

PERBANDINGAN foF2 KELUARAN MSILRI DENGAN DATA OBSERVASI DI BIAK, MODEL IRI DAN ASAPS [THE COMPARISON OF foF2 OUTPUT OF MSILRI TO BIAK OBSERVATION DATA, IRI MODEL AND ASAPS]

Sri Suhartini¹, Irvan Fajar Syidik, dan Dadang Nurmali

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjuna 133 Bandung 40173 Indonesia

¹e-mail: srilpnbdg@yahoo.com

Diterima 6 Maret 2015; Direvisi 18 Maret 2015; Disetujui 17 April 2015

ABSTRACT

Model of Simplified Low Latitude Region Ionosphere (MSILRI) is a model of the ionosphere for Indonesia and the surrounding region. This model was first developed in 2002, and continues to be revised and developed. Output of the MSILRI model of F2 layer ionospheric critical frequency (foF2) compared with observational data in Biak from 2005 to 2009, ASAPS V6.2 and IRI 2012 model outputs. The result show that the MSILRI2013 output characteristics is in accordance with observational data. MSILRI also show the most consistent differences characteristic between the model and the data compared to the other models. Percentage of the difference of foF2 (model-observation) to the data $\{foF2 (model-observatio)/observation\}$ in 2005, 2009, and 2013 for all three models show that for the same year has a distribution that is almost the same value. In 2009, the percentage distribution is between -40% - +20%, in 2005 and 2013 are between 20% -+20%. An MSILRI2013, ASAPS V6.2, and IRI 2012 models has a fairly high accuracy at moderate solar activity. Lowest accuracy for MSILRI2013 and ASAPS V6.2 occurs when solar activity is about the minimum (in 2009). Although the model MSILRI showed the most consistent characteristic differences between the model and the observation result than the other models, but the correlation coefficient between the foF2 output of MSILRI, ASAPS and IRI with the observation result in 2005, 2009, and 2013 show that in general the correlation between foF2 MSILRI output and data is lowest compared with the other models. Therefore, the MSILRI model is still required enhanced, both methods of modeling and additional data from ionospheric observations station in Indonesia.

Keywords: *Ionospheric models, foF2, MSILRI2013, ASAPS V6.2, IRI2012.*

ABSTRAK

Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia (MSILRI) adalah model ionosfer untuk wilayah Indonesia dan sekitarnya. Model ini pertama kali dikembangkan pada 2002, dan sampai saat ini terus direvisi dan dikembangkan. Frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) keluaran model MSILRI2013 telah dibandingkan dengan hasil observasi di Biak 2005 sampai 2009, keluaran model ASAPS versi 6.2 dan IRI2012. Hasilnya menunjukkan bahwa pola keluaran MSILRI2013 sesuai dengan hasil observasi. Persentase selisih foF2 (model-observasi) terhadap hasil observasi $\{foF2(model-observasi)/observasi\}$ 2005, 2009, dan 2013 untuk ketiga model menunjukkan bahwa untuk tahun yang sama sebaran nilainya hampir sama. Pada 2009 sebaran persentase terbanyak antara -40% - +20%, 2005 dan 2013 antara -20% - +20%. Model MSILRI2013, ASAPS V6.2, dan IRI 2012 mempunyai akurasi cukup tinggi pada kondisi aktivitas matahari sedang. Akurasi terendah untuk MSILRI2013 dan ASAPS V6.2 terjadi pada saat aktivitas matahari sekitar minimum (2009). Meskipun Model MSILRI menunjukkan karakteristik perbedaan antara model dengan hasil observasi

paling konsisten dibandingkan kedua model lainnya, namun korelasi antara foF2 keluaran MSILRI dengan data paling rendah dibandingkan kedua model lainnya. Oleh karena itu model MSILRI masih diperlukan disempurnakan, baik metode pemodelannya maupun penambahan stasiun dan tahun data hasil pengamatan ionosfer Indonesia

Kata kunci: *Model ionosfer, foF2, MSILRI2013, ASAPS V6.2, IRI2012.*

1 PENDAHULUAN

Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia (MSILRI) adalah model ionosfer untuk wilayah Indonesia dan sekitarnya, yang merupakan modifikasi dari model *Simplified Ionospheric Regional Model* (SIRM), yaitu model yang dikembangkan untuk pemodelan karakteristik ionosfer di Eropa. MSILRI dibangun menggunakan data ionosfer dari Manila (14,70°, 121,10°), Singapura (1,30°, 103,80°), Vanimo (-2,70°, 141,30°), dan Darwin (-12,45°, 130,95°). Model ini pertama kali dikembangkan pada 2002, untuk parameter-parameter ionosfer foF2 dan M(3000)F2, dan *Total Electron Content* (TEC). Model ini mengasumsikan respon ionosfer terhadap aktivitas matahari (R12) linier dan sama saat siklus aktivitas matahari naik dan turun, dan pada waktu lokal yang sama variasi bujur geografi diabaikan. Perbandingan foF2 hasil model ASAPS dan MSILRI dengan hasil pengamatan di Tangerang (1981), Sumedang (2000), dan Pontianak (1986) menunjukkan bahwa secara rata-rata MSILRI sedikit lebih baik dibandingkan dengan ASAPS dan IRI2001 (Muslim B., *et al.*, 2007a). Validasi foF2 MSILRI juga dilakukan oleh Asnawi dan Muslim B. (2007a) menggunakan data Tangerang (-6,11°, 106,30°) 1981-1982, Sumedang (-6,54°, 107,55°) 1997-2003, Pontianak (-0,03°, 101,33°) 1987, dan Biak 1992-1995. Hasilnya menunjukkan bahwa pola model MSILRI cukup sesuai dengan data pengamatan. Validasi menggunakan data Biak menunjukkan hasil yang baik dibandingkan stasiun lainnya, karena kedekatan lintang geografis Biak dengan Vanimo dan Singapura, yang datanya digunakan untuk membangun model MSILRI. Model MSILRI kemudian terus dikembangkan dan direvisi dengan menambahkan data hasil pengamatan di Sumedang 1998-2003 dan asimilasi menggunakan data keluaran model IRI2001 untuk lintang 10° dan 6° masing-masing untuk 1996-2001 (Muslim B. *et al.*, 2007b). Verifikasi dan revisi MSILRI02 menggunakan data Sumedang dan keluaran model IRI ini telah meningkatkan akurasi model hingga mencapai ketelitian 95% dibandingkan data Sumedang 1998-2003. Validasi MSILRI saat aktivitas matahari rendah 2005-2006 dilakukan menggunakan data dari Sumedang (Asnawi dan Muslim B., 2007b). Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum *trend* model mengikuti data, namun penyimpangannya cukup besar terutama pada bulan-bulan ekuinoks dan ketika matahari berada di belahan bumi utara. Model MSILRI terus dikembangkan dan direvisi dengan menambahkan data hasil pengamatan ionosfer di Indonesia.

Model *the International Reference Ionosphere* (IRI) adalah model yang telah banyak diakui dan direkomendasikan sebagai standar untuk parameter-parameter ionosfer bumi secara internasional. IRI adalah model empiris yang dibangun menggunakan data dari berbagai sumber. Salah satu keluaran dari model ini adalah foF2 jam-an harian. Pada awalnya model global foF2 diturunkan menggunakan data jam-an foF2 dari 85 stasiun di seluruh dunia antara 1995-2005 dan beberapa stasiun dari 1976 - 1986. Dalam pengembangan model selanjutnya digunakan data dari berbagai sumber yang tersimpan di *World Data Center* (Bilitza *et al.*, 2011). Perbandingan foF2 hasil pengamatan menggunakan ionosonda vertikal dan *oblique* dan hasil model IRI 2001 untuk lintang tinggi telah dilakukan oleh beberapa peneliti dari Rusia. Hasilnya adalah bahwa foF2 yang diturunkan dari ionogram *oblique* untuk berbagai jarak dan arah, hasil pengamatan menggunakan ionosonde vertikal dan hasil perhitungan model IRI menunjukkan kesesuaian yang cukup baik (Kim *et al.*, 2007).

Versi terbaru dari IRI adalah IRI2012, yang menambahkan model baru untuk parameter yang digunakan dalam perhitungan kerapatan elektron, yaitu model Altadil dkk (2009) untuk parameter ketebalan sisi bawah (*bottomside thickness*) B_o dan parameter bentuk (*shape parameter*) B_1 . Model baru ini memberikan peningkatan ketelitian dibandingkan model-model sebelumnya (Bilitza *et al.*, 2014). Perbandingan foF2 keluaran model IRI 2012 dan hasil pengamatan di Kupang Februari-Oktober 2013 telah dilakukan oleh Suhartini et al. (2014). Hasilnya menunjukkan bahwa pola variasi harian foF2 model IRI lebih sesuai dengan data Kupang apabila standar waktu yang digunakan adalah UT+9. Kesalahan perhitungan model IRI lebih besar apabila digunakan untuk data harian dibandingkan median bulannya. Secara umum baik foF2 harian maupun median bulanan hasil pengamatan lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan IRI 2012.

Advanced Stand Alone Prediction System (ASAPS) adalah perangkat lunak prediksi frekuensi komunikasi radio HF yang dibuat oleh *IPS Radio and Space Weather Services Australia*. Perangkat lunak ini memberikan keluaran berupa tabel atau *plot* hasil prediksi frekuensi komunikasi radio HF untuk jarak komunikasi, bulan dan tahun tertentu, untuk 24 jam. ASAPS dapat menghitung prediksi untuk jarak komunikasi sangat dekat yang dinamakan sirkuit distrik. Di kalangan pengguna radio, komunikasi jarak dekat biasa disebut *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS). NVIS adalah komunikasi radio HF. Gelombang radio dipancarkan dengan arah hampir tegak lurus ke atas, sehingga setelah dikembalikan oleh ionosfer gelombang tersebut jatuh di lokasi yang tidak terlalu jauh dari pemancarnya. Mode perambatan gelombang radio yang digunakan dalam komunikasi NVIS adalah pemantulan satu kali oleh lapisan F ionosfer, dengan cakupan jarak komunikasi sampai sekitar 300 km. (Farmer, 1995; Gibbons, 1990; Mazzola, 2011; Soetrisno, 2007). Karena pancarannya yang hampir tegak lurus, frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi jenis ini dibatasi oleh frekuensi maksimum lapisan F ionosfer. Oleh karena itu *Maximum Usable Frequency* (MUF) untuk NVIS sama dengan foF2 ionosfer di atas lokasi komunikasi.

Model MSILRI telah direvisi dan dikembangkan pada 2013 dengan menambahkan data hasil pengamatan dari Kototabang dan Sumedang dan dinamai MSILRI2013. Untuk mengetahui karakteristik keluarannya, dalam makalah ini dibahas hasil perbandingan foF2 keluaran model MSILRI2013 dengan data Biak (-1,0°, 136,0°) 2005-2013, keluaran model *International Reference Ionosphere* (IRI2012), dan *Advanced Stand Alone Prediction System* (ASAPS) versi 6.2.

2 DATA DAN METODE

Data yang digunakan adalah foF2 keluaran model MSILRI2013 2005 - 2013, IRI2012 dan ASAPS V6.2 pada 2005, 2009, dan 2013, dan median bulanan foF2 hasil pengamatan di Biak 2005 - 2013. Metodologi yang digunakan adalah:

- Menyeleksi data foF2 stasiun Biak 2005 - 2013. Data yang dihitung mediannya dan untuk selanjutnya digunakan adalah data per jam yang jumlahnya minimal sepuluh dalam satu bulan,
- Menjalankan MSILRI2013, untuk Biak 2005-2013, ASAPS V6.2 dan IRI2012 2005, 2009, dan 2013. Semua hasil model dikonversi ke waktu lokal Biak. Untuk model ASAPS, foF2 adalah MUF untuk sirkuit distrik Biak,
- Membuat *plot* median bulanan foF2 data dan MSILRI2013 2005, 2009, 2013. Tahun 2005 (R12: 23-34,6) mewakili kondisi aktivitas matahari sedang, 2009 kondisi aktivitas matahari rendah (R12: 1,8-8,3), dan 2013 kondisi aktivitas matahari tinggi (R12: 58,7 - 76),
- Menghitung selisih antara foF2 hasil observasi dengan hasil model:

$$\Delta f_1 = foF2(obs) - foF2(MSILRI)$$

$$\Delta f_2 = foF2(obs) - foF2(ASAPS)$$

$$\Delta f_3 = foF2(obs) - foF2(IRI)$$

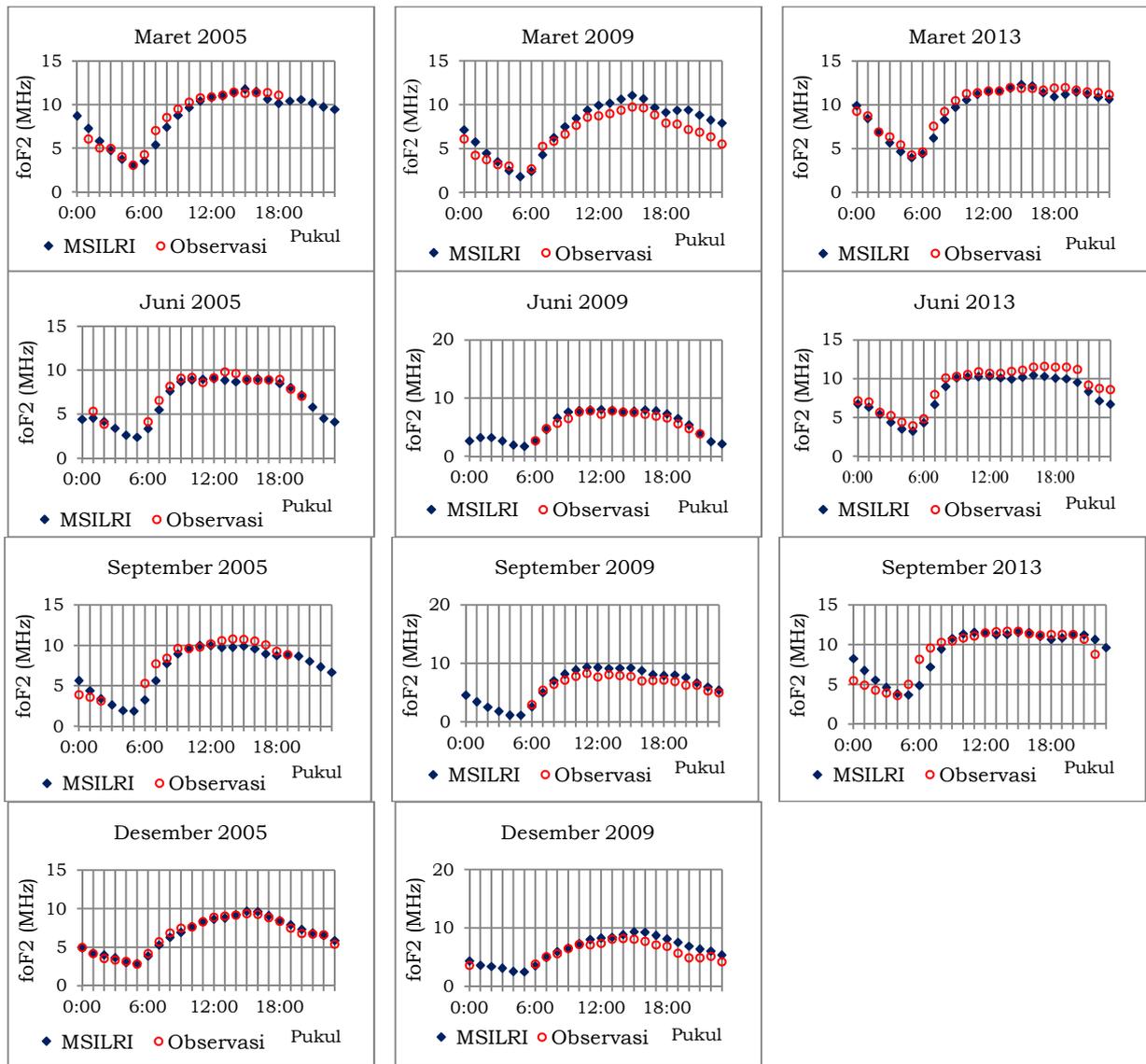
dan persentasenya terhadap hasil observasi 2005, 2009, dan 2013.

- Memplot selisih hasil observasi dengan model (Δf_1 , Δf_2 , Δf_3), dan persentasenya terhadap foF2 hasil observasi untuk masing-masing (2005, 2009, 2013) dan rata-rata selisih dalam satu tahun.
- Menghitung jumlah kejadian selisih (observasi-model) terhadap data dengan nilai $\pm 10\%$ untuk ketiga tahun dan ketiga model dan persentasenya terhadap seluruh jumlah hasil observasi per tahun.
- Menentukan koefisien korelasi antara foF2 data dengan foF2 MSILRI2013 setiap bulan, menggunakan data 2005 – 2013.

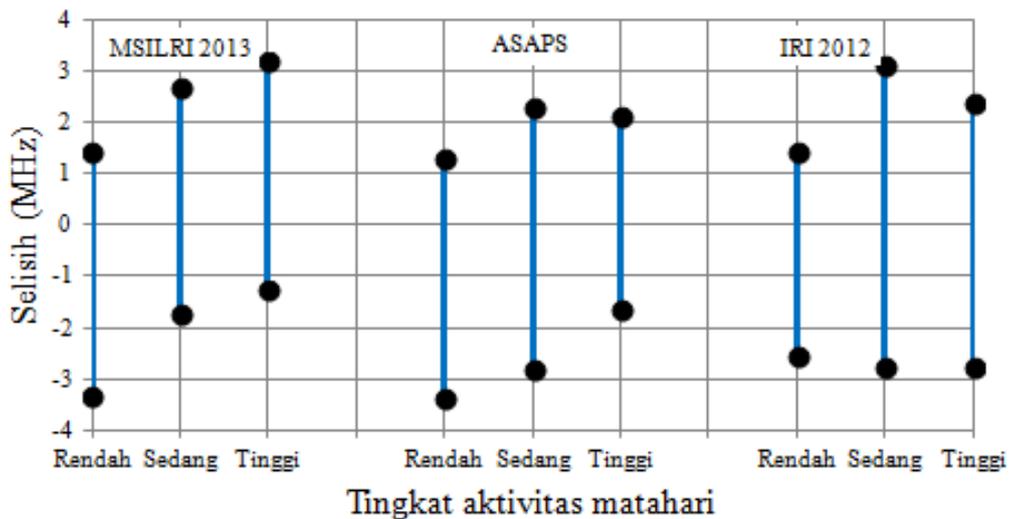
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Plot median bulanan foF2 Biak hasil observasi dengan keluaran model MSILRI2013 untuk Maret, Juni, September, dan Desember 2005, 2009, dan 2013 (Gambar 3-1) menunjukkan bahwa secara umum pola foF2 MSILRI2013 sesuai dengan pola median foF2 hasil observasi. Hasil model MSILRI2013 mendekati hasil observasi pada 2005 dan 2013. Perbedaan terbesar terjadi pada saat aktivitas matahari rendah (tahun 2009). Pada saat itu nilai R12 (*smoothed sunspot number*) antara 1,8-8,2. Model MSILRI2013 mengasumsikan respon ionosfer terhadap aktivitas matahari (R12) adalah linier dan sama saat siklus aktivitas matahari naik dan turun. Dalam kenyataannya, ketika aktivitas matahari tinggi dan rendah, kurva hubungan antara foF2 dengan R12 tidak linier lagi, dan tidak sama ketika aktivitas matahari naik dan turun (histeresis). Oleh karena itu wajar kalau terdapat perbedaan cukup besar antara foF2 hasil observasi dengan model pada kondisi aktivitas matahari rendah. Secara umum foF2 MSILRI2013 lebih tinggi dibandingkan data pada saat aktivitas matahari rendah, terutama pada siang hari. Selama 2005 nilai R12 antara 23-34,6, sedangkan pada 2013 nilainya 57,5-76, sehingga respon ionosfer terhadap aktivitas matahari masih dapat diasumsikan linier. Oleh karena itu pada tahun-tahun tersebut foF2 MSILRI2013 mendekati hasil observasi.

Maksimum, minimum Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 dan lebar rentangnya untuk tingkat aktivitas matahari rendah (2009), sedang (2005) dan tinggi (2013) ditunjukkan dalam Gambar 3-2. Nampak bahwa untuk model MSILRI2013, semakin tinggi aktivitas matahari, selisih antara data dengan model menuju ke nilai positif, namun lebar rentang selisihnya hampir sama (antara 4,43 – 4,75 MHz). Untuk ASAPS V6.2 minimum selisih data dengan model juga naik dengan meningkatnya aktivitas matahari, namun maksimumnya tidak selalu mengikuti. Lebar rentang selisihnya antara 3,75 MHz (2013) sampai 5,12 (2005). Model IRI2012 memberikan lebar rentang terbesar pada 2005 (5,91 MHz), terkecil pada 2009 (3,99 MHz). Minimum selisih hampir sama untuk ketiga tahun, maksimumnya tertinggi pada 2005. Dari uraian di atas, nampaknya model MSILRI2013 mempunyai karakteristik perbedaan antara model dengan data yang paling konsisten dibandingkan kedua model lainnya.

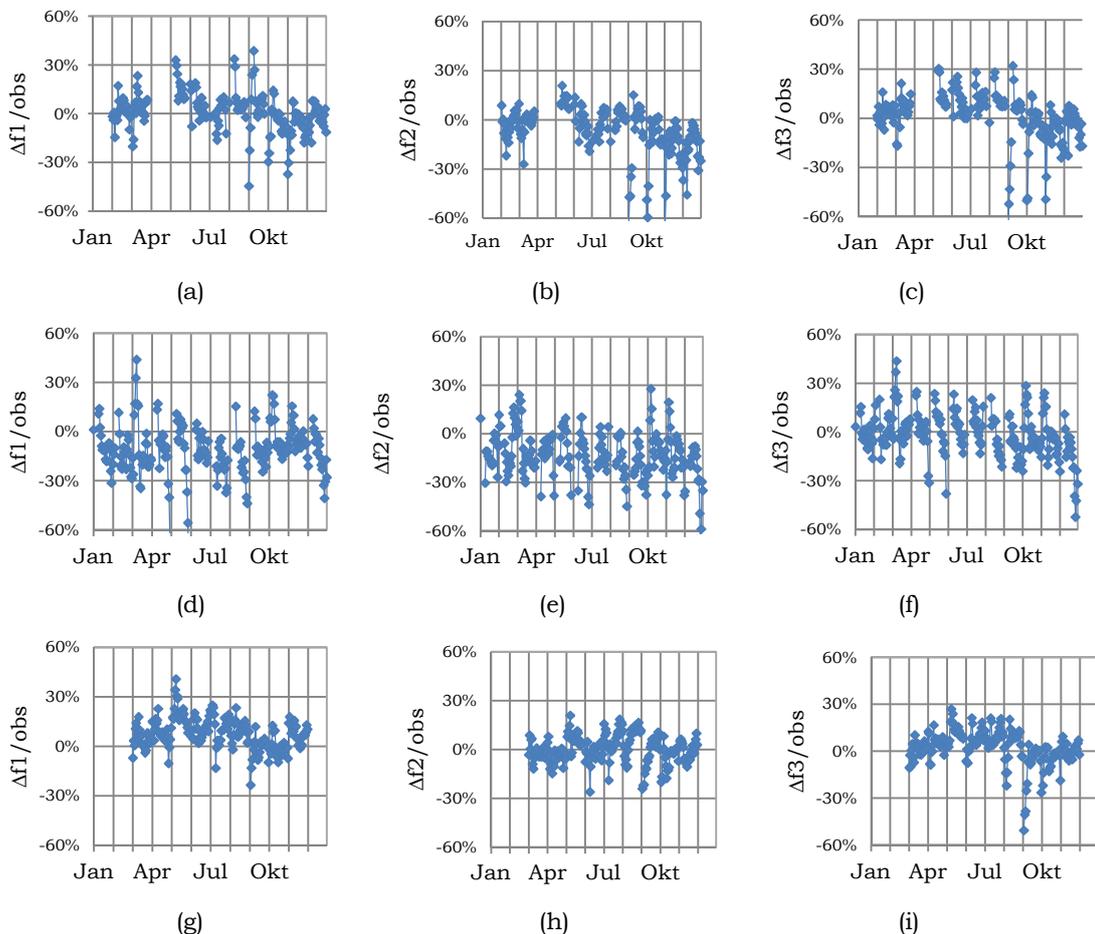


Gambar 3-1: Nilai foF2 hasil observasi dan keluaran MSILRI untuk Biak Maret, Juni, September, dan Desember 2005, 2009, dan 2013. Desember 2013 tidak ada data



Gambar 3-2: Maksimum Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 , minimum Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 , dan rentang selisih (maksimum-minimum) Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 untuk model MSILRI, ASAPS dan IRI2012 Pada aktivitas matahari rendah, sedang, dan tinggi

Plot persentase Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 terhadap hasil observasi ($\Delta f / f_oF2$ observasi) 2009, 2005, dan 2013 untuk ketiga model ditunjukkan dalam Gambar 3-3. Untuk tahun yang sama (kondisi aktivitas matahari yang sama) persentase selisih terhadap data untuk ketiga model menunjukkan sebaran nilai yang hampir sama. Semakin tinggi aktivitas matahari lebar sebaran semakin sempit, sedangkan nilainya semakin menuju positif. 2009 sebaran persentase terbesar antara -40%-20%, 2005 dan 2013 antara -20%-20%. Untuk 2013, nilai data cenderung lebih tinggi dibandingkan hasil keluaran MSILRI. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh asumsi yang digunakan MSILRI adalah hubungan antara foF2 dan R12 linier, dan tidak tergantung pada fase naik atau turun dalam siklus aktivitas matahari. Dalam kenyataannya saat aktivitas matahari tinggi hubungan kedua parameter tersebut tidak linier sehingga ada potensi saat aktivitas matahari tinggi MSILRI lebih tinggi atau lebih rendah dari data pengamatan. Hal lain yang mungkin menjadi penyebabnya adalah data yang ditambahkan untuk model MSILRI2013 adalah foF2 Sumedang 1999-2007, yang didominasi oleh fase turun aktivitas matahari, sehingga ada potensi model memiliki simpangan yang cukup besar pada saat aktivitas matahari maksimum dan saat aktivitas matahari pada fase naik.

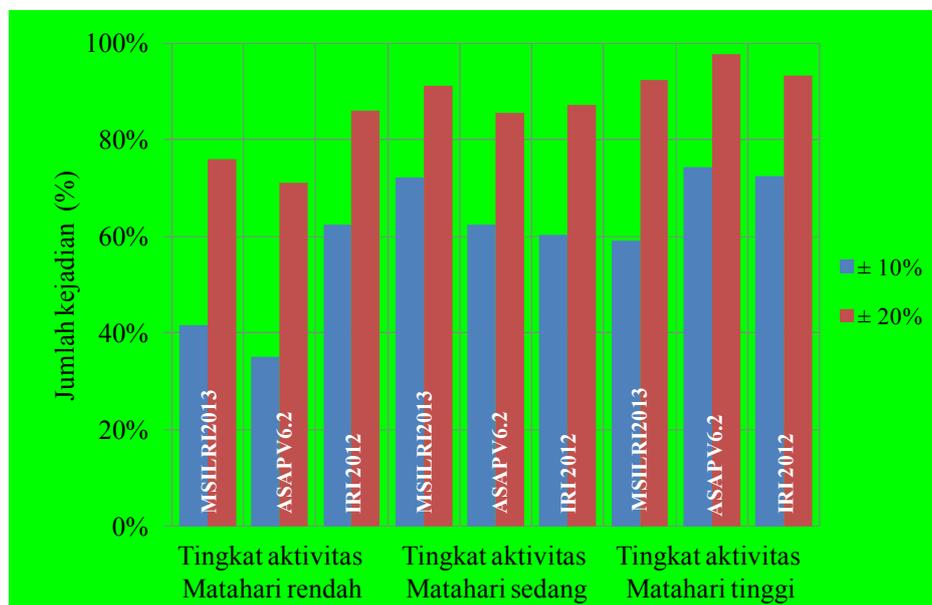


Gambar 3-3: Persentase Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 terhadap hasil observasi di Biak: pada saat aktivitas matahari rendah (a), (b), dan (c); saat aktivitas matahari sedang (d), (e), dan (f); serta pada saat aktivitas matahari tinggi (g), (h), dan (i)

Akurasi model terhadap hasil observasi yang dinyatakan dalam persentase jumlah kejadian selisih (observasi-model) terhadap hasil observasi dengan nilai $\pm 10\%$ dan $\pm 20\%$ untuk ketiga kondisi aktivitas matahari (rendah (2009), sedang (2005), dan

tinggi (2013) untuk model MSILRI2013, ASAPS V6.2, dan IRI 2012 ditunjukkan dalam Gambar 3-4.

Untuk selisih hasil observasi dengan model sebesar $\pm 10\%$, persentase kejadian tertinggi untuk MSILRI2013 terjadi pada aktivitas matahari sedang (2005) sebesar 72,16%, sedangkan untuk ASAPS (74,29%) dan IRI2012 (72,38%) pada aktivitas matahari tinggi (2013). Hal ini menunjukkan bahwa MSILRI2013 lebih akurat pada saat aktivitas matahari sedang dibandingkan kedua model lainnya, sementara pada saat aktivitas matahari tinggi ASAPS dan IRI 2012 lebih akurat dibandingkan MSILRI2013. Persentase terendah untuk MSILRI2013 (41,7%) dan ASAPS V6.2 (35,1%) terjadi pada kondisi aktivitas matahari rendah (2009), sedangkan IRI2012 persentasenya hampir sama untuk 2005 (60,3%) dan 2009 (62,3%). Ini menunjukkan bahwa pada saat aktivitas matahari rendah, akurasi MSILRI juga rendah meskipun masih lebih tinggi dibandingkan ASAPS. Pada saat itu IRI2012 mempunyai akurasi tertinggi dibandingkan kedua model lainnya.



Gambar 3-4: Persentase kejadian selisih (observasi-model) sebesar $\pm 10\%$ dan $\pm 20\%$

Untuk selisih hasil observasi dengan model sebesar $\pm 20\%$, ketiga model mempunyai karakteristik yang sama, yaitu akurasi meningkat dengan bertambahnya tingkat aktivitas matahari. Akurasi tertinggi terjadi pada 2013, dengan masing-masing model mempunyai akurasi $>90\%$.

Koefisien korelasi antara hasil observasi dengan MSILRI, ASAPS dan IRI menggunakan data 2005, 2009, dan 2013 diberikan dalam Tabel 3-1. Dapat dilihat bahwa korelasi antara foF2 hasil observasi dengan ketiga model cukup tinggi. Nilai foF2 keluaran MSILRI mempunyai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8 sebanyak empat bulan dalam satu tahun, model IRI dua bulan sedangkan ASAPS mempunyai korelasi minimal 0,9 sepanjang tahun. Secara umum korelasi foF2 keluaran MSILRI dengan data paling rendah dibandingkan kedua model lainnya. Model ASAPS mempunyai korelasi tertinggi diantara keluaran ketiga model yang dibandingkan.

Tabel 3-1: KOEFISIEN KORELASI FOF2 MSILRI, ASAPS DAN IRI DENGAN HASIL OBSERVASI DI BIAK 2005, 2009, DAN 2013

	R² MSILRI Vs observasi	R² IRI Vs observasi	R² ASAPS Vs observasi
Januari	0,9	0,8	0,9
Februari	0,9	0,9	0,9
Maret	0,9	0,9	0,9
April	0,8	0,9	1,0
Mei	0,8	0,9	0,9
Juni	0,9	0,9	0,9
Juli	0,8	0,8	0,9
Agustus	0,8	0,9	0,9
September	0,9	0,9	0,9
Oktober	1,0	0,9	0,9
November	0,9	0,9	0,9
Desember	0,9	0,9	0,9

4 KESIMPULAN

Parameter foF2 hasil perhitungan menggunakan model MSILRI2013 mempunyai pola yang sesuai dengan hasil pengamatan di Biak. Selisih nilai terbesar terjadi pada 2009, ketika aktivitas matahari sangat rendah. Hal ini disebabkan oleh asumsi yang digunakan pada Model MSILRI2013 bahwa respon ionosfer terhadap aktivitas matahari (R12) adalah linier dan sama saat siklus aktivitas matahari naik dan turun.

Perbandingan maksimum, minimum dan lebar rentang selisih foF2 (observasi-model) untuk MSILRI2013, ASAPS V6.2, dan IRI2012 2005, 2009, dan 2013, menunjukkan bahwa model MSILRI2013 mempunyai karakteristik perbedaan antara model dengan hasil observasi yang paling konsisten dibandingkan kedua model lainnya, yang ditunjukkan dengan selisih antara data dengan model semakin menuju ke nilai positif, namun lebar rentang selisihnya hampir sama (antara 4,43 – 4,75 MHz) dengan semakin tingginya aktivitas matahari.

Persentase selisih foF2 (observasi-model) terhadap hasil observasi $\{foF2 \text{ (observasi-model)}/\text{observasi}\}$ 2005, 2009, dan 2013 untuk ketiga model menunjukkan bahwa untuk tahun yang sama sebaran nilainya hampir sama. Semakin tinggi aktivitas matahari lebar sebaran semakin sempit, nilainya semakin menuju positif. Pada 2009 sebaran persentase terbesar antara -40%-20%, 2005 dan 2013 antara -20%-20%.

Akurasi model yang dinyatakan dalam persentase jumlah kejadian selisih (observasi-model) terhadap hasil observasi dengan nilai $\pm 10\%$ dan $\pm 20\%$ untuk ketiga kondisi aktivitas matahari dan ketiga model menunjukkan bahwa MSILRI2013 lebih akurat pada saat aktivitas matahari sedang dibandingkan kedua model lainnya, sementara pada saat aktivitas matahari tinggi ASAPS dan IRI 2012 lebih akurat dibandingkan MSILRI2013. Pada saat aktivitas matahari rendah, akurasi MSILRI2013 juga rendah meskipun masih lebih tinggi dibandingkan ASAPS. Pada saat itu IRI2012 mempunyai akurasi tertinggi dibandingkan kedua model lainnya. Untuk selisih data dengan model sebesar $\pm 20\%$, ketiga model mempunyai karakteristik yang sama, yaitu akurasi meningkat dengan bertambahnya tingkat aktivitas matahari. Akurasi tertinggi terjadi pada 2013, dengan masing-masing model mempunyai akurasi $>90\%$.

Meskipun Model MSILRI menunjukkan karakteristik perbedaan antara model dengan hasil observasi paling konsisten dibandingkan kedua model lainnya, namun korelasi antara foF2 keluaran MSILRI dengan hasil observasi paling rendah dibandingkan kedua model lainnya. Oleh karena itu model MSILRI masih perlu

disempurnakan, baik metode pemodelannya maupun penambahan stasiun dan tahun data hasil pengamatan ionosfer Indonesia

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DR. Buldan Muslim sebagai peneliti yang mengembangkan model MSILRI yang telah memberikan masukan yang berharga dalam penyempurnaan makalah ini. Terima kasih juga kami ucapkan kepada tim *scaling* Pusat Sains Antariksa yang telah menyediakan data foF2 Biak.

DAFTAR RUJUKAN

- Asnawi dan Muslim, B., 2007a. *Validasi foF2 dan M(3000)F2 Model MSILRI Terhadap Data Observasi Ionosonde Vertikal di Indonesia*, Publikasi Ilmiah LAPAN tahun 2007, ISBN 978-979-1458-05-4.
- Asnawi dan Muslim, B., 2007b. *Validasi MSILRI Saat Aktivitas Matahari Rendah tahun 2005-2006*, Publikasi Ilmiah LAPAN tahun 2007, ISBN 978-979-1458-05-4.
- Bilitza, D., Lee-Anne McKinnell, Bodo Reinisch, Tim Fuller-Rowell, 2011. *The International Reference Ionosphere Today and in the Future*, Journal of Geodesy volume 85, issue 12, 909-920, online ISSN 1432-1394, Springer-Verlag.
- Bilitza, D., David Altadill, Yongliang Zhang, Chris Mertens, Vladimir Truhlik, Phil Richards, Lee-Anne McKinnell, and Bodo Reinisch, 2014. *The International Reference Ionosphere 2012 – a Model of International Collaboration*, J. Space Weather Space Clim. 4 (2014) A07.
- Farmer, Edward, J. 1995. *A Look at NVIS Technique*, American Radio Relay League, Inc.
- Gibbons, Patricia, 1990. NVIS-What it is and how to use it, http://www.raqi.ca/~ve2cvr/main/documentation/surra_misc/hfradionvis.pdf. Download Desember 2010.
- Kim, A.G., G.V. Kotovich, V.P. Grozov and C.G. Ratovskiy, 2007. *Comparison of Ionosphere Parameters foF2, hmF2 Obtained from Vertical Sounding, Oblique Sounding, and IRI Data*, Physics of Auroral Phenomena, Proc. XXX Annual Seminar, Apatity, 163 – 166.
- Mazzola, Ross, NVIS for emergency Communication, <http://s3.amazonaws.com/emcommeast2008/NVIS.pdf>. download Januari 2011.
- Muslim, B., Asnawi, Dyah R.M., Aries Kurniawan dan Syarifudin, 2007. *Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia Untuk Parameter foF2 (MSILRI versi 2002)*, Publikasi Ilmiah LAPAN tahun 2007, ISBN 978-979-1458-05-4.
- Muslim, B., Aries Kurniawan, dan Imam Syafe'i, 2007. *Verifikasi dan Revisi MSILRI02 Menggunakan Data Ionosonde Vetikal Sumedang dan Model IRI 2001*, Publikasi Ilmiah LAPAN tahun 2007, ISBN 978-979-1458-05-4.
- Soetrisno, Bambang, 2007. *Pancaran NVIS (Near Vertical Incident Sky wave)*, Buletin Elektronik ORARI News Edisi 02 tahun ke VII.
- Suhartini, S., Syidik I., F., Mardiani A., Nurmali D., 2014. *Frekuensi Kritis Lapisan F2 di Atas Kupang : Perbandingan Data Dengan Model IRI*, Majalah Sains dan teknologi Dirgantara LAPAN, Dalam Proses Penerbitan.

