

KEMAMPUAN PANTUL LAPISAN IONOSFER DI ATAS MANADO BERDASARKAN RENTANG FREKUENSI MINIMUM-MAKSIMUM (REFLECTIVE ABILITY OF THE IONOSPHERE OVER MANADO BASED ON MINIMUM-MAXIMUM FREQUENCY RANGE)

Jiyo

Peneliti Fisika Magnetosferik dan Ionosferik, Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: jiyolpnbdg@yahoo.com

ABSTRACT

This paper discusses the reflective capabilities of the ionosphere layer above Manado based on the minimum-maximum range of frequencies. The data used in collaboration station at Manado-Tomohon (1.34°N, 124.82°E), using CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) conducted during the year 2013. From the research conducted can be disclosed that: (i) diurnal and seasonal (Figure 4-1) variations of the reflective capabilities of the ionosphere over Manado are obtained; (ii) seasonal variation (Figure 4-2 and 4-3) is not exactly follow the changes in the relative position of the sun to the earth, so it is suspected there are other factors, including the dynamics of the neutral atmosphere; (iii) to determine the physical mechanism causing seasonal variations required further research by adding more data; (iv) diurnal and seasonal variation patterns obtained can be used as a initial reference for ionospheric modeling that output can be applied as an input to the frequency management.

Keywords: *Reflective capabilities, Ionosonde, Diurnal variation, Seasonal variation, Ionospheric modeling*

ABSTRAK

Makalah ini membahas tentang kemampuan pantul lapisan ionosfer di atas Manado berdasarkan rentang frekuensi minimum-maksimumnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengamatan di stasiun kerjasama Manado-Tomohon (1,34°LU, 124,82°BT), menggunakan ionosonda *Canadian Advanced Digital Ionosonde* (CADI) yang dilakukan selama tahun 2013. Dari penelitian yang dilakukan ini dapat diungkapkan bahwa: (i) variasi harian (Gambar 4-1) dan musiman kemampuan pantul lapisan ionosfer di atas Manado diketahui; (ii) variasi musiman (Gambar 4-2 dan 4-3) tidak tepat mengikuti perubahan posisi relatif matahari terhadap bumi, sehingga diduga masih terdapat faktor lain, termasuk dinamika atmosfer netral; (iii) untuk mengungkap mekanisme fisis penyebab variasi musiman diperlukan penelitian lanjutan dengan menambahkan data yang lebih banyak; (iv) pola variasi harian dan musiman yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pembuatan model ionosfer yang keluarannya dapat diterapkan untuk manajemen frekuensi.

Kata kunci: *Kemampuan pantul, Ionosonda, Variasi harian, Variasi musiman, Model ionosfer*

1 PENDAHULUAN

Lapisan ionosfer merupakan lapisan yang terbentuk dari kumpulan ion dan elektron dan menempati ruang

pada ketinggian 60 km hingga 1000 km di atas permukaan bumi. Salah satu sifat lapisan ini adalah mampu memantulkan gelombang radio pada

pita *High Frequency* (HF: 3-30 MHz) dan sebagian pita *Very High Frequency* (VHF) yaitu 30 MHz hingga sekitar 50 MHz (VHF-rendah). Kemampuan pantul lapisan ionosfer merupakan informasi yang perlu diketahui oleh operator komunikasi radio yang menggunakan kanal frekuensi pada pita HF dan VHF-rendah.

Analisis tentang kemampuan pantul lapisan ionosfer pada umumnya menggunakan frekuensi maksimum lapisan yang umumnya disebut frekuensi kritis lapisan ionosfer. Rentang frekuensi minimum hingga frekuensi maksimum juga dapat digunakan sebagai perangkat analisis kemampuan pantul lapisan ionosfer, namun pembahasan tentang hal ini masih belum banyak dilakukan. Paling tidak, dalam piranti lunak pengolahan data hasil pengamatan ionosonda tipe IPS71 terdapat fasilitas *Historical Band Available* (HBA) yang menampilkan lebar pita frekuensi minimum hingga maksimum. HBA telah dijadikan materi ulasan kondisi ionosfer regional dalam Buletin Cuaca Antariksa (Mardiani, 2012). Oleh karena itu, penelitian tentang kemampuan pantul lapisan ionosfer berdasarkan rentang frekuensi minimum-maksimum perlu dilakukan.

Dari penelitian ini akan diperoleh gambaran tentang salah satu sifat lapisan ionosfer di suatu lokasi berdasarkan perubahan rentang frekuensi minimum-maksimumnya. Dengan diketahuinya karakteristik ini akan diperoleh peluang pengembangan model ionosfer berdasarkan parameter tersebut.

2 LANDASAN TEORI

Pembentukan terjadi melalui tiga proses yaitu ionisasi, rekombinasi, dan transportasi. Proses ionisasi di lapisan ionosfer dapat berlangsung dengan energi yang sumber utamanya dari matahari. Rekombinasi terjadi ketika partikel bermuatan bertumbukan dengan partikel netral sehingga jumlah elektron berkurang. Perpindahan elektron terjadi

karena pengaruh medan magnet bumi dan angin netral.

Lapisan ionosfer disebut juga lapisan plasma dan parameter fisis yang dijadikan bahan analisis adalah kerapatan elektron (N). Karena elektron yang selalu bergerak, maka parameter fisis lain dari lapisan ionosfer adalah frekuensi (f) yang mempunyai hubungan dengan kerapatan elektron mengikuti persamaan (2-1).

$$f = 9,1\sqrt{N} \quad (2-1)$$

Frekuensi f dalam satuan MHz dan kerapatan elektron, N dalam satuan elektron/m³.

Secara morfologi lapisan ionosfer dibagi menjadi lapisan D (60 km - 90 km), lapisan E (90 km - 110 km), lapisan E -*Sporadis* (110 km - 150 km), lapisan $F1$ (150 km - 200 km), lapisan $F2$ (200 km - 600 km), dan $F3$ (lebih tinggi dari 600 km) (Hunsucker dan Hargreaves, 2003). Dari 6 lapisan tersebut satu lapisan yakni lapisan D mempunyai sifat menyerap energi gelombang radio HF dan VHF-rendah, sedangkan yang lainnya memantulkannya. Radar ionosfer atau radar HF mengamati lapisan ionosfer dengan prinsip pemantulan sehingga yang terdeteksi hanya frekuensi lapisan E , E -*Sporadis*, $F1$, $F2$, dan $F3$, sedangkan lapisan D tidak. Dengan demikian frekuensi maksimum/kritis foE , $foEs$, $foF1$, $foF2$, dan $foF3$ dapat diamati dengan radar ionosfer. Frekuensi minimum ($fmin$) lapisan ionosfer diperoleh dari frekuensi minimum lapisan E pada siang hari dan frekuensi minimum lapisan $F2$ pada malam hari. Nilai $fmin$ ini merupakan frekuensi terendah dari gelombang radio yang tidak diserap oleh lapisan D .

Frekuensi maksimum ditentukan dari nilai $foF2$ atau $foF3$. Pada siang hari jumlah energi matahari yang memasuki lapisan ionosfer lebih besar dibandingkan pada malam hari sehingga selain lapisan $F2$, proses ionisasi juga menghasilkan lapisan $F1.5$ dan $F3$. Jika terjadi lapisan

$F3$, maka nilai $foF2 < foF3$ sehingga frekuensi maksimum ditentukan dari nilai $foF3$. Jika tidak maka nilai maksimum ditentukan dari nilai $foF2$. Pada malam hari energi matahari yang memasuki lapisan ionosfer menurun hanya terjadi $F2$ sehingga frekuensi maksimum ditentukan dari $foF2$.

Jadi rentang frekuensi minimum-maksimum lapisan ionosfer yang ditentukan dengan cara di atas menunjukkan rentang frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer secara keseluruhan. Dengan demikian maka rentang frekuensi minimum-maksimum dapat dijadikan salah satu ukuran kemampuan pantul lapisan ionosfer.

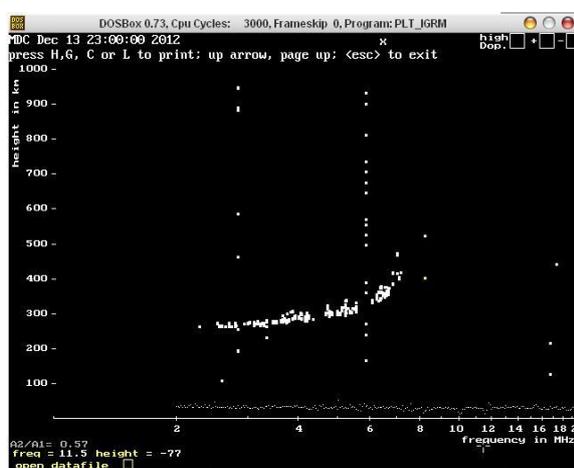
3 DATA DAN METODOLOGI

Dalam penelitian ini, pengamatan ionosfer dilakukan menggunakan ionosonda *Canadian Advanced Digital Ionosonde* (CADI) yang dioperasikan di stasiun kerjasama Manado-Tomohon ($1,34^{\circ}\text{LU}$, $124,82^{\circ}\text{BT}$). Pengamatan dilakukan selama tahun 2013. Prinsipnya, ionosonda memancarkan gelombang radio secara simultan pada rentang frekuensi 2 MHz hingga 22 MHz dengan arah vertikal. Gelombang radio dengan frekuensi sama dengan frekuensi lapisan ionosfer akan

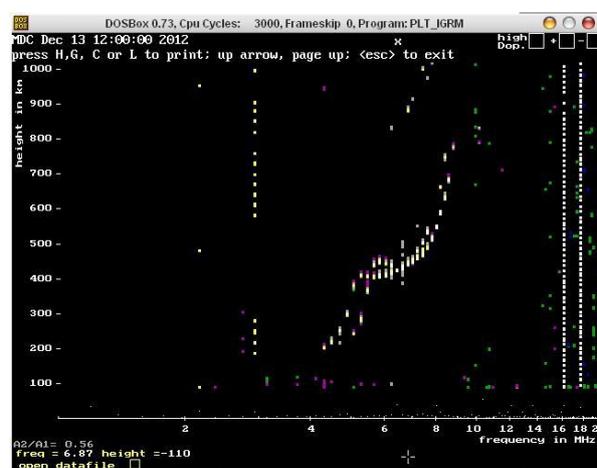
dipantulkan kembali dan diterima oleh ionosonda. Hasilnya direkam dalam bentuk grafik yang disebut *ionogram* yang merupakan data mentah dan perlu pembacaan dan interpretasi lebih lanjut.

Ionogram yang merupakan sebuah grafik yang menyatakan ketinggian semu (sumbu tegak) dan frekuensi (sumbu mendatar) lapisan ionosfer (Gambar 3-1). Ionogram dibaca dan diinterpretasikan menggunakan metode khusus yang disebut *scaling* (Piggott dan Rawer, 1978). Hasil proses *scaling* terhadap sebuah ionogram menghasilkan parameter ketinggian dan frekuensi dari lapisan-lapisan yang merupakan bagian dari lapisan ionosfer (Ristanti et al., 2013). Dari sebuah ionogram dihasilkan lebih dari sepuluh parameter ionosfer, termasuk dua parameter yang digunakan dalam penelitian ini.

Dalam makalah ini kemampuan pantul lapisan ionosfer dinyatakan dalam rentang frekuensi antara f_{min} dan $foF2$. Parameter f_{min} dan $foF2$ adalah frekuensi terendah dan tertinggi gelombang radio yang dipancarkan ionosonda dan dipantulkan oleh lapisan ionosfer, kemudian diterima kembali oleh perangkat tersebut. Artinya, lapisan ionosfer mampu memantulkan gelombang radio dengan frekuensi f_{min} hingga $foF2$.



(a)



(b)

Gambar 3-1: Ionogram hasil pengamatan menggunakan ionosonda CADI: hasil pengamatan malam hari (a) dan siang hari (b)

Gelombang radio dengan frekuensi lebih rendah dari f_{min} atau lebih tinggi $foF2$ tidak dipantulkan. Setiap satu jam pengamatan diperoleh satu pasang nilai f_{min} - $foF2$ sehingga jumlah data satu tahun sangat besar dan akan menyulitkan analisis. Oleh karena itu dalam makalah ini digunakan rentang frekuensi yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta f_{(h,m)} = LD_{(h,m)} - UD_{(h,m)} \quad (3-1)$$

Nilai $\Delta f_{(h,m)}$, $LD_{(h,m)}$, $UD_{(h,m)}$ berturut-turut menyatakan rentang frekuensi, desil bawah (*lower decile*) $foF2$, desil atas (*upper decile*) f_{min} pada pukul h selama bulan m .



Gambar 3-2: Penentuan rentang frekuensi minimum-maksimum lapisan ionosfer

Makna statistik dari $LD_{(h,m)}$ adalah satu nilai yang membagi kejadian (ionogram) dengan nilai $foF2 < LD_{(h,m)}$ sebanyak 10% dan sebaliknya kejadian (ionogram) dengan nilai $foF2 > LD_{(h,m)}$ sebanyak 90%. Karena $foF2$ merupakan *batas atas* rentang frekuensi gelombang radio yang dipantulkan ionosfer, maka peluang terjadinya pemantulan gelombang radio dengan frekuensi $< LD_{(h,m)}$ adalah 90% atau lebih. Sebaliknya makna statistik dari $UD_{(h,m)}$. Karena f_{min} merupakan *batas bawah* rentang frekuensi gelombang radio yang dipantulkan ionosfer, maka peluang terjadinya pemantulan gelombang radio dengan frekuensi $> UD_{(h,m)}$ adalah 90% atau

lebih. Dengan demikian $\Delta f_{(h,m)}$, adalah rentang frekuensi gelombang radio yang mampu dipantulkan oleh lapisan ionosfer dengan peluang 90% atau lebih. Parameter ini yang digunakan untuk menganalisis kemampuan pantul lapisan ionosfer di atas Manado.

4 PEMBAHASAN

Pengolah data hasil pengamatan mulai Januari hingga Desember 2013 menghasilkan variasi harian (*diurnal*) dan variasi musiman (*seasonal*) rentang frekuensi $\Delta f_{(h,m)}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1 dan 4-2. Kemudian secara khusus ditunjukkan variasi musiman $\Delta f_{(h,m)}$ hanya pada rentang waktu pukul 0:00 – 6:00 Waktu Indonesia Tengah (WITA) atau pukul 16:00 – 22:00 Waktu Universal (UT).

Gambar 4-1 menunjukkan bahwa mulai pukul 0:00 WITA $\Delta f_{(h,m)}$ menurun hingga mencapai minimum pada pukul 5:00 WIB, kemudian mulai naik hingga mencapai maksimum pertama pada pukul 8:00 – 9:00 WITA. Pada pukul 10:00 WIT $\Delta f_{(h,m)}$ mulai menurun lagi hingga mencapai minimum kedua pada pukul 12:00 WITA. Jam-jam berikutnya terjadi kenaikan hingga mencapai maksimum kedua pada sekitar pukul 18:00 WITA, kemudian menurun lagi hingga tengah malam. Jadi pola variasi harian rentang frekuensi ionosfer adalah turun 2 kali dan naik 2 kali sehingga dalam sehari memiliki nilai minimum dan maksimum masing-masing 2 kali.

Pola variasi harian yang ditunjukkan oleh Gambar 4-1 menunjukkan perubahan tingkat produksi ion selama 24 jam. Pada rentang waktu tengah malam hingga pagi hari terjadi penurunan jumlah elektron sehingga nilai $foF2$ juga menurun. Sementara itu, nilai f_{min} mendekati batas frekuensi minimum ionosonda yaitu ~ 2 MHz. Akibatnya nilai $\Delta f_{(h,m)}$ juga menurun dalam rentang waktu tersebut. Kemudian pada rentang pukul 6:00 WITA hingga sekitar pukul 8:00 WITA hingga pukul 9:00 WITA terjadi

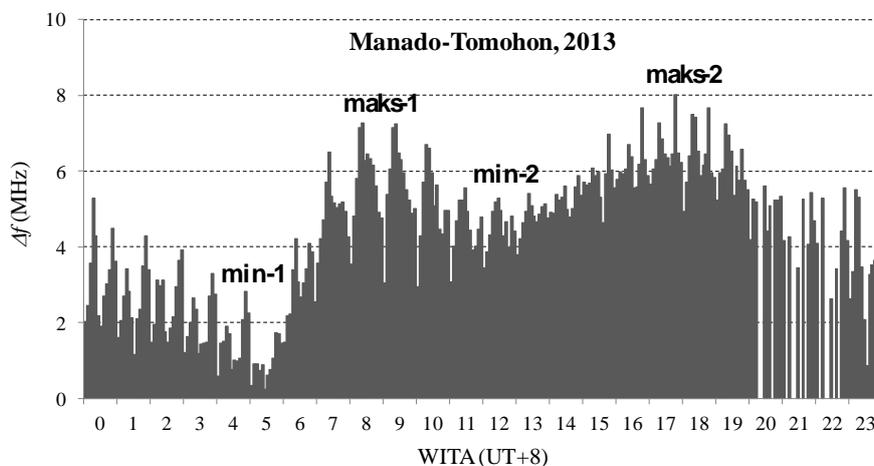
kenaikan intensitas energi matahari yang memasuki lapisan ionosfer sehingga meningkatkan ionosasi. Lapisan *F* yang lebih tinggi memberikan respon lebih awal dibandingkan lapisan *D* yang lebih rendah. Sebagai akibatnya terjadi kenaikan nilai $foF2$ lebih cepat dibandingkan naiknya nilai $fmin$, sehingga $\Delta f_{(h,m)}$ naik.

Selang waktu berikutnya terjadi peningkatan ionisasi lapisan *D* yang menyebabkan peningkatan absorpsi terhadap gelombang radio, terutama frekuensi HF yang rendah, sehingga nilai $fmin$ naik. Pada saat yang sama ionisasi di lapisan *F* mendekati tingkat maksimum sehingga kenaikan $foF2$ tidak sebesar selang waktu sebelumnya. Akibatnya nilai $\Delta f_{(h,m)}$ turun dan mencapai minimumnya sekitar pukul 12:00 WITA hingga pukul 13:00 WITA.

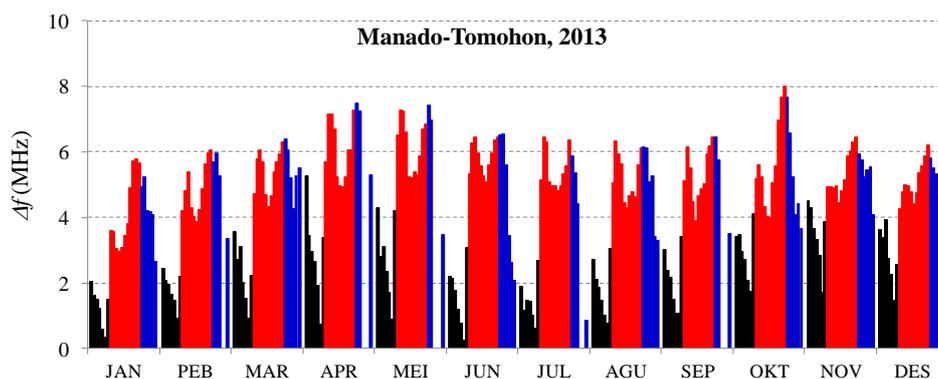
Pada selang waktu pukul 13:00 WITA hingga menjelang matahari terbenam ionisasi di lapisan *F* telah

mencapai titik jenuh dan cenderung menurun sehingga nilai $foF2$ juga lebih konstan dan cenderung turun. Sementara itu, setelah tengah hari ionisasi di lapisan *D* cenderung turun sehingga $fmin$ turun. Hal demikian menyebabkan kenaikan $\Delta f_{(h,m)}$ meskipun tidak setajam kenaikannya pada pagi hari (pukul 6:00 – 9:00 WITA). Selepas pukul 18:00 WITA hingga tengah malam ionisasi di lapisan *F* menurun sehingga $foF2$ juga menurun. Pada rentang waktu yang sama $fmin$ cenderung tetap sehingga terjadi penurunan $\Delta f_{(h,m)}$.

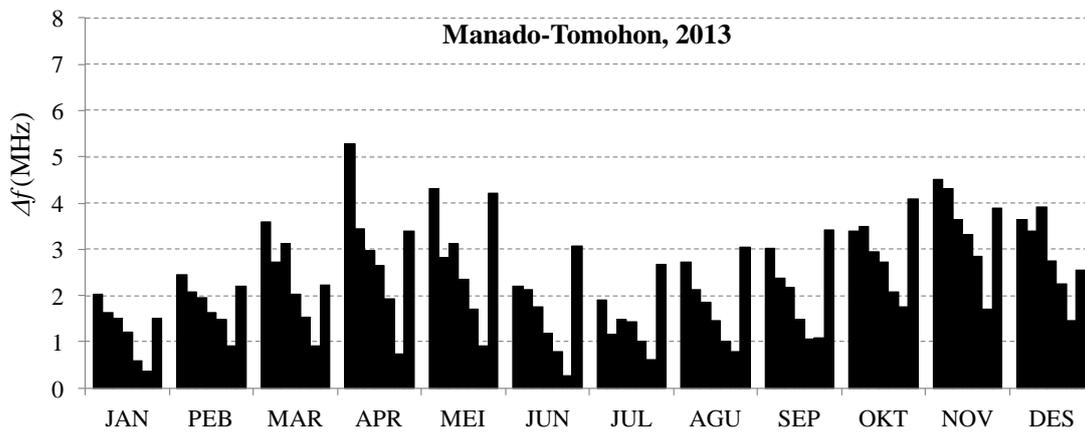
Berikutnya Gambar 4-2 menunjukkan variasi $\Delta f_{(h,m)}$ selama tahun 2013. Secara samar variasi musiman terlihat pada gambar tersebut. Pola $\Delta f_{(h,m)}$ untuk siang hari (pukul 6:00 – 18:00 WITA) dan malam hari (pukul 18:00 – 0:00 WITA) kurang jelas, tetapi pada dini hari (pukul 0:00 – 6:00 WITA) pola variasi musiman sangat jelas (Gambar 4-3).



Gambar 4-1: Variasi harian Δf lapisan ionosfer di atas Manado selama 2013



Gambar 4-2: Variasi musiman Δf ionosfer di atas Manado selama 2013



Gambar 4-3: Variasi musiman Δf di atas Manado pada rentang waktu pukul 00:00 WITA hingga pukul 06:00 WITA, sepanjang tahun 2013

Untuk rentang waktu siang - malam hari (merah dan biru), nilai maksimum $\Delta f_{(h,m)}$ terjadi pada bulan April dan Oktober dan minimumnya terjadi pada bulan Januari dan Juli. Maksimum pertama terjadi bulan April dan kemudian sedikit menurun pada bulan-bulan berikutnya hingga bulan Agustus dan September. Maksimum ke-2 terjadi pada bulan Oktober diikuti penurunan pada bulan November dan Desember. Pola ini bergeser 1 bulan dari pola yang lazim yaitu maksimum pada bulan Maret dan September. Pergeseran satu bulan ini selain disebabkan oleh posisi relatif matahari terhadap ionosfer di atas Manado, kemungkinan juga sekaligus akibat faktor lain yang sifatnya lokal. Hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data yang lebih banyak.

Pada dini hari selama setahun terjadi kenaikan dan penurunan $\Delta f_{(h,m)}$ sehingga mencapai maksimum pada April dan November. Sementara itu nilai minimumnya terjadi pada bulan Januari dan Juli. Pola ini nampaknya juga mengikuti perubahan posisi matahari relatif terhadap Bumi sebagai akibat perputaran bumi mengelilingi matahari. Pada bulan April posisi matahari di belahan bumi utara tetapi masih lebih dekat ke ekuator geografis. Yang tidak lazim adalah maksimum ke-2 pada bulan November. Kemungkinan terdapat faktor lain yang sumbernya bukan dari matahari, seperti misalnya pengaruh

dinamika atmosfer netral. Untuk mengungkap mekanisme fisis tentang ini masih diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data yang lebih banyak.

Meskipun penyebabnya masih perlu diteliti lebih lanjut, namun dari analisis terhadap perubahan $\Delta f_{(h,m)}$ selama tahun 2013 diperoleh pola variasi harian dan musiman. Pola ini dapat menjadi dasar pembuatan model lapisan ionosfer di atas Manado khususnya dan ionosfer regional pada umumnya. Informasi tentang rentang frekuensi $\Delta f_{(h,m)}$ dapat digunakan untuk mengetahui jumlah kanal frekuensi HF yang dapat digunakan dalam sehari selama setahun. Dengan demikian informasi rentang frekuensi minimum-maksimum lapisan ionosfer ini dapat dijadikan rujukan dalam manajemen kanal frekuensi termasuk penjadwalan penggunaannya.

5 KESIMPULAN

Dari pembahasan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut: (i) berdasarkan rentang frekuensi minimum-maksimumnya, dapat diketahui variasi harian (Gambar 4-1) dan musiman (Gambar 4-2 dan 4-3) kemampuan pantul lapisan ionosfer di atas Manado; (ii) variasi musiman tidak tepat mengikuti perubahan posisi relatif matahari terhadap bumi sehingga diduga terdapat faktor lain, termasuk dinamika atmosfer netral; (iii) untuk

mengungkap mekanisme fisis penyebab variasi musiman diperlukan penelitian lanjutan dengan menambahkan data yang lebih banyak; (iv) pola variasi harian dan musiman yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pembuatan model yang keluarannya dapat diterapkan untuk manajemen frekuensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada koordinator dan operator ionosonda di stasiun kerjasama Manado-Tomohon yang telah menjalankan tugasnya dengan baik sehingga data yang diperlukan dalam makalah ini tersedia. Kemudian ucapan terimakasih juga disampaikan kepada personil interpretasi dan pengolah data ionosfer yang tergabung dalam tim pengembangan Bank Data Ionosfer Regional, yang telah menyediakan data siap dianalisis.

DAFTAR RUJUKAN

Hunsucker, R. D., dan J.K. Hargreaves, 2003. *The High-Latitude*

Ionosphere an its Effects on Radio Propagation, Cambridge University Press, halaman 26 – 39.

Mardiani, A. S., 2012. *HBA Ionosfer dalam rubrik Cuaca Antariksa*, Buletin Cuaca Antariksa, Vol. 1, No. 2, halaman 12.

Piggott, W. R., dan K. Rawer, 1978. *URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction*, Report UAG -23A.

Ristanti, R., G. Wikantho, E. H. Hidayat, 2013¹). *Buletin Data Ionosfer Stasiun Manado*, Edisi Triwulan I (Januari-Maret).

Ristanti, R., G. Wikantho, E. H. Hidayat, 2013²). *Buletin Data Ionosfer Stasiun Manado*, Edisi Triwulan II (April-Juni).

Ristanti, R., G. Wikantho, E. H. Hidayat, 2013³). *Buletin Data Ionosfer Stasiun Manado*, Edisi Triwulan III (Juli-September).

Ristanti, R., G. Wikantho, E. H. Hidayat, 2013⁴). *Buletin Data Ionosfer Stasiun Manado*, Edisi Triwulan IV (Oktober-Desember).

