

ANALISIS VARIASI FREKUENSI KRITIS DAN KETINGGIAN LAPISAN IONOSFER DI ATAS KUPANG

Husni¹, Ali Warsito², Asnawi Husin²

¹Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kota Kupang, 8511, Indonesia

²Pusat Sains dan Antariksa, LAPAN Bandung, Indonesia

Email : husnimahmud67@gmail.com

ABSTRACT

The ionospheric critical frequency (foF2) and the F2 layer height (h'F2) variation over Kupang during 2014 period unchanged varied where it is dependent on solar activity, the higher the level of solar activity the higher the level of variation in foF2 and h'F2, conversely the lower level of sun activity diminishing the level of variation foF2 and h'F2. Increasing the value of the average foF2 occurred at 07:00 pm reaching it's maximum at noon and 12:00 to 14:00 pm followed by impairment foF2 at night, which reached it's minimum at morning 5:00 to 6:00 pm. During 2014, the altitude of the F2 has three patterns different upgrade, (1) an increase in height on the hour midday as happened in January-April, (2) an increase in the hours of midnight until before sunrise, hours noon and afternoon until the evening occurred in May-August (3) an increase in the hours of midnight until near sunrise and midday hours as in September-December. In the media utilization as reflected waves of high frequency radio communications (HF), characteristics of the ionosphere above Kupang during 2014, has the ability to reflect high frequency waves that are in the range of 2 - 19.2 MHz with a height that is in the range 179-550 Km. Will lead to high frequency radio communication failure, when using a frequency of greater or smaller than the frequency that can work.

Keywords: solar activity, the critical frequency of F2, F2 layer heights, radio communications, high frequency.

ABSTRAK

Variasi perubahan frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) dan ketinggian lapisan F2 (h'F2) di atas Kupang selama tahun 2014 mengalami perubahan yang bervariasi dimana hal ini bergantung pada aktivitas matahari, semakin tinggi tingkat aktivitas matahari semakin tinggi pula tingkat variasi pada foF2 dan h'F2, sebaliknya semakin rendah tingkat aktivitas matahari semakin berkurang pula tingkat variasi foF2 dan h'F2. Peningkatan nilai foF2 rata-rata terjadi pada pukul 07.00 WITA mencapai maksimumnya pada pukul 12.00-14.00 WITA siang hari dan diikuti dengan penurunan nilai foF2 pada malam hari yang mencapai minimumnya pada pukul 05.00-06.00 WITA pagi. Selama tahun 2014, ketinggian lapisan F2 memiliki tiga pola peningkatan yang berbeda, (1) peningkatan ketinggian pada jam tengah hari seperti yang terjadi pada bulan Januari – April, (2) peningkatan pada jam tengah malam hingga menjelang matahari terbit, jam-jam tengah hari dan sore hingga malam hari terjadi pada bulan Mei – Agustus (3) peningkatan pada pada jam tengah malam hingga menjelang matahari terbit dan jam-jam tengah hari seperti pada bulan September – Desember. Dalam pemanfaatannya sebagai media pantul gelombang komunikasi radio frekuensi tinggi (HF), karakteristik ionosfer di atas Kupang selama tahun 2014, memiliki kemampuan memantulkan gelombang frekuensi tinggi berada pada rentang 2-19.2 MHz dengan ketinggian yang berada pada rentang 179 – 550 Km. Akan mengakibatkan gagalnya komunikasi radio frekuensi tinggi, apabila menggunakan frekuensi lebih besar atau lebih kecil dari frekuensi yang dapat bekerja tersebut.

Kata Kunci : Aktivitas matahari, Frekuensi kritis F2, ketinggian lapisan F2, komunikasi radio, frekuensi tinggi.

PENDAHULUAN

Cuaca antariksa merupakan suatu fenomena yang terjadi diruang angkasa. Tidak seperti cuaca yang sering kita rasakan dibumi, cuaca antariksa terkait adanya aktivitas matahari seperti adanya peristiwa lontaran massa korona yaitu peristiwa terlontarnya berjuta ton partikel berenergi tinggi, sinar radiasi (x-ray, gamma ray dan UV) serta energi-energi lainnya. Penyebab utama selain aktivitas

matahari adalah adanya sisa-sisa energi dari ledakan supernova atau lainnya. Cuaca antariksa dapat mempengaruhi kestabilan alam dibumi, ketika partikel berenergi tinggi sampai kebumi akan berinteraksi dengan atmosfer atas sehingga menyebabkan perubahan kerapatan massa yang bermuatan diatmosfer bumi terutama pada bagian ionosfer, akibatnya dapat menyebabkan gangguan sistem komunikasi

radio, navigasi satelit yang memanfaatkan ionosfer sebagai medium rambatnya

Ionosfer merupakan lapisan atas bumi yang berada pada ketinggian pada 60 km sampai dengan 1000 km yang mengalami proses fotoionisasi oleh ultraviolet (ionisasi oleh cahaya). Lapisan ini berisi ion-ion positif dan elektron ionosfer yang berada di atas lintang khatulistiwa perubahannya sangat dinamis sehingga dapat menimbulkan gangguan serius bagi komunikasi dan system navigasi. Pemahaman yang tepat tentang dinamika ionosfer dari berbagai aspek seperti karakterisasi, penyebab mekanisme, dan prediksi memiliki prioritas dalam komunitas sains.

Mengingat keberadaan ionosfer sangat penting bagi kelancaran komunikasi radio di bumi, maka penelitian dalam bidang ionosfer terus dilakukan yang diimbangi dengan menyediakan alat-alat yang mendukung proses penelitian. Perbedaan ketinggian tiap-tiap lapisan ionosfer menjadi parameter penting untuk melakukan komunikasi menggunakan radio HF (*High Frequency*), karena setiap ketinggian lapisan ionosfer bertanggung jawab mentransmisikan informasi dan sebagai parameter untuk menentukan dan menghitung frekuensi yang sesuai dengan karakteristik frekuensi yang dapat dipantulkan ionosfer sehingga kita perlu mengetahui lebih mengenai karakteristik ketinggian lapisan ionosfer. Tulisan ini akan membahas mengenai variasi frekuensi kritis (f_oF_2) dan ketinggian lapisan F2($h'F_2$) ionosfer di atas Kupang untuk periode tahun 2014. Analisis variasi kedua parameter tersebut dikaitkan dengan frekuensi maksimum yang dapat digunakan untuk komunikasi radio HF di daerah Kupang untuk periode tersebut terhadap komunikasi radio.

TINJAUAN PUSTAKA

Cuaca antariksa meliputi aktivitas matahari, keadaan ruang antar planet (angin surya), magnetosfer, termosfer dan ionosfer dengan matahari sebagai penggerak utamanya, peningkatan aktivitas matahari secara umum akan mengakibatkan peningkatan kondisi cuaca antariksa yang dapat mengganggu kesehatan bahkan keselamatan manusia[4].

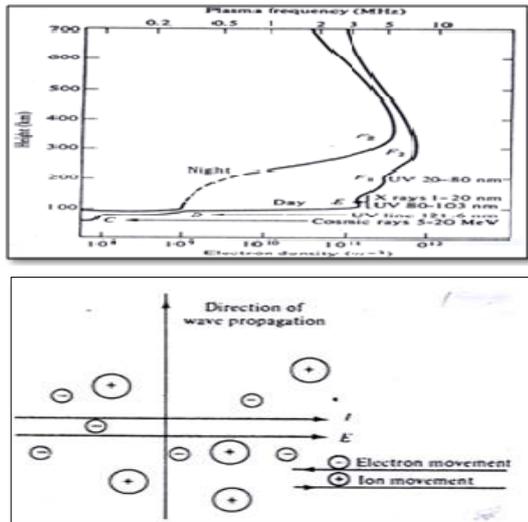
Faktor penting terhadap perubahan cuaca antariksa adalah adanya aktivitas matahari seperti *Coronal Mass Ejected* (CME) dan Flare.

CME dan Flare merupakan aktivitas matahari yang melontarkan berjuta-ton partikel berenergi tinggi keruang angkasa, sinar radiasi, dan energi-energi lainnya yang mampu mempengaruhi kondisi ruang angkasa. Beberapa hal yang rentan terhadap pengaruh perubahan ekstrem cuaca antariksa adalah sebagai berikut [1]:

1. Peningkatan partikel berenergi tinggi di magnetosfer akan mengganggu sistem elektronis dari satelit dan mengganggu orbitnya
2. Astronot akan mengalami resiko radiasi lebih tinggi
3. Proton dari matahari akan membahayakan penumpang pesawat yang terbang tinggi dalam penerbangan jarak jauh
4. Selama badai ionosfer komunikasi radio akan kena dampaknya berupa *blackout* yaitu penyerapan energi gelombang radio di lapisan D akibat peningkatan kerapatan elektron sehingga terjadi pelemahan sinyal
5. Sistem navigasi juga akan terkena dampaknya seperti terjadi kesalahan penentuan posisi menggunakan GPS
6. Badai magnetik, sebagai bagian dari badai antariksa, berbahaya terhadap peralatan transmisi elektrik
7. Jaringan pipa pada saat badai magnetik akan mempengaruhi aliran bahan bakar dan mempercepat korosi
8. Terjadi kesalahan dalam pengamatan geologi yang menggunakan nilai medan magnetik bumi
9. Badai magnetik juga akan mempengaruhi sistem navigasi makhluk hidup seperti rasi pada burung dan ikan paus.

Frekuensi Plasma dan Frekuensi Kritis (f_o)

Jika suatu signal yang ditransmisikan atau gelombang elektromagnetik yang memasuki daerah ionisasi (daerah ionosfer yang mendapat energi dari sinar matahari) secara vertikal seperti yang ditunjukkan pada gambar (1), maka signal tersebut akan mengalami keterlambatan (*delay*), sehingga waktu tiba signal pada *receiver* di bumi saat dipantulkan kembali dari lapisan ionosfer akan tertunda.



Gambar 1. Kerapatan elektron (a) dan medan magnet lapisan ionosfer (b) [7].

Gambar (1 b) menjelaskan bagaimana medan listrik yang berasal dari matahari bertindak sebagai energi pada muatan partikel (elektron dan ion) yang menghasilkan perpindahan muatan dan juga menghasilkan arus. Meskipun ion positif akan membawa muatan yang sama besar dengan muatan elektron, hal ini akan membuat 1000 kali lebih besar. Dengan demikian kecepatan signal akan menjadi lebih kecil.

Propagasi Gelombang Radio Dalam Lapisan Ionosfer

Dalam komunikasi radio HF, perambatan gelombang radio yang umumnya digunakan adalah propagasi atau perambatan angkasa (*skywave*), sehingga keberhasilan komunikasi menggunakan perambatan angkasa sangat dipengaruhi oleh kondisi lapisan ionosfer. Kondisi lapisan ionosfer yang dinamis dapat mempengaruhi rentang frekuensi kerja yang dapat digunakan pada suatu sirkuit komunikasi. Besarnya rentang frekuensi kerja dapat ditentukan oleh parameter kondisi lapisan ionosfer berupa frekuensi kritis (fo), ketinggian lapisan ionosfer (h'F) serta jarak sirkuit komunikasi yang digunakan. Untuk dapat mengetahui frekuensi radio yang dapat bekerja dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [6].

$$MUF = \frac{fc\sqrt{1/4 d^2 + h^2}}{h} \quad (1)$$

Dengan:

MUF = Maksimum frekuensi yang dapat digunakan (MHz)

f_c = frekuensi kritis (Hz)

h = Ketinggian lapisan F (Km)

d = jarak antar sirkuit komunikasi (Km)

CADI dan Pemantulan Ionosfer

Canada Advanced Digital ionosonde (CADI) adalah ionosonde digital modern. Sebuah ionosonde adalah radar khusus untuk mempelajari bagian ionosfer dari atas atmosfer bumi (ionosfer). Ionosonde bekerja pada prinsip refleksi gelombang radio. Prinsip utama CADI adalah memancarkan gelombang radio HF (3-30 MHz) arah vertikal secara simultan, selanjutnya gelombang tersebut akan mengalami pemantulan pada lapisan ionosfer pada ketinggian 100-500 km dan gelombang yang kembali akan ditangkap oleh penerima sinyal (*Receiver*) dan diolah dibagian pengolah atau pengontrol sistem dan hasilnya akan ditampilkan sebagai karakteristik dan kondisi ionosfer dalam bentuk ionogram. Kemudian ionogram tersebut diinterpretasi menggunakan metode scaling, hasil scaling dari ionogram tersebut adalah parameter lapisan-lapisan ionosfer yaitu foE, h'E, foEs, h'Es, foF1, h'F1, foF2, foF3 dan h'F3 [2].

Jalur gelombang radio dipengaruhi oleh muatan bebas didalam media perambatan (lapisan ionosfer). Indeks bias pada lapisan pemantul sangat bergantung dan diatur oleh konsentrasi elektron dan medan magnet dari media dan frekuensi serta polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan. Hal ini dapat menjadi beberapa parameter penting untuk mempelajari penjalaran gelombang radio di ionosfer yaitu sebagai berikut:

- Indeks bias sebanding dengan konsentrasi elektron .
- Indeks bias berbanding terbalik dengan frekuensi gelombang yang ditransmisikan .
- Ada dua jalur sinyal yang tergantung pada polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan, ini diakibatkan oleh medan magnet.

Sebuah ionosonde dapat memancarkan semua frekuensi mulai dari kisaran 0,1 hingga 30 MHz. Dengan adanya peningkatan frekuensi, setiap sinyal gelombang yang dibiarkan direduksi oleh lapisan ionosasi sehingga gelombang tersebut sebagian akan menembus lapisan dan sebagian lagi akan

mengalami pemantulan. Sinyal frekuensi yang dipancarkan oleh ionosonda disebut sebagai ionogram. Sebagai gelombang yang memiliki titik pemantulan, kecepatan group yang mendekati nol dan mengalami peningkatan waktu penjalaran sinyal. Maka, frekuensi gelombang yang mencapai bidang batas akan menembus lapisan tanpa mengalami peristiwa pemantulan.

DATA DAN METODE PENELITIAN DATA

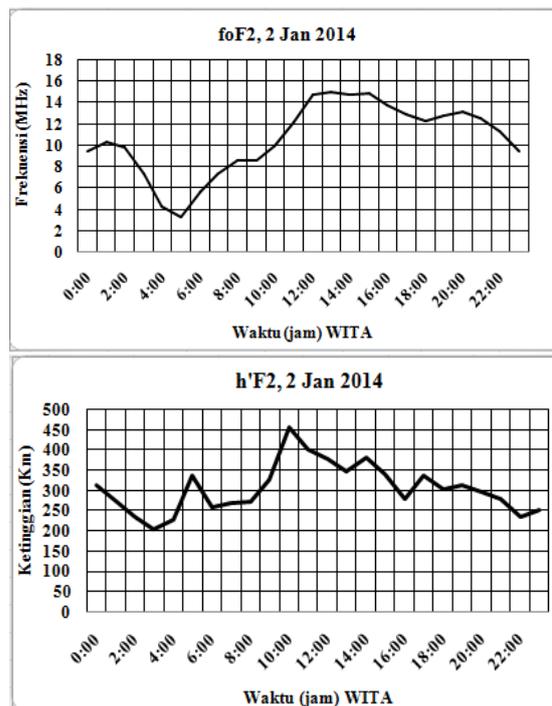
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil rekaman CADI LAPAN yang terpasang di dalam Laboratorium Fisika FST Undana di Kupang. Data yang digunakan untuk menganalisis variasi frekuensi kritis ionosfer (foF2) dan ketinggian lapisan ionosfer (h'F2) adalah data tahun 2014.

METODE

Analisis data dilakukan untuk mendapatkan pola variasi frekuensi kritis dan variasi ketinggian lapisan ionosfer, yaitu variasi harian dan bulanan serta median bulanan. Dari analisis variasi tersebut akan diperoleh gambaran pengaruh matahari terhadap bumi. Dari analisis variasi harian tersebut dapat dilihat tingkat variasinya per jam selama 24 jam. Terhadap variasi bulanan dapat dilihat pola variasi per jam per hari dalam sebulan. Sedangkan dalam variasi median bulanan yang menggambarkan kondisi tenang ionosfer tanpa gangguan per jam per hari per bulan dalam setahun.

Hasil dan Pembahasan Variasi harian foF2 dan h'F2

Variasi harian menunjukkan perubahan parameter ionosfer yaitu frekuensi kritis (foF2) dan ketinggian lapisan ionosfer (h'F) dalam satu hari pengamatan. Dari variasi harian ini akan diperoleh informasi berapa nilai tertinggi dan terendah serta evolusi perubahan setiap jam dalam satu hari pengamatan. Dengan melihat variasi foF2 dan h'F2 kita bisa menentukan frekuensi yang menjadi rujukan yang dapat digunakan untuk melakukan komunikasi radio, yang mana lapisan pemantul F2 ionosfer merupakan unsur terpenting dalam keberhasilan komunikasi radio yang efisien.



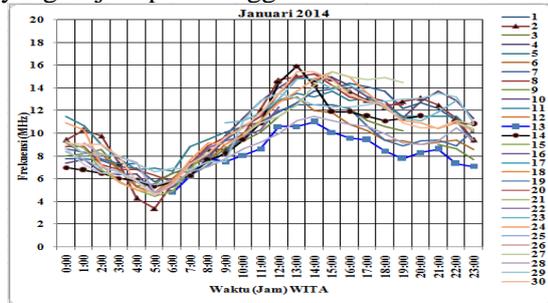
Gambar 2. Variasi harian foF2 (a) dan h'F2 (b) pada tanggal 2 Januari 2014

Dari gambar 2 terlihat variasi harian foF2 dan h'F2 selama 24 jam satu hari pengamatan. Tampak dalam grafik menunjukkan bahwa pola grafiknya naik turun yang membentuk pola yang tidak konstan. Perbedaan nilai frekuensi kritis dan ketinggian lapisan setiap jam dapat mempengaruhi komunikasi radio. Pada gambar 2 (a), frekuensi kritis mengalami peningkatan terlihat dari pukul 06.00 WITA dan mencapai puncaknya pada pukul 13.00 WITA yaitu 15 MHz, selanjutnya pada pukul berikutnya frekuensinya mulai menurun secara perlahan mengikuti kurangnya energi radiasi dari matahari terhadap lapisan ionosfer bumi. Sedangkan gambar 2 (b) menggambarkan kondisi ketinggian lapisan ionosfer yang mana pola kenaikan grafiknya terjadi secara fluktuatif yang terjadi setiap beberapa jam. Terjadinya ketinggian maksimum pada lapisan ionosfer terjadi pada pukul 10.00 WITA mencapai ketinggian 456 Km.

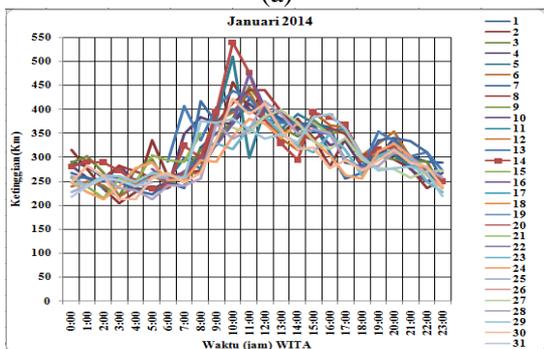
Variasi Bulanan foF2 dan h'F2

Gambar 3 (a) adalah contoh hasil variasi frekuensi kritis lapisan F2 selama satu bulan pengamatan pada bulan Januari, tampaknya pada tanggal 14 terjadi kenaikan nilai frekuensi kritis yang maksimum berada pada rentang 15.9 MHz. Sementara itu terjadi pula penurunan

nilai frekuensi kritis pada hari kedua, dengan penurunan nilai frekuensinya mencapai 3.36 MHz yang terjadi pada pukul 05.00 WITA pagi hari. Selain itu, kondisi variasi harian foF2 mengalami peningkatan pada beberapa hari diakhir bulan namun peningkatan frekuensi tersebut masih dibawah frekuensi maksimum yang terjadi pada tanggal 14.



(a)



(b)

Gambar 3. Variasi harian foF2 dan h'F2 selama satu bulan pengamatan pada bulan Januari tahun 2014

Pada gambar 3 (b) menggambarkan variasi nilai ketinggian lapisan F2 selama satu bulan penuh pengamatan, tingginya aktivitas ionisasi terlihat sangat mempengaruhi kondisi ketinggian lapisan F2 sejak awal bulan, sehingga variasi ketinggian selama satu bulan selalu berubah bergantian naik turun yang terlihat sejak awal-awal bulan, dan terlihat terjadi penurunan ketinggian yang maksimum mencapai 205 Km di hari kedua pada pukul 03.00 WITA pagi dan pada pertengahan bulan pada hari keempat belas, lapisan F2 mengalami peningkatan yang maksimum mencapai ketinggian 540 Km pada pukul 10.00 WITA menjelang tengah hari. Terjadinya peningkatan dan penurunan ketinggian lapisan F2 terlihat mendominasi variasi harian selama satu bulan pengamatan apabila dibandingkan dengan kondisi tenangnya (median).

Warna pada garis grafik bukan menunjukkan peristiwa yang penting selama proses pengamatan, warna tersebut menggambarkan atau menunjukkan hari selama satu bulan pengamatan ionosfer.

Variasi Median Bulanan foF2 dan h'F2 di Atas Kupang

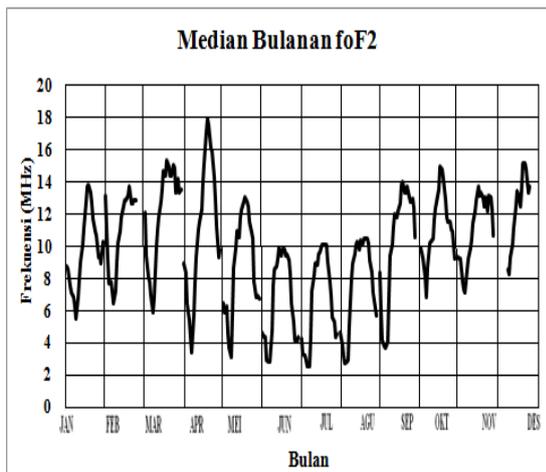
Frekuensi kritis lapisan ionosfer mempunyai pola variasi harian, dengan nilai frekuensi yang berubah setiap harinya serta mempunyai batas tertinggi dan batas terendah dalam setiap bulan. Untuk melihat kondisi tenang pada setiap bulannya, maka nilai median bulanan merupakan nilai yang menggambarkan kondisi ionosfer tanpa gangguan pada setiap bulannya. Dalam Tabel 1 memberikan nilai median foF2 dan h'F2 pada tahun 2014.

Tabel 1..nilai maks. dan min. foF2 dan h'F2

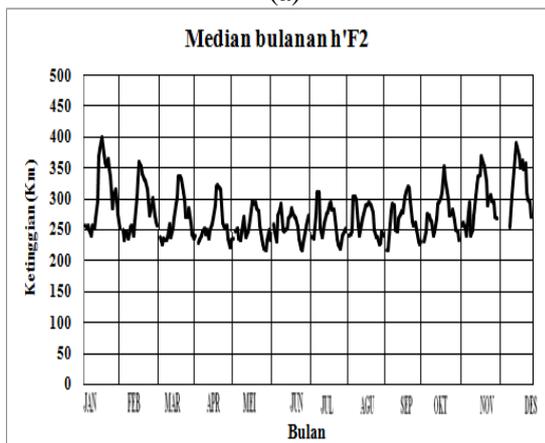
Bulan	Frekuensi kritis (foF2)	
	Maksimum	Minimum
Januari	13.85 MHz	5.54 MHz
Februari	13.7 MHz	6.43 MHz
Maret	15.05 MHz	5.85 MHz
April	17.95 MHz	3.40 MHz
Mei	13.05 MHz	3.66 MHz
Juni	9.57 MHz	2.84 MHz
Juli	10.105 MHz	2.54 MHz
Agustus	10.15 MHz	2.8 MHz
September	14.05 MHz	3.73 MHz
Oktober	15 MHz	6.8 MHz
November	13.7 MHz	7.16 MHz
Desember	15.2 MHz	8.3 MHz
Bulan	Ketinggian (h'F2)	
	Maksimum	Minimum
Januari	395 Km	241 Km
Februari	357 Km	231 Km
Maret	336 Km	234 Km
April	320 Km	231 Km
Mei	291.5 Km	218 Km
Juni	283 Km	218 Km
Juli	311 Km	220 Km
Agustus	312 Km	226 Km
September	320 Km	218 Km
Oktober	354 Km	231 Km
November	370 Km	241 km
Desember	391 Km	255 Km

Dari tabel 1 yang menunjukkan nilai median foF2 dan h'F2 yang maksimum dan

minimum. Apabila nilai median selama satu bulan diplotting maka akan memberikan pola grafik median bulanan seperti pada gambar 4.. Dalam grafik pada gambar 4 (a) dan 4 (b) terlihat pada bulan-bulan di awal tahun (Maret –April) dan di akhir tahun (September-Oktober) nilai median nya terbilang cukup tinggi di banding bulan-bulan pertengahan tahun, hal ini disebabkan adanya fenomena equinox. dimana posisi matahari berada tepat di atas ekuator bumi dan penyinaran terhadap bumi terjadi secara merata pada wilayah di garis ekuator. Pada bulan Maret terjadinya perpindahan posisi matahari dari belahan bumi selatan ke belahan bumi utara. Sedangkan pada bulan September matahari bergeser dari belahan bumi utara ke belahan bumi selatan.



(a)



(b)

Gambar 4. Median Bulanan foF2 dan h'F2 tahun 2014

Dampak Pada Komunikasi Radio HF (High Frequency)

Terkait dengan komunikasi radio frekuensi tinggi, tiga hal yang harus perlu

diperhatikan agar komunikasi bisa berjalan dengan baik yaitu frekuensi kritis lapisan F2 (foF2), ketinggian lapisan F2 (h'F2) dan jarak antar stasiun komunikasi (*d*). Karena ketiga hal ini sangat berperan dalam menentukan keberhasilan komunikasi radio frekuensi tinggi (3 – 30 MHz). Untuk menghitung frekuensi yang bisa digunakan dalam komunikasi yang bisa direpresentasikan dengan nilai MUF maka bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Sebagai contoh, penggunaan frekuensi MUF selama satu jam pada tanggal 2 Januari 2014 pukul 13.00 WITA siang dengan jarak komunikasi Kupang-Denpasar (936 Km) Kemudian perhitungan persamaan 1 adalah sebagai berikut

$$MUF = \frac{fc \sqrt{\frac{1}{4} d^2 + h^2}}{h}$$

$$MUF = 15 \frac{\sqrt{\frac{1}{4} 936^2 + 349^2}}{349}$$

$$MUF = 15 \frac{\sqrt{340825}}{349}$$

$$MUF = 15 \frac{(583.5)}{349}$$

$$MUF = 25 \text{ MHz}$$

Jadi, pada tanggal 2 Januari nilai frekuensi yang dapat digunakan untuk melakukan komunikasi radio adalah 25 MHz.

Karena pada siang hari frekuensi kritis lebih tinggi dari pada malam hari, maka nilai frekuensi maksimum (MUF) komunikasi radio pada siang hari juga lebih tinggi dari pada malam hari [3]. Tingginya nilai frekuensi yang dapat bekerja (MUF) karena dipengaruhi oleh besarnya nilai frekuensi kritis yang didapat dan jarak antar 2 titik sirkit komunikasi radio (pengguna radio) sehingga penggunaan frekuensi MUF tidak mungkin dapat dilakukan secara terus menerus tapi bergantung dari besarnya nilai frekuensi kritis dan jarak pengguna komunikasi radio. Jika terjadi penurunan nilai foF2, maka akan berakibat pada komunikasi radio HF dimana penurunan ini berarti frekuensi yang dapat bekerja (MUF) juga akan mengalami penurunan [5].

Antara kerapatan elektron dan frekuensi kritis yang diamati memiliki keterkaitan dimana dipuncak terjadinya frekuensi kritis merupakan batas maksimum yang mana kerapatan elektron mampu memantulkan kembali frekuensi yang dipancarkan kepenerima di Bumi sehingga nilai

foF2 merupakan indikator menentukan kerapatan elektron. Oleh [5] Untuk menghitung tingkat kerapatan elektron kita bisa menggunakan persamaan di bawah ini

$$f_c = 9 \cdot \sqrt{N} \quad (2)$$

Misalkan kita ambil contoh nilai frekuensi kritis pada tanggal 14 Mei 2014 yang mengalami kenaikan frekuensi pada pukul 14.00 WITA yang mencapai 17.4 MHz

$$\begin{aligned} f_c &= 9 \cdot \sqrt{N} \\ N &= (f_c / 9)^2 \\ N &= \frac{3028 \times 10^{12}}{81} \\ &= 3.73 \times 10^{12} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

maka kerapatan elektron pada saat terjadinya fo adalah $3.73 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$.

KESIMPULAN

Pengaruh radiasi matahari terhadap variasi frekuensi kritis ionosfer (foF2) dan ketinggian lapisan ionosfer (h'F2) sangat mendominasi, terlihat dari beberapa grafik yang di analisis berdasarkan variasi harian, variasi bulanan dan variasi median bulanan. Adanya peningkatan dan penurunan grafik tersebut menjadi indikator bahwa penetrasi sinar radiasi matahari telah mempengaruhi kondisi lapisan ionosfer bumi. Untuk kelancaran dan keberhasilan komunikasi radio perlu dilakukan manajemen penggunaan frekuensi, yaitu dipilih berdasarkan waktu dengan nilai yang tepat dengan kanal frekuensi yang digunakan sehingga keberhasilan komunikasi lebih efisien.

SARAN

Perlu dilakukan analisis lebih lanjut yang berkaitan ketinggian lapisan F2 (h'F2), pada kondisi siang hari saat terjadi rekombinasi lapisan dan pada malam hari kondisinya berlawanan yaitu terjadinya kombinasi lapisan F1 dan F2 menjadi lapisan F sehingga dapat ditentukan secara pasti ketinggian lapisan F2 baik pada siang hari pada malam hari setelah terjadinya kombinasi serta perlu adanya analisis lebih lanjut mengenai variasi ketinggian lapisan F2 (h'F2) dan frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) yang dipengaruhi oleh badai geomagnetik dengan data yang lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jiyo, Yatini. 2005. *Pengaruh Badai Antariksa Oktober November 2003 Terhadap Lapisan Ionosfer Dan Komunikasi Radio*. Warta LAPAN. Vol.7 No.3 September 2005:84-92. Pusat Sains Antariksa LAPAN:
2. Jiyo. 2008. *Metode Pembacaan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Menggunakan Ionosonda FMCW*
3. Jiyo. 2009. *Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio dan Sudut Elevasi Antena*. Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara Vol. 4 No. 1 Maret 2009.
4. Martiningrum D.R., Adi P., Fitri N., Johan M., 2012. *Fenomena Cuaca Antariksa Edisi Revisi*. Pusat Sains. Antariksa LAPAN Bandung: CV. ANDIRA
5. Septi P., dan Muslim, B., 2009. *Respon Ionosfer Terhadap Gerhana Matahari 26 Januari 2009 Dari Pengamatan Ionosonda*. Prosiding Seminar Penelitian dan Penerapan MIPA. Fakultas MIPA, UNY, 16 Mei 2009
6. Suhartini, S., 2007. *Lapisan F dan Perambatan Gelombang Radio HF*. Buku Ilmiah LAPAN.
7. <http://www.astrosurf.com/luxorion/Radio/level-ionization.gif> di unduh tanggal 16 Mei 2016.