

DAMPAK PERUBAHAN INDEKS IONOSFER TERHADAP PERUBAHAN *MAXIMUM USABLE FREQUENCY* (IMPACT OF IONOSPHERIC INDEX CHANGES ON *MAXIMUM USABLE FREQUENCY*)

Sri Suhartini

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: srilpnbdg@yahoo.com

ABSTRACT

Ionospheric index (T index) is the indicator of the highest radio waves frequency that can be returned by the ionosphere. In the frequency prediction using ASAPS software, the T index is one of the main inputs. If there is a change in value of the T index of 25, it is recommended to recalculate the frequency predictions. The analysis conducted on predicted MUF (Maximum Usable Frequency) for 6 communication circuits and 6 value of T index with a difference of 25, indicates that change in MUF value is greater at night, with a peak at midnight. One contributing factor is the decrease in the height of the ionosphere F layer and a decrease in $foF2$ at night. Maximum change in lower T index was 4.8 MHz, whereas at high T index of 3.7 MHz. Effect of communication distance on the MUF percentage change indicating that the MUF change estimation can be done based on the MUF percentage changes without having to take into account the distance of communication. The effect of T index changes to the MUF value is larger if the communication distance is greater. ΔMUF has the highest value at 00:00 hours, with a maximum of 4.8 MHz on circuits 6 (distance 2763 km). ΔMUF minimum value occurred at 14:00 hours, with the lowest value of 0.2 MHz on circuit 4 (distance 1658 km).

Keywords: $foF2$, T index, Frequency prediction, MUF

ABSTRAK

Indeks ionosfer (indeks T) adalah indikator frekuensi tertinggi gelombang radio yang dapat dikembalikan oleh ionosfer. Dalam prediksi frekuensi menggunakan perangkat lunak ASAPS, indeks T adalah salah satu masukan utama. Apabila terdapat perubahan nilai indeks T sebesar 25, disarankan untuk mengulang perhitungan prediksinya. Analisis yang dilakukan terhadap *Maximum Usable Frequency* (MUF) hasil prediksi frekuensi untuk 6 jarak komunikasi dan 6 nilai indeks T dengan selisih indeks T sebesar 25, menunjukkan bahwa perubahan MUF lebih besar pada malam hari, dengan puncaknya pada tengah malam. Salah satu faktor penyebabnya adalah penurunan ketinggian ($h'F$) dan penurunan frekuensi kritis lapisan F2 ($foF2$) ionosfer pada malam hari. Maksimum perubahan MUF untuk indeks T rendah sebesar 4,8 MHz, sedangkan untuk indeks T tinggi sebesar 3,7 MHz. Pengaruh jarak komunikasi terhadap persentase perubahan MUF karena perubahan indeks T ternyata kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa perkiraan perubahan MUF dapat dilakukan berdasarkan persentase perubahan MUF tanpa harus memperhitungkan jarak komunikasi. Dampak perubahan indeks T terhadap perubahan nilai MUF semakin besar apabila jarak komunikasi semakin jauh. ΔMUF mempunyai nilai tertinggi pada pukul 0:00, dengan maksimum sebesar 4,8 MHz pada sirkit 6 (jarak 2763 Km). Nilai minimum ΔMUF terjadi pada pukul 14:00, dengan nilai terendah 0,2 MHz pada sirkit 4 (jarak 1658 Km).

Kata kunci: $foF2$, Indeks T, Prediksi frekuensi, MUF

1 PENDAHULUAN

Indeks ionosfer (indeks T) adalah indeks yang menyatakan hubungan antara aktivitas matahari yang diwakili oleh bilangan *sunspot* dan frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (f_oF2). Indeks T adalah indikator frekuensi tertinggi gelombang radio yang dapat dikembalikan oleh ionosfer. Semakin tinggi indeks T, semakin tinggi juga frekuensi yang dapat dikembalikan oleh ionosfer. Indeks T diturunkan berdasarkan nilai median bulanan f_oF2 yang diperoleh dari hasil pengamatan menggunakan ionosonda (http://www.ips.gov.au/HF_Systems/1/6). Indeks T merupakan salah satu masukan utama paket program prediksi *Advanced Stand Alone Prediction System* (ASAPS) untuk mendapatkan prediksi frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi setiap jam selama satu bulan.

Perumusan hubungan antara indeks T dan rata-rata berjalan 12 bulan bilangan *sunspot* (*twelve-month smoothed sunspot number*: R12) untuk Loka Pengamat Dirgantara Sumedang ($6,54^\circ$ LS, $107,55^\circ$ BT) telah diperoleh, berupa persamaan linier. Hasil perhitungan indeks T menunjukkan bahwa secara umum indeks T Sumedang lebih besar dibandingkan indeks T global (Suhartini et al, 2012). Dalam perhitungan *Maximum Usable Frequency* (MUF), perangkat lunak ASAPS menggunakan peta global f_oF2 untuk indeks $T=0$ dan $T=100$, untuk 24 jam. MUF dihitung dengan interpolasi/ekstrapolasi berdasarkan nilai indeks T yang diprediksi untuk bulan yang akan dihitung prediksi frekuensinya.

Prediksi frekuensi pada umumnya dibuat per jam (jam 00:00 – 23:00) untuk masa berlaku selama satu bulan. Indeks

T ditentukan berdasarkan prakiraan perilaku matahari jangka panjang. Kadang-kadang terjadi peristiwa di matahari (misalnya *flare* atau *Coronal Mass Ejection* (CME)) yang mengganggu ionosfer dan membuat prediksi indeks T menjadi tidak akurat. Oleh karena itu dihitung juga indeks T harian, yang mengacu pada hasil pengamatan ionosfer harian dan berlaku untuk suatu wilayah tertentu. Apabila terdapat perubahan nilai indeks T sebesar 25, disarankan untuk mengulang perhitungan prediksinya dengan menggunakan indeks T harian (*IPS Radio and Space Services*, 2005). Sebagai contoh, IPS-Australia membuat indeks T harian untuk wilayah Australia/ New Zealand yang ditampilkan dalam bentuk plot dan dimuat dalam website-nya (http://www.ips.gov.au/HF_Systems/1/6).

Dalam makalah ini akan dibahas perubahan nilai indeks T sebesar 25 pada MUF hasil prediksi frekuensi komunikasi radio HF untuk berbagai jarak komunikasi. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar dampaknya pada perubahan MUF.

2 DATA DAN METODOLOGI

Prediksi frekuensi dilakukan menggunakan perangkat lunak ASAPS, dengan sirkit dari Jakarta ($6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT) ke arah timur dengan pertambahan jarak sebesar 5° bujur. Untuk jarak kurang dari 300 km, dihitung prediksi *Near Vertical Incidence* (NVIS) atau *Distrik*, dengan koordinat pemancar sama dengan penerima. Sirkit komunikasi yang dihitung prediksi frekuensinya adalah seperti Tabel 2-1.

Tabel 2-1: SIRKIT KOMUNIKASI YANG DIGUNAKAN DAN KOORDINATNYA

Nama Sirkit	Koordinat Pemancar	Koordinat Penerima	Jarak
Sirkit 1	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	<300km
Sirkit 2	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $111,8^\circ$ BT	553 Km
Sirkit 3	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $116,8^\circ$ BT	1105 Km
Sirkit 4	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $121,8^\circ$ BT	1658 Km
Sirkit 5	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $126,8^\circ$ BT	2211 Km
Sirkit 6	$6,17^\circ$ LS, $106,8^\circ$ BT	$6,17^\circ$ LS, $131,8^\circ$ BT	2763 Km

Prediksi dihitung untuk nilai indeks T = 25, 50, 75, 100, 125, 150, dan 175, untuk bulan Maret. Hasil prediksi yang dianalisis adalah MUF untuk mode propagasi satu kali pantulan oleh lapisan F ionosfer. Dari hasil prediksi untuk berbagai kondisi tersebut dihitung besarnya perubahan MUF apabila indeks T naik sebesar 25, untuk masing-masing sirkit (1-6) pukul 00:00 – 23:00 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta MUF1 &= MUF(T=50) - MUF(T=25) & (2-1) \\ \Delta MUF2 &= MUF(T=75) - MUF(T=50) & (2-2) \\ \Delta MUF3 &= MUF(T=100) - MUF(T=75) & (2-3) \\ \Delta MUF4 &= MUF(T=125) - MUF(T=100) & (2-4) \\ \Delta MUF5 &= MUF(T=150) - MUF(T=125) & (2-5) \\ \Delta MUF6 &= MUF(T=175) - MUF(T=150) & (2-6) \end{aligned}$$

Selain besarnya nilai perubahan MUF, dihitung juga persentase

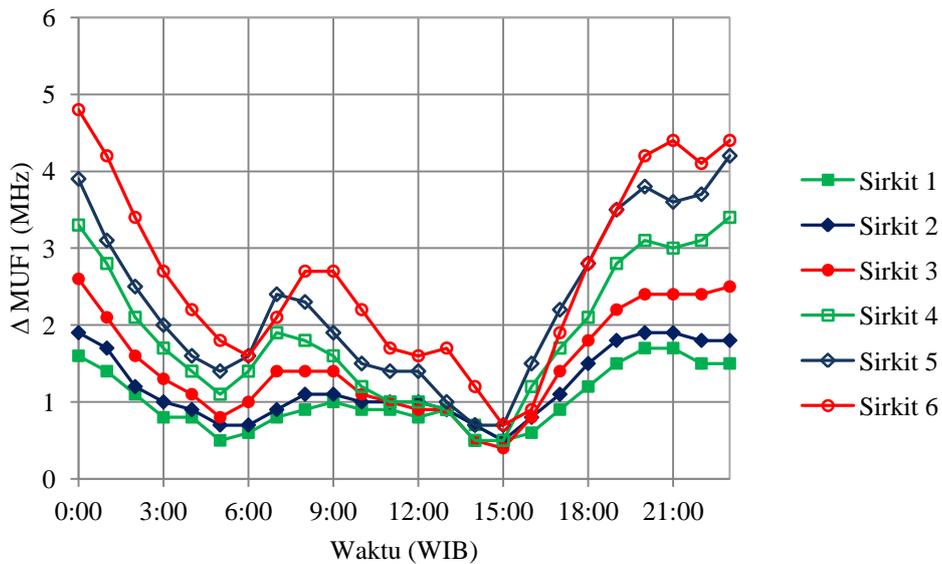
perubahannya terhadap MUF untuk indeks T yang lebih rendah.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

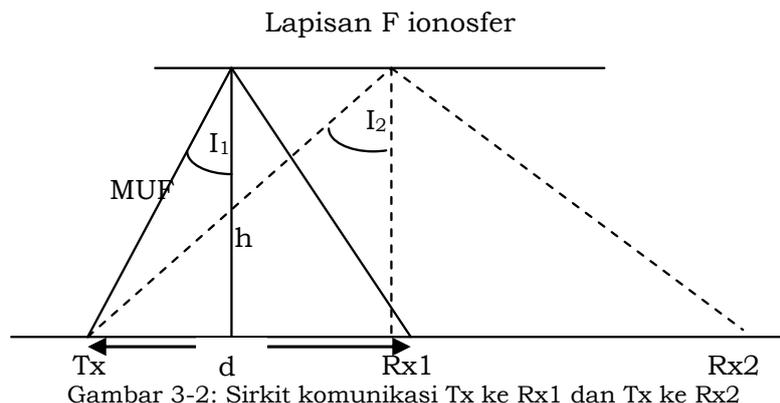
Kenaikan indeks T menunjukkan kenaikan tingkat aktivitas matahari, sehingga akan menaikkan nilai MUF. Hal ini nampak pada hasil perhitungan, semua nilai $\Delta MUF1$ sampai $\Delta MUF6$ positif. Sebagai contoh, variasi besarnya $\Delta MUF1$ selama 24 jam untuk 6 sirkit yang dipelajari ditunjukkan dalam Gambar 3-1.

Secara sederhana skema peman-tulan gelombang radio oleh lapisan ionosfer ditunjukkan pada Gambar 3-2. Berdasarkan skema tersebut dapat diturunkan persamaan untuk menghitung MUF seperti pada persamaan (3-1).

$$MUF = f_c \sec I = f_c \sqrt{\left(h^2 + \frac{d^2}{2} \right)} / h \quad (3-1)$$



Gambar 3-1: Variasi nilai $\Delta MUF1$ selama 24 jam



Gambar 3-2: Sirkit komunikasi Tx ke Rx1 dan Tx ke Rx2

Dengan f_c adalah frekuensi kritis lapisan pemantul ($foF2$ untuk lapisan F2), h adalah ketinggian lapisan pemantul, dan d jarak sirkit komunikasi.

Kalau diasumsikan bahwa pada waktu lokal yang sama nilai $foF2$ di titik-titik pantul juga sama, maka dari persamaan (3-1) dapat diketahui bahwa faktor yang berpengaruh pada hasil perhitungan MUF adalah ketinggian lapisan pemantul (h) dan jarak komunikasi (d). Gambar 3-2 mengilustrasikan sirkit komunikasi dari Tx ke Rx1 dan Tx ke Rx2, dengan ketinggian lapisan F sama. Semakin jauh jarak komunikasi, semakin besar sudut I ($I_2 > I_1$), semakin besar juga $\secant(I)$. Perubahan nilai $\secant(I)$ yang tidak linier menyebabkan tidak liniernya perubahan MUF untuk perubahan jarak (5° bujur) dan indeks T (25) yang sama.

Dari Gambar 3-1 juga dapat diketahui bahwa perubahan MUF lebih besar pada malam hari, dengan puncak sekitar tengah malam. Gambar 3-3 menunjukkan (a) rata-rata ketinggian ($h'F$) dan (b) rata-rata frekuensi kritis ($foF2$) lapisan F ionosfer di Loka Pengamatan Dirgantara Sumedang selama 24 jam pada bulan Januari, Februari, dan Maret 2011, serta $\Delta MUF1$ hasil prediksi ASAPS dan (c) hasil perhitungan menggunakan rumus (3-1) dan data $foF2$ dan $h'F$ Sumedang bulan Maret 2011 ($T=52$) dan Januari 2011 ($T=22$) untuk sirkit 2 (jarak 553 km). Pada malam hari ketinggian lapisan F turun, dengan nilai minimum terjadi pada tengah malam (Saito and Maruyama, 2006). Median bulanan $foF2$ juga turun pada malam hari karena proses pembentukan ionosfer (ionisasi) tidak terjadi pada malam hari, sedangkan proses penghancuran (rekombinasi) terus terjadi (Jiyo, 2007; Mc. Namara, 1991). Minimum $foF2$ terjadi sekitar jam 5:00 pagi, namun di sekitar tengah malam nilai $foF2$ masih cukup tinggi. Penurunan ketinggian lapisan F memberikan sumbangan lebih besar pada kenaikan MUF malam hari sementara dampak

penurunan $foF2$ pada perubahan MUF tidak sebesar penurunan ketinggian lapisan F. Dari Gambar 3-3 (c) dapat dilihat bahwa ΔMUF yang dihitung berdasarkan hasil prediksi dengan ΔMUF yang dihitung menggunakan data menunjukkan karakteristik yang hampir sama, yaitu perubahan MUF lebih besar pada malam hari, dengan puncak sekitar tengah malam. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sec I disebabkan penurunan ketinggian lapisan F dan penurunan $foF2$ pada malam hari merupakan faktor yang ikut menentukan lebih besarnya perubahan MUF pada malam hari.

Perubahan MUF (ΔMUF) sebagai fungsi aktivitas matahari dipelajari dari hasil perhitungan $\Delta MUF1$ sampai $\Delta MUF6$ untuk 6 sirkit selama 24 jam seperti diplot dalam Gambar 3-4 (bagian kiri). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa variasi harian ΔMUF untuk perubahan indeks T sebesar 25 dari tingkat aktivitas matahari rendah sampai tinggi menunjukkan pola yang sama. Besarnya ΔMUF semakin kecil dengan semakin tingginya tingkat aktivitas matahari (indeks T semakin besar). Perubahan maksimum pada tingkat aktivitas matahari rendah ($\Delta MUF1$) sebesar 4,8 MHz, sedangkan pada tingkat aktivitas matahari tinggi ($\Delta MUF6$) sebesar 3,7 MHz.

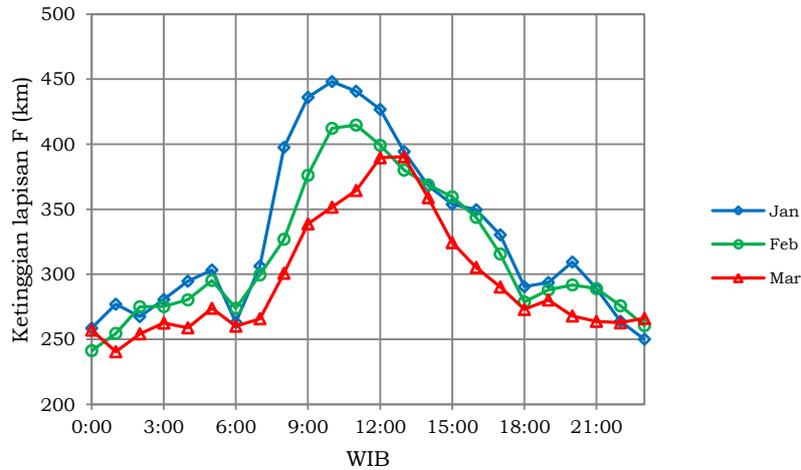
Hal yang berbeda diperoleh apabila dihitung persentase ΔMUF . Persentase ΔMUF dihitung terhadap nilai MUF untuk indeks T yang lebih rendah, dengan perumusan seperti pada persamaan (3-2).

$$\% \Delta MUF = \frac{MUF_{(T=50)} - MUF_{(T=25)}}{MUF_{(T=25)}} \quad (3-2)$$

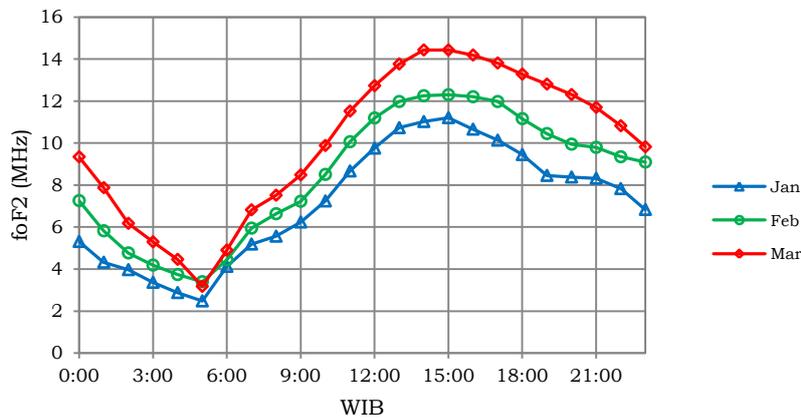
Persamaan ini diterapkan untuk berbagai sirkit dan aktivitas matahari. Hasilnya seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-4 (bagian kanan). Dari Gambar 3-4 dapat diketahui bahwa persentase ΔMUF mengalami penurunan yang cukup signifikan dengan semakin tingginya tingkat aktivitas matahari. Hal ini wajar karena (1) perubahan MUF

semakin kecil dengan semakin tingginya indeks T, (2) untuk menghitung persentase perubahannya, nilai perubahan MUF

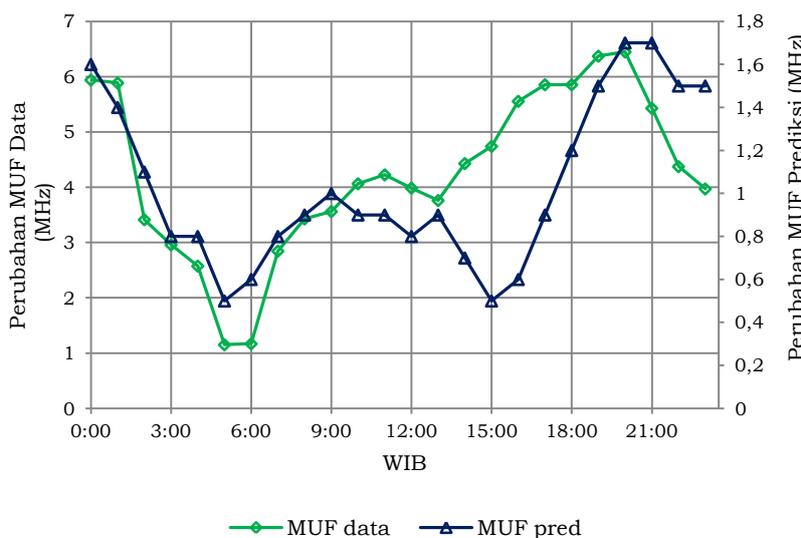
dibandingkan dengan nilai MUF yang semakin besar dengan semakin tingginya indeks T.



(a)

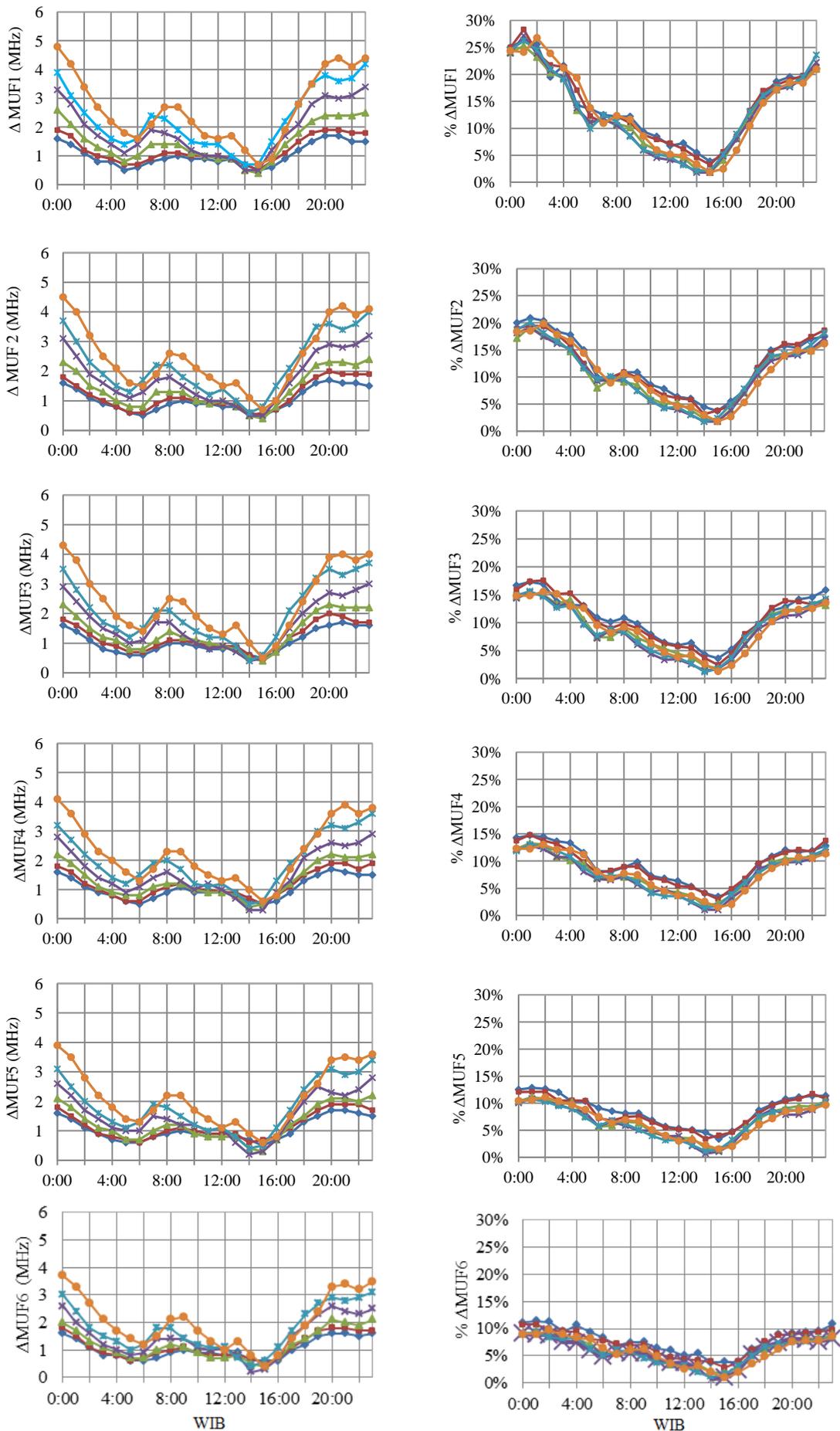


(b)



(c)

Gambar 3-3: Rata-rata ketinggian lapisan F ($h'F$) (a), frekuensi kritis lapisan F ($foF2$) (b) ionosfer di Sumedang bulan Januari, Februari dan Maret 2011, serta $\Delta MUF1$ hasil prediksi ASAPS dan hasil perhitungan menggunakan rumus 3-1 dan data Sumedang untuk sirkit 2 (jarak 553 km) (c)

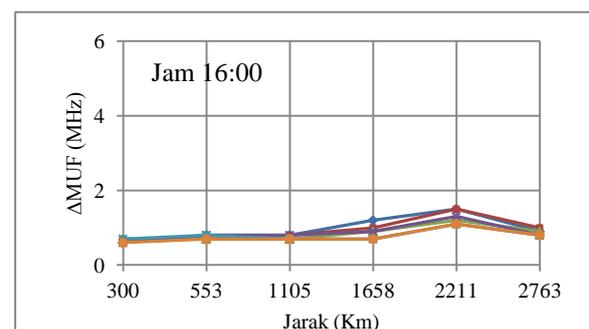
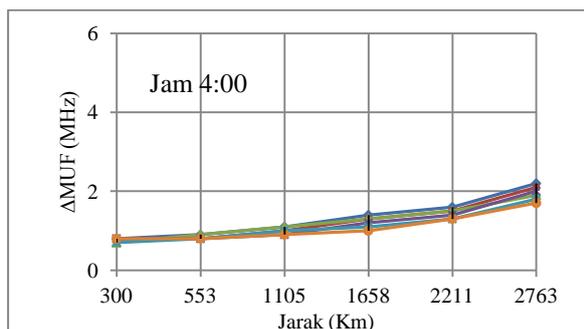
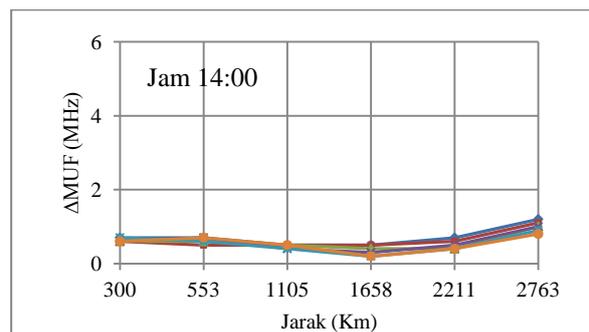
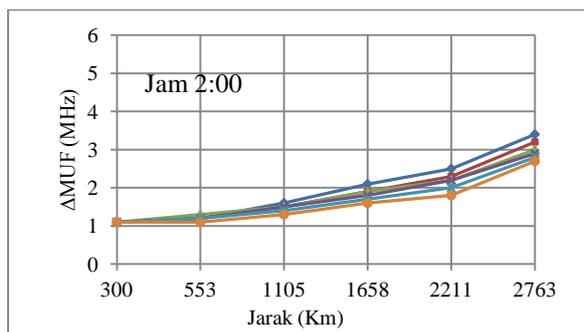
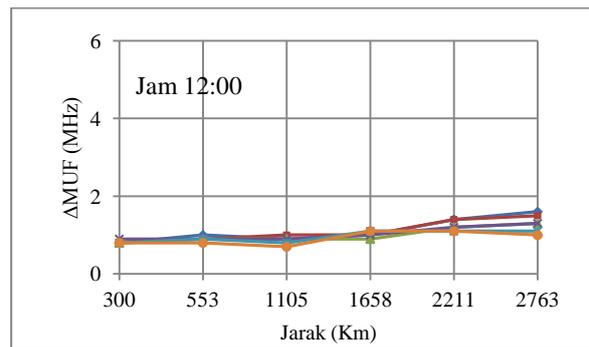
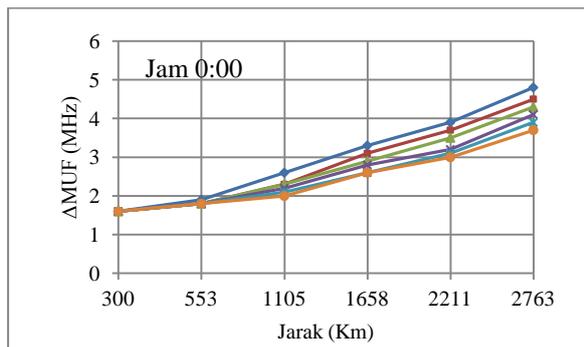


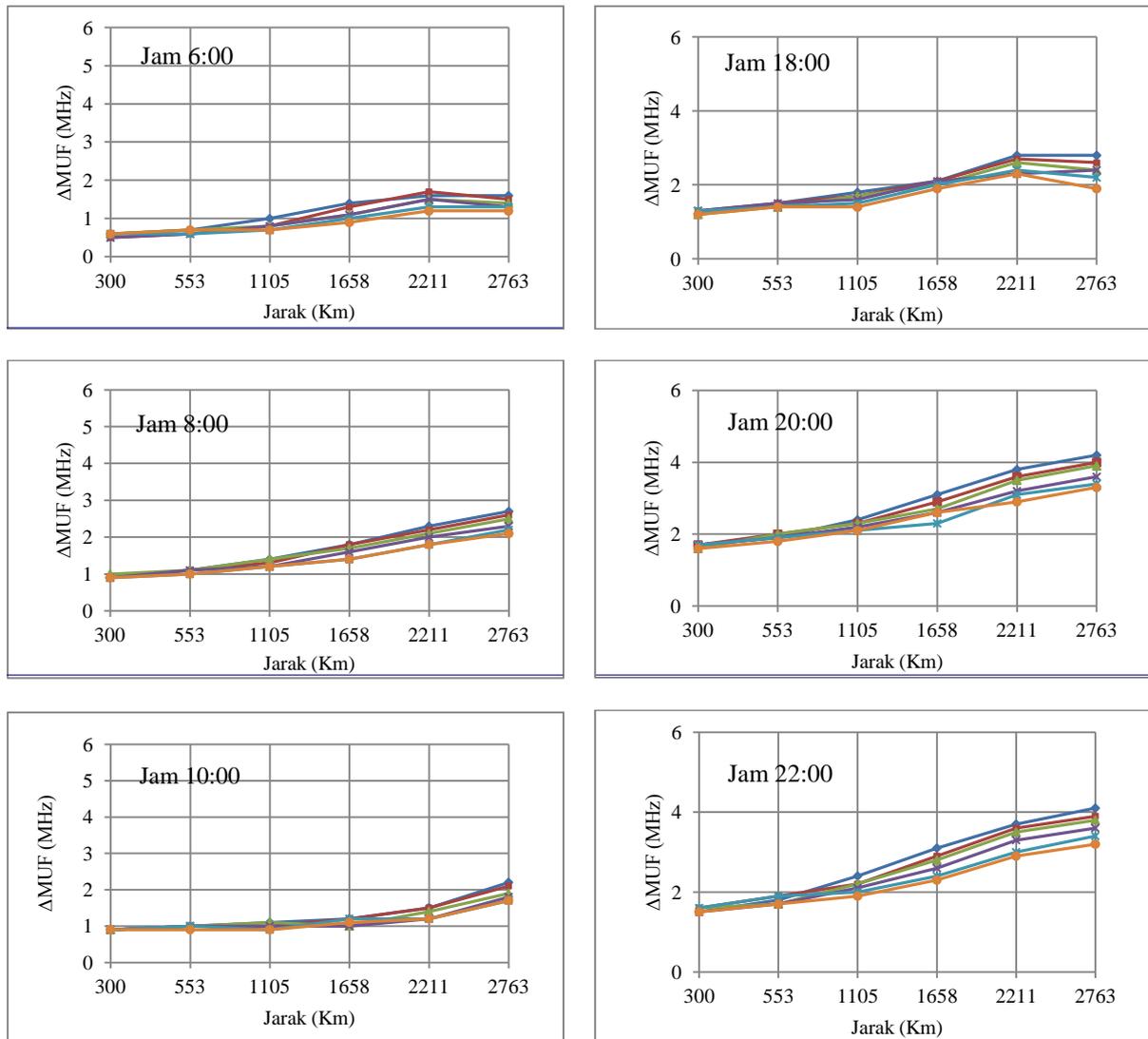
Gambar 3-4: ΔMUF_1 - 6 (kiri) dan $\% \Delta MUF$ 1 - 6 (kanan) masing-masing untuk 6 sirkit

Persentase perubahan MUF mempunyai nilai maksimum 28% pada tingkat aktivitas matahari rendah dan berkurang hingga 11% pada tingkat aktivitas matahari tinggi. Pengaruh jarak komunikasi terhadap persentase perubahan MUF ternyata kecil. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3-4 (bagian kanan), dimana pada T yang sama, perbedaan persentase Δ MUF untuk berbagai jarak (sirkuit 1 - 6) tidak signifikan. Hasil ini mengindikasikan bahwa kita dapat menyederhanakan perkiraan perubahan MUF berdasarkan persentase perubahan MUF untuk tingkat aktivitas matahari tertentu tanpa harus memperhitungkan jarak komunikasi.

Perubahan MUF sebagai fungsi jarak dapat dilihat pada Gambar 3-5.

Semakin jauh jarak komunikasi semakin besar Δ MUF untuk jam yang sama, untuk semua kondisi aktivitas matahari (Δ MUF1 sampai Δ MUF6 pada masing-masing jam). Seperti telah dijelaskan di atas, hal ini disebabkan oleh perubahan sudut datang gelombang radio di ionosfer. Ini menunjukkan bahwa dampak perubahan indeks T terhadap perubahan nilai MUF semakin besar apabila jarak komunikasi semakin jauh. Dari Gambar 3-5 juga dapat diketahui bahwa Δ MUF mempunyai nilai tertinggi pada jam 0:00, dengan maksimum sebesar 4,8 MHz pada sirkuit 6 (jarak 2763 Km). Nilai minimum Δ MUF terjadi pada jam 14:00, dengan nilai terendah 0,2 MHz pada sirkuit 4 (jarak 1658 Km).



Gambar 3-5: $\Delta MUF_1 - \Delta MUF_6$ untuk jam yang sama sebagai fungsi jarak

4 KESIMPULAN

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa perubahan MUF lebih besar pada malam hari, dengan puncak sekitar tengah malam. Salah satu faktor penyebabnya adalah penurunan ketinggian lapisan F ionosfer dan penurunan foF_2 pada malam hari. Perubahan MUF untuk kenaikan indeks T sebesar 25 dari tingkat aktivitas matahari rendah (T1) sampai tinggi (T6) menunjukkan pola variasi harian yang sama, sedangkan besarnya perubahan MUF semakin kecil dengan semakin tingginya tingkat aktivitas matahari. Maksimum perubahan pada tingkat aktivitas matahari rendah sebesar 4,8 MHz, sedangkan pada tingkat aktivitas matahari tinggi sebesar 3,7 MHz.

Pengaruh jarak komunikasi terhadap persentase perubahan MUF ternyata kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa perkiraan perubahan MUF dapat dilakukan berdasarkan persentase perubahan MUF untuk tingkat aktivitas matahari tertentu (indeks T tertentu) tanpa harus memperhitungkan jarak komunikasi.

Dampak perubahan indeks T terhadap perubahan nilai MUF semakin besar apabila jarak komunikasi semakin jauh. Hal ini disebabkan oleh perubahan sudut datang gelombang radio di ionosfer. ΔMUF mempunyai nilai tertinggi pada jam 0:00, dengan maksimum sebesar 4,8 MHz pada sirkit 6 (jarak 2763 Km). Nilai minimum ΔMUF terjadi pada jam 14:00, dengan nilai

terendah 0,2 MHz pada sirkit 4 (jarak 1658 Km).

DAFTAR RUJUKAN

- IPS radio and Space Services, 2005. *ASAPS for Windows V5.1 Tutorial*, Department of Industry Tourism and Resources, Australian Government. http://www.ips.gov.au/HF_Systems/1/6, download 2011.
- Jiyo, 2007. *Variasi Lapisan F Ionosfer Indonesia*, Sains Atmosfer & Iklim, Sains Antariksa Serta Pemanfaatannya, Publikasi Ilmiah LAPAN.
- Mc Namara, L. F., 1991. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Saito S. dan Maruyama, T., 2006. *Ionospheric Height Variation Observed By Ionosondes Along Magnetic Meridian And Plasma Bubbles Onsets*, *Annales Geophysics*, 24, 2991-2996, Copernicus GmbH.
- Suhartini, S., Perwitasari, S. dan Nurmali, D, 2012. *Penentuan Indeks Ionosfer "T" Regional*, *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, vol 7 No. 1, Maret 2012. ISSN 1907-0713.

