

# Sudut Elevasi dan MUF pada Sistem Komunikasi Radio HF Lintasan Merauke - Surabaya

Indah Kurniawati<sup>1</sup>

**Abstract**— HF radio which frequency allocations 3-30 MHz is suitable for communication in long distance, wide, separated by oceans and remote area. This system is to be an alternative for a high cost satellite technology, especially Indonesian area where there is no communication system there. In this paper, we discussed long distance HF communication system parameters, namely elevation angle and Maximum Usable Frequency for Merauke-Surabaya link. For computation, the radius of the earth used was radius of the earth in equator. Ionosphere variation conditions were obtained from ionosonde measurement operated in Kupang by LAPAN in March 2013. The results of this computation are : if HF radio waves are reflected once, the elevation angle will be too small so that it was difficult to apply for antenna. In order to make it simple to apply, radio waves has to be reflected twice in F layer. The other result are that MUF values depend on foF2 variations for each days where MUF is higher in a day than in a night.

**Intisari**— Sistem komunikasi High Frequency dengan alokasi frekuensi 3-30 MHz sesuai untuk diaplikasikan di wilayah dengan jarak yang jauh, terpisah lautan dan terpencil. Sistem ini dapat menjadi alternatif bagi mahalnya teknologi satelit, khususnya di wilayah-wilayah yang belum terjangkau layanan sistem komunikasi di Indonesia. Pada makalah ini dibahas parameter sistem komunikasi HF jarak jauh yaitu sudut elevasi dan Maximum Usable Frequency (MUF) untuk lintasan Merauke - Surabaya. Untuk perhitungan, jari-jari bumi yang dipergunakan adalah jari-jari bumi di ekuator, sedangkan variasi kondisi lapisan ionosfer diperoleh dari hasil pengukuran ionosonda yang dioperasikan LAPAN di Kupang pada Bulan Maret 2013. Dari hasil analisis diperoleh bahwa jika gelombang radio merambat dengan satu kali pantulan, maka sudut elevasi kedatangan gelombang sangat rendah sehingga sulit untuk diaplikasikan pada kondisi fisik antena. Oleh karena itu agar mudah diaplikasikan, maka gelombang radio harus merambat dengan dua kali pantulan pada lapisan F. Sedangkan nilai MUF bervariasi untuk setiap jam mengikuti variasi foF2 dimana siang hari lebih tinggi daripada malam hari.

**Kata Kunci**— HF, sudut elevasi, MUF, foF2, ionosonda

## I. PENDAHULUAN

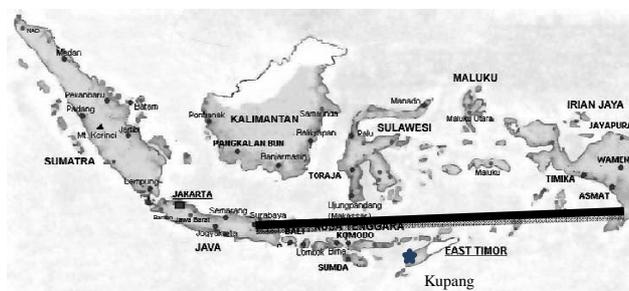
Sistem komunikasi HF dengan gelombang angkasa bekerja dengan mempergunakan lapisan ionosfer sebagai media perambatan. Ionosfer terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan D dengan ketinggian 50-90 km, E dengan ketinggian 90-140 km dan F dengan ketinggian 140 km ke atas terdiri dari elektron-elektron yang menentukan cara gelombang merambat.

Frekuensi terkecil yang dipergunakan (*Lowest Usable Frequency* (LUF)) ditentukan oleh Lapisan D, sedangkan frekuensi maksimum yang dipergunakan (*Maximum Usable*

*Frequency* (MUF)) ditentukan oleh Lapisan F [1].

Tidak semua gelombang radio HF direfleksikan kembali ke bumi. Ada frekuensi minimal dan maksimal yang dapat direfleksikan kembali ke bumi. Jika gelombang radio HF dikirimkan dengan gelombang angkasa melewati suatu lintasan, ada satu MUF yang ditentukan oleh kondisi ionosfer di sekitar titik refleksi. MUF (*Maximum Usable Frequency*) adalah frekuensi tertinggi yang dapat dibelokkan kembali ke bumi oleh ionosfer dan merupakan frekuensi tertinggi yang dapat dipergunakan untuk mengirim sinyal melalui gelombang radio HF [2]. Nilai MUF ditentukan oleh tingkat radiasi sinar matahari, sudut pengiriman (*a*), ketinggian lapisan ionosfer (*h*), panjang lintasan dan lokasi lintasan terhadap garis lintang bumi [3]. Jika suatu sinyal gelombang HF ditransmisikan dengan frekuensi di atas MUF, maka sinyal akan diteruskan ke angkasa tanpa dibelokkan ke bumi sehingga komunikasi tidak terjadi.

Pada makalah ini akan dibahas perhitungan sudut pengiriman gelombang radio atau sudut elevasi antena terhadap bumi dalam proses pengiriman sinyal radio HF. Selain itu, sudut elevasi diperlukan untuk perhitungan frekuensi kerja yang dipergunakan. Sistem komunikasi radio HF yang dipergunakan adalah pengirim (Tx) berada di Merauke ( $08^{\circ} 30' S 140^{\circ} 27' E$ ), sedangkan penerima (Rx) berada di Surabaya ( $07^{\circ} 15' S 112^{\circ} 45' E$ ). Jari-jari bumi adalah jari-jari bumi di ekuator sebesar 6378,1 km [4]. Sistem komunikasi ini dianggap bekerja pada bulan Maret 2013, dimana pada bulan Maret dan September adalah bulan saat matahari berada tepat pada ekuator sehingga terdapat banyak variasi pada lapisan ionosfer. Variasi lapisan foF2 diperoleh dari hasil pengukuran Ionosonda di stasiun Kupang ( $09^{\circ} 19' S 10^{\circ} 57' E$ ) yang dioperasikan oleh LAPAN pada bulan Maret 2013. Gbr. 1 adalah peta Indonesia yang menggambarkan lintasan Merauke - Surabaya sejauh 3045 km. Sistem komunikasi ini akan bekerja pada saat MUF secara teori bernilai minimal, yaitu pada pukul 23.00 - 01.00 WITA atau 15.00 - 17.00 Universal Time (UT). Sehingga untuk perhitungan lebih lanjut akan dilihat pada jam-jam tersebut.



Gbr. 1 Lintasan Merauke-Surabaya dengan Kupang pada tengah lintasan

Teknik Universitas  
Surabaya 60113  
-3813096; e-mail:

II. MAXIMAL USABLE FREQUENCY

Frekuensi kerja maksimum atau Maximal Usable Frequency (MUF) adalah frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Frekuensi maksimum bergantung kepada dua hal, yaitu frekuensi kritis,  $f_c$ , pada titik pantul dan geometri lintasan komunikasinya [5].

Nilai MUF dapat didekati dengan persamaan berikut (McNamara, 1991) :

$$MUF = \frac{f_c}{\cos I} \tag{1}$$

Dengan  $I$  adalah sudut elevasi. Karena  $\cos I$  bervariasi dari 0 sampai 1, maka jika gelombang datang secara vertikal ( $I = 0$ ), MUF akan sama dengan  $f_c$ . Karena gelombang radio merambat melalui lapisan F, maka  $f_c$  yang dipergunakan adalah  $foF2$ .  $\cos I$  disebut juga faktor kemiringan untuk suatu lintasan.

Langkah perhitungan sudut elevasi diperoleh dari [5] dimana sudut elevasi dapat diperoleh dari skema penjalaran gelombang radio di angkasa. Skema ini dapat dilihat pada Gbr.2. Jarak antara Tx dan Rx adalah  $d$ ,  $h$  adalah ketinggian lapisan ionosfer,  $R_B$  adalah jari-jari bumi. Semuanya dalam kilometer (km).

Sudut elevasi mencakup dua hal, yaitu sudut datang dan sudut pancar. Sudut pancar adalah sudut yang dibentuk antara gelombang radio yang dipancarkan oleh antena dengan permukaan bumi pada Tx. Sedangkan sudut datang adalah sudut yang dibentuk oleh gelombang radio yang datang dari angkasa dengan permukaan tanah pada Rx. Referensi [6] dipergunakan untuk menghitung sudut elevasi dengan memperhatikan Gbr. 3 yang merupakan cuplikan dari Gbr. 2. Dari skema tersebut diperoleh bahwa[6] :

$$\alpha_2 + (\beta_2 - \text{elevasi}) = 90^\circ \tag{2}$$

Karena  $\alpha_1 = 90 - \alpha_2$  maka diperoleh persamaan berikut [6] :

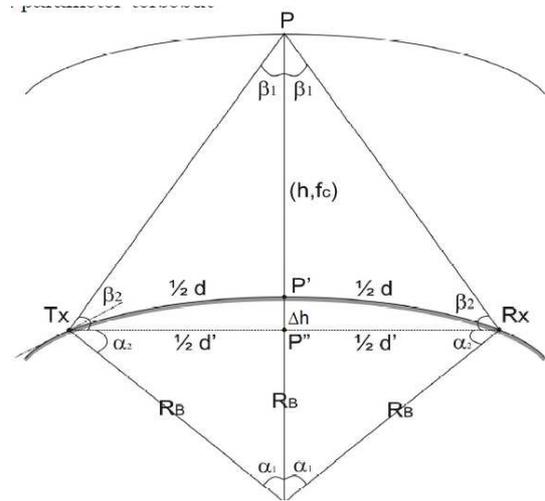
$$\text{elevasi} = \beta_2 - \alpha_1 \tag{3}$$

Jadi, perhitungan sudut elevasi (dalam radian) menjadi [6]:

$$\text{elevasi} = \arctan \left[ \frac{h + \left[ 1 - \cos \left( \frac{d}{2R_B} \right) \right] R_B}{2R_B \sin \left( \frac{d}{2R_B} \right) \alpha_1} \right] - \frac{d}{2R_B} \tag{4}$$

III. HASIL SIMULASI

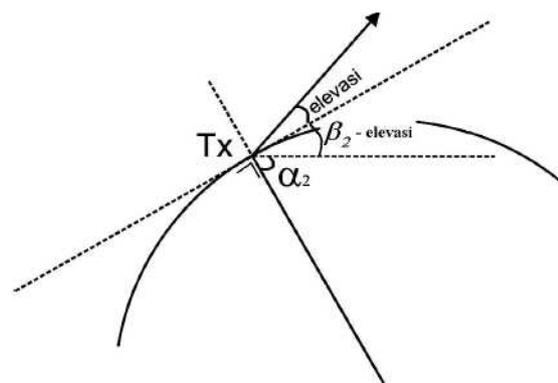
Perhitungan MUF mempergunakan data  $foF2$  dari stasiun Kupang pada Bulan Maret 2013. Yang pertama kali dihitung adalah MUF dasar dimana sesuai Persamaan (1), MUF dasar adalah MUF saat gelombang datang secara vertikal. Sehingga MUF sama dengan nilai frekuensi kritis pada lapisan F2 ( $foF2$ ).



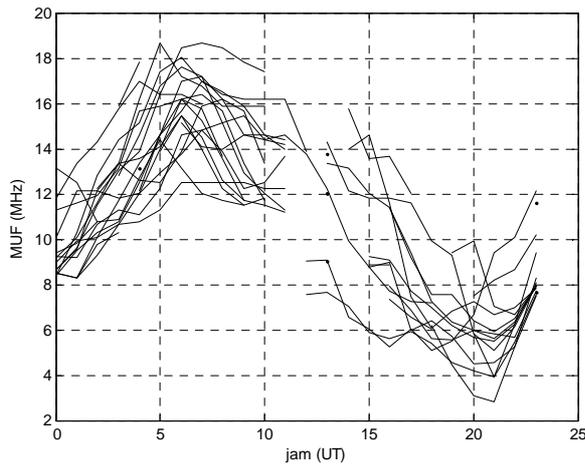
Gbr. 2 Skema pemantulan gelombang radio pada lapisan ionosfer [6]

Gbr. 4 adalah MUF dasar dalam MHz. Nilai  $foF2$  diperoleh dari ionosonda di stasiun Kupang selama pengukuran tanggal 1 – 31 Maret 2013 dari jam 00 – 23.00 WITA. MUF digambarkan untuk setiap universal time (UT) dimana perbedaan waktu antara UT dengan WITA adalah – 8 jam (WITA = UT+8). Grafik ini menggambarkan perubahan MUF dasar pada setiap jamnya. Gambar grafik yang terpotong menunjukkan bahwa pada jam-jam tertentu ionosonda tidak beroperasi dengan baik sehingga tidak ada data yang terukur.

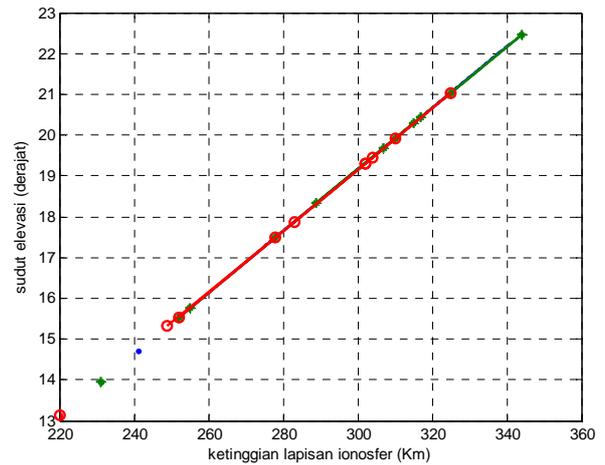
Selanjutnya untuk perhitungan MUF dengan mempertimbangkan sudut elevasi akan dihitung pada titik-titik dimana Ionosonda stasiun Kupang berhasil mengukur besarnya  $foF2$ , khususnya pada jam 15.00 – 17.00 UT atau 23.00 – 01.00 WITA. Ionosonda Kupang berhasil mengukur nilai  $foF2$  pada jam-jam tersebut pada tiga tanggal yaitu, 1 Maret, 11 Maret dan 30 Maret 2013. Nilai-nilai ini yang akan diplot pada grafik MUF, untuk mencari nilai yang sesuai dengan karakteristik daerah dan waktu perambatan gelombang HF.



Gbr. 3 Sudut elevasi [6]



Gbr. 4 MUF Dasar harian tanggal 1-31 Maret 2013 untuk Lintasan Merauke-Surabaya



Gbr. 6 Sudut elevasi untuk dua kali pantulan

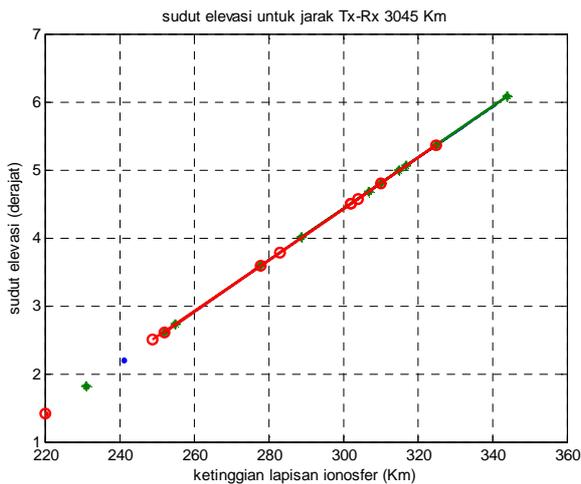
Gbr. 5 adalah hasil perhitungan Persamaan (4) untuk menghitung sudut elevasi lintasan Merauke-Surabaya. Nilai sudut elevasi bergantung pada ketinggian lapisan ionosfer. Untuk jarak sejauh 3045 km sudut elevasi berkisar antara 2,2° hingga 5,96°. Nilai ini menunjukkan jika gelombang radio dipantulkan ke ionosfer dengan satu kali pantulan. Nilai ini sangat kecil karena hampir menyusur tanah. Antena yang diperlukan akan sangat panjang untuk menghindari halangan oleh gedung dan pepohonan. Hal ini sulit dalam penerapannya.

Satu kali pantulan tidak dapat dipergunakan untuk perambatan gelombang radio kali ini. Sebagai solusi, dipergunakan dua kali pantulan pada gelombang ionosfer. Artinya, gelombang radio dua kali dipantulkan oleh lapisan ionosfer dan satu kali dipantulkan oleh bumi sebelum sampai pada Rx. Untuk proses perhitungannya,  $d$  yang semula adalah jarak Tx-Rx diubah menjadi  $d/2$  atau jarak Tx dengan bumi pemantul gelombang radio. Hasil perhitungan sudut elevasi untuk dua kali pantulan dapat dilihat pada Gbr. 6.

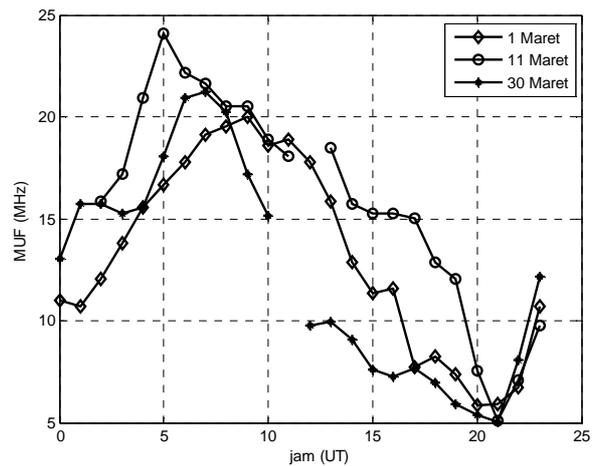
Hasil perhitungan sudut elevasi untuk dua kali pantulan menunjukkan bahwa nilai sudut bervariasi terhadap ketinggian lapisan ionosfer dari minimal 14,72° dan maksimal 22,24°. Untuk perhitungan MUF dipilih median dari nilai sudut elevasi, dimana mediannya adalah 20,29°. Kemudian nilai ini dipergunakan untuk menghitung MUF sebagaimana Persamaan (1) dengan  $I$  sama dengan 20,29°.

Gbr. 7 adalah nilai MUF jika sudut pancar sama dengan 20,29°. Nilai ini tidak diplot untuk semua tanggal karena tidak semuanya memiliki data hasil pengukuran untuk pukul 15.00 – 17.00 UT. Pada jam-jam tersebut parameter-parameter perhitungan sistem komunikasi HF akan ditentukan karena merupakan waktu penurunan MUF secara tajam untuk daerah di sekitar ekuator.

Selanjutnya dari hasil perhitungan dapat dilihat perubahan nilai MUF sesuai variasi nilai  $foF2$ , dimana pada pukul 15.00 UT MUF semakin turun dan akan naik kembali pada sekitar pukul 20.00 UT atau 07.00 WITA.



Gbr. 5 Sudut elevasi untuk satu kali pantulan



Gbr. 7 MUF untuk sudut elevasi 20,29°

## IV. PEMBAHASAN

MUF merupakan faktor penting dalam sistem komunikasi radio gelombang HF, dimana besarnya MUF menentukan apakah sinyal dapat dipantulkan pada penerima atau diteruskan ke angkasa. Oleh karena itu, sebelum proses perancangan sistem komunikasi HF, nilai MUF perlu diketahui terlebih dahulu. Selain itu, nilai MUF juga dipengaruhi oleh sudut elevasi yang meliputi sudut pantul dan sudut datang.

Gbr. 4 merupakan grafik perubahan MUF Dasar terhadap waktu. MUF Dasar ini diperoleh jika gelombang radio datang secara vertikal terhadap angkasa. Nilainya mengikuti nilai frekuensi kritis lapisan F2 pada ionosfer. Artinya, jika frekuensi kritis lapisan F2 naik, maka MUF Dasar juga akan naik, demikian pula sebaliknya. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada pukul 15.00 – 17.00 UT, pada waktu yang direncanakan untuk dilakukan pemancaran gelombang HF, terjadi penurunan nilai MUF dibandingkan waktu sebelumnya dan akan tersu turun sampai kurang lebih pukul 20.00 UT. Hal ini harus menjadi perhatian dalam perencanaan sistem komunikasi radio gelombang HF.

Gbr. 5 adalah sudut elevasi untuk lintasan Merauke-Surabaya sejauh 3045 km untuk satu kali pantulan. Artinya, dari Tx sinyal diarahkan langsung ke lapisan ionosfer untuk kemudian dipantulkan pada Rx. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa sudut elevasi berkisar dari  $2,2^{\circ}$  –  $5,96^{\circ}$ . Hal ini sangat sulit diaplikasikan mengingat banyaknya gedung yang dapat menghalangi perambatan gelombang HF. Untuk menembus halangan tersebut diperlukan antena yang sangat panjang. Oleh karena itu, agar gelombang HF mudah dikirimkan, maka sudut elevasi harus ditingkatkan dengan jalan mengubah metode perambatan gelombang radio, dari satu pantulan mejadi dua pantulan. Dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Gbr 6, diketahui bahwa nilai sudut elevasi berkisar antara  $14,27^{\circ}$  hingga  $22,24^{\circ}$ . Untuk aplikasi dipergunakan nilai tengah dari hasil perhitungan yaitu,  $20,29^{\circ}$ . Nilai ini yang akan dipergunakan untuk menghitung MUF yang dipergunakan untuk pemancaran gelombang HF.

Gbr. 7 adalah MUF yang dihitung dari nilai frekuensi kritis lapisan F2 pada ionosfer dikalikan dengan secan dari sudut elevasi. Hasilnya menunjukkan variasi terhadap nilai  $foF2$ .

Dari hasil perhitungan  $foF2$  pada Bulan Maret 2013 di Kupang diperoleh median MUF Dasar untuk setiap jam 15.00 – 17.00 UT sebagai berikut. Pada jam 15.00, MUF Dasar

adalah 8,54 MHz, pukul 16.00 adalah 8,4 MHz dan pukul 17.00 6,98 MHz. Sedangkan untuk jam yang sama, nilai MUF adalah 8,68 MHz, 8,54 MHz dan 7,09 MHz. Nilai-nilai ini dapat menjadi pertimbangan untuk perancangan pemancaran gelombang radio HF pada jam-jam tersebut.

## V. KESIMPULAN

Proses pemancaran gelombang HF ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu sudut elevasi dan *Maximum Usable Frequency* (MUF). Dari hasil pembahasan diperoleh hasil bahwa MUF tergantung pada nilai  $foF2$  dan bentuk geometri lapisan bumi yang dinyatakan dalam sudut elevasi.

Sudut elevasi menyatakan bagaimana suatu gelombang dipantulkan pada ionosfer dan datang pada Rx. Untuk lintasan Merauke-Surabaya diperlukan dua kali pantulan pada lapisan F2 agar gelombang radio sampai pada penerima dengan baik.

Nilai MUF bervariasi dari siang dan malam, dimana pada siang hari nilainya lebih tinggi daripada pada malam hari. Hal ini perlu menjadi perhatian ketika hendak memancarkan gelombang radio pada malam hari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada Pusat Sains dan Antariksa (Pussainsa) LAPAN, Bandung yang telah mengijinkan penulis mempergunakan data hasil pengukuran ionosonda Kupang untuk dipergunakan pada makalah ini. Makalah ini merupakan bagian dari hasil penelitian Dosen Pemula yang didanai Dirjen DIKTI pada tahun anggaran 2013.

## REFERENSI

- [1] K. Davies, *Ionospheric Radio*, Peter Peregrinus Ltd, London, United Kingdom, 1990
- [2] K.A Hadi., A.Z Aziz, "Studying the Impact of The Solar Activity on The Maximum Usable Frequency Parameter Over Iraq Territory", *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*, Vol.5 Issue 3 September-Oktober 2012, p. 35-39
- [3] J.M Goodman, "Availability Correlation Distance For HF Communications in a Global Network", *HF Radio System and Techniques, Conference Publication No. 411*, 7-10 July 1997, p. 140-144
- [4] (2013) The NASA Website. [Online]. Available :<http://www.nssdc.gsfc.nasa.gov/>
- [5] L. McNamara, *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding*, Krieger Publishing Company, Malabar Florida, 1991
- [6] Jiyo, "Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio Dan Sudut Elevasi Antena", *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, vol. 4, pp. 25-30, Maret 2009