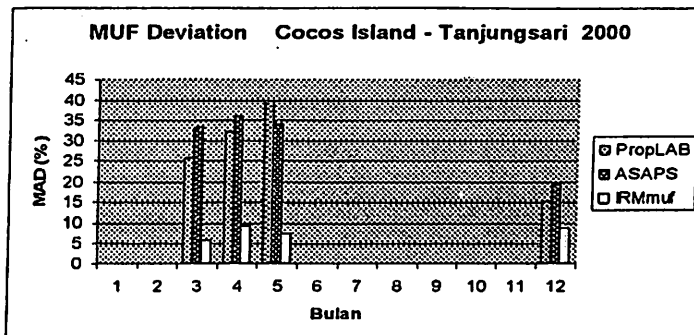
Gambar 7 memperlihatkan bahwa MUF yang dihitung dari IRMMUF memiliki kesesuaian yang paling baik dibandingkan dengan MUF ASAPS dan Prolab Pro. Pada siang hari khususnya baik Prolab Pro maupun ASAPS memprediksi MUF jauh di bawah hasil pengamatan.



Gambar 8. Perbandingan prediksi MUF Manado-Tanjungsari dari pengamatan oblique sounding dengan Prolab Pro, ASAPS dan IRMMUF.

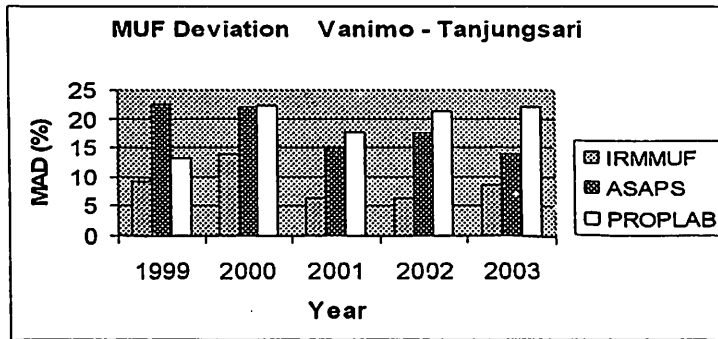
Untuk komunikasi Manado-Tanjungsari, MUF pada komunikasi HF hasil prediksi IRMMUF terlihat paling akurat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8 dibandingkan dengan model ASAPS dan Prolab.

Dari perhitungan MUF model-model dapat dihitung deviasi MUF model terhadap pengamatan. Untuk MUF Cocos Island-Tanjungsari deviasi MUF model-model terhadap pengamatan diperlihatkan pada Gambar 9.



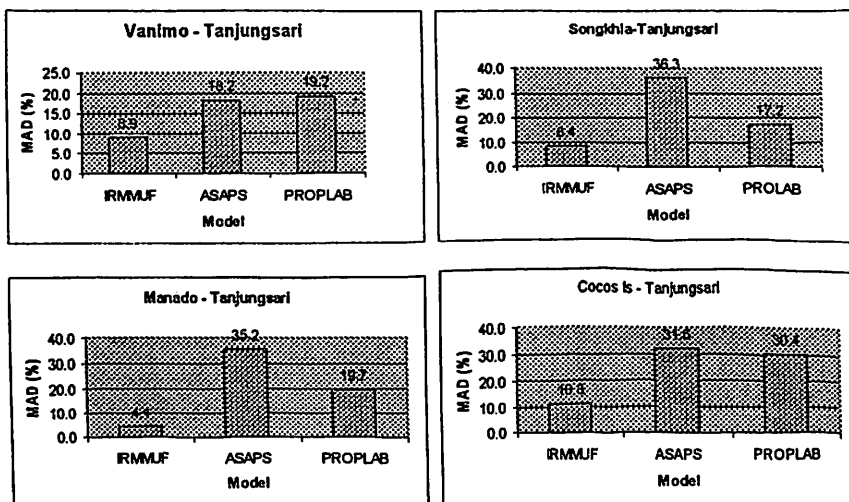
Gambar 9. Deviasi MUF model-model terhadap pengamatan untuk komunikasi HF dari Cocos Island ke Tanjungsari atau sebaliknya pada tahun 2000.

Pada gambar 9 tersebut diketahui bahwa deviasi MUF IRMMUF pada tahun 2000 untuk komunikasi Cocos Island-Tanjungsari memiliki nilai yang paling kecil yang bervariasi dari sekitar 5 – 10 %, sedangkan deviasi MUF ASAPAS bervariasi mulai 20 – 35 % dan untuk Prolab Pro bervariasi mulai 15 – 40 %.



Gambar 10. Perbandingan deviasi MUF model-model terhadap pengamatan untuk seluruh bulan yang ada mulai tahun 1999 – 2003.

Dari Gambar 10 diketahui bahwa rata-rata deviasi MUF IRMMUF mulai tahun 1999-2003 antara 5 – 15 %, sedangkan deviasi MUF ASAPAS antara 14 – 23 % dan deviasi MUF Prolab Pro berkisar antara 13 – 22 %.



Gambar 11. memperlihatkan perbandingan rata-rata deviasi absolut MUF IRMMUF, ASAPAS dan Prolab Pro.

Adapun deviasi MUF IRMMUF dari Vanimo, Songkhla, Manado dan Cocos Island ke Tanjungsari atau sebaliknya untuk seluruh tahun mulai 1997-2003 meliputi seluruh bulan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11, memiliki nilai yang terkecil yang besarnya kurang dari 10.8 %. Sedangkan MUF ASAPS memiliki deviasi terhadap pengamatan besarnya lebih dari 18 % dan MUF Prolab Pro menyimpang dari pengamatan rata-rata lebih dari 17 %.

4. Kesimpulan

Secara statistik dari data hasil pengamatan MUF menggunakan oblique sounding mulai tahun 1997 - 2003, MUF model MUFREGIN (IRMMUF) lebih akurat dibandingkan dengan ASAPS dan Prolab Pro untuk komunikasi HF dari Manado, Cocos Island, Vanimo dan Songkhla ke Tanjungsari atau sebaliknya.

Untuk komunikasi HF dari kota-kota besar di Indonesia IRMMUF perlu diuji terlebih dahulu keandalannya dalam memperkirakan MUF melalui uji komunikasi HF baik pasif maupun aktif.

Walaupun demikian MUFREGIN dapat dijadikan alternatif untuk pelayanan jasa informasi parameter komunikasi radio berupa prediksi MUF sebagai pelengkap pelayanan jasa oleh Pusfatsainsa LAPAN yang selama ini masih menggunakan ASAPS.

Ucapan terima kasih:

Terima kasih kepada Sdr. Nandang dari staf Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi HF yang telah berkenan memberikan MUF keluaran ASAPS yang sangat penting sebagai bahan pembahasan dalam makalah ini.

Daftar Pustaka

Asnawi dan Buldan Muslim, *Validasi foF2 dan M(3000)F2 model MSILRI Menggunakan Data Observasi Ionosonde Vertikal di Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya 2003, Jurusan Fisika Fakultas MIPA, ITS, Surabaya, 22-23 Oktober 2003, hal: 342-345

- Barnes, R.I., R.S. Gardiner-Garden and T.J. Harris, *Real Time Ionospheric models for the Australian Defence Force*, Surveillance System Division, DSTO, Salisbury, SA, 5108, Australia.
- Buldan Muslim., *Penentuan MUF Menggunakan Model Sederhana Ionosfer Regional Indonesia*, Kontribusi Fisika Indonesia, Volume 12, No. 2, 2002
- Specht D. F., (1991) *A General Regression Neural Network*, IEEE Transaction on neural networks Vol. 2, No. 6, November 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