

Analisa Propagasi Gelombang *Continuous Wave* Pada Radio Amatir di Frequency 21 MHz

Marza Ihsan Marzuki dan Bambang Irawan

Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

bbg_irawan@yahoo.co.id

Abstrak

Ionosfer merupakan lapisan atmosfer bumi pada ketinggian ratusan kilometer di atas permukaan laut. Sebagai zantara yang dirambati gelombang electromagnetic, ionosfer berupa plasma, yakni gas yang terdiri atas electron-electron dan ion-ion positif pasangannya dalam keseimbangan dinamik. Ketinggian lapisan ionosfer mempengaruhi besarnya frekuensi yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Perhitungan dua parameter komunikasi radio HF, yakni frekuensi maksimum dan waktu terbaik untuk berkomunikasi. Dengan menggunakan perumusan *Multi Quasi Parabolic* tersebut dilakukan perhitungan dengan menggunakan asumsi jari-jari bumi di ekuator yaitu 6378.3888 kilometer, dari hasil analisa tersebut didapat bahwa frekuensi maksimum radio HF bergantung kepada kerapatan electron dan ketinggian (h) lapisan ionosfer serta jarak komunikasi (d), untuk komunikasi radio jarak jauh diperlukan frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan komunikasi jarak dekat, untuk komunikasi jarak jauh diperlukan tiang antenna yang lebih tinggi, komunikasi radio pada malam hari lebih rentan terhadap gangguan oleh obyek di sekitar antenna sehingga diperlukan tiang antenna yang lebih tinggi.

Kata kunci : Ionosfer, Propagasi, Frekuensi, Komunikasi Radio HF

Abstract

Ionosphere is a layer of the earth's atmosphere at an altitude of hundreds of kilometers above sea level. As the zircon is electromagnetic waves, the ionosphere is a plasma, ie a gas consisting of electrons and positive couples in a dynamic equilibrium. The height of the ionospheric layer affects the amount of frequency that can be reflected by the ionosphere layer. Calculation of two parameters of HF radio communications, ie the maximum frequency and the best time to communicate. By using the formulation of Multi Quasi Parabolic is calculated using the assumption of radius of the earth at the equator that is 6378.3888 kilometers, from the analysis it is found that the maximum frequency of HF radio depends on electron density and height (h) ionosphere layer and communication distance (d) For long distance radio communication required higher frequencies than close-range communication, for long distance communication required higher antenna pole, radio communication at night is more susceptible to disturbance by object around antenna so that needed antenna pole higher.

Keywords: Ionosphere, Propagation, Frequency, HF Radio Communication

Received 2 October 2016

Accepted for Publication 31 October 2016

DOI: 10.22441/incomtech.v7i2.1169

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan telekomunikasi sangat berkembang pesat di era multidigital sekarang ini, hal itu dibuktikan dengan semakin beragamnya alat-alat teknologi super canggih yang beredar di pasaran. Masyarakat semakin dimanjakan dengan makin maraknya teknologi telekomunikasi super canggih tersebut. Telekomunikasi sudah menjadi kebutuhan di era multidigital sekarang ini. Dalam komunikasi menggunakan perangkat Handy Talky topografi suatu daerah sangat mempengaruhi kualitas penerimaan maupun pengiriman suatu informasi audio. Hal ini bila di halangi oleh gedung, gunung atau lautan. Propagasi radio sangat tergantung dengan kerapatan electron ionsphere, hal ini sangat berpengaruh terhadap komunikasi radio dengan menggunakan *high frequency*. Tingkat kebutuhan manusia terhadap informasi ini sangat meningkat. Peningkatan kebutuhan ini ternyata menimbulkan masalah terutama bagaimana informasi ini dapat tersampaikan dengan baik.

Komunikasi radio merupakan hubungan komunikasi yang menggunakan media udara dan menggunakan gelombang radio sebagai sinyal pembawa. Suatu perangkat system komunikasi radio sedikitnya terdiri dari 3 bagian utama yaitu: pesawat radio, antena dan *power supply*. Pesawat radio merupakan bagian utama yang berfungsi mengirim dan menerima informasi dalam bentuk gelombang suara. Perangkat radio pada dasarnya terbagi menjadi 2 yaitu bagian pemancar (*transmitter*) dan bagian penerima (*receiver*). Kedua bagian ini menjadi suatu kesatuan dengan fungsi masing-masing (*transceiver*). Gelombang radio HF pada frekuensi 3 – 30 MHz memiliki kelebihan dapat dipantulkan oleh *ionosphere*, sehingga dapat dimanfaatkan untuk komunikasi jarak jauh tanpa memerlukan repeater ataupun satelit Frekuensi. Lapisan *ionosphere* yang dapat digunakan untuk komunikasi tergantung jarak dan kondisi lapisan *ionosphere* pada saat komunikasi berlangsung.

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah maka permasalahan yang di teliti dapat dirumuskan perlunya perhitungan untuk mengetahui propagasi yang diperlukan dan ketinggian pantulan yang di pengaruhi oleh jarak komunikasi dan bagaimana memastikan waktu yang terbaik untuk melakukan komunikasi antar radio pada gelombang *continues wave* (CW) pada frekuensi 21 MHz. Untuk mempermudah dan lebih terperinci pembahasan penulisan, ruang lingkup penelitian ini maka batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut, di sini dibahas komunikasi radio dengan menggunakan sinyal high frequency dengan menggunakan frekuensi 21 MHz, yang menggunakan *software* NIMM Logger V14.9, dan *software* MMTTY ver1.68A (C) JE3HHT 2000 -2010.

Didapatkan penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini. Pada penelitian yang di lakukan oleh Jie Sun, Xiao-Juan Zhang (2016) pada tulisan yang berjudul “*Multi Quasi Parabolic ionsphere model with EF-valley*” dan tulisan Dieter Bilitza, Lee-Anne McKinnell, Bodo Reinisch (2011) dengan judul “*The international reference ionsphere today and in the future*”. Jie Sun dkk,

menyediakan alternative model konvensional Multi-quasi parabola (MQP) yang menerapkan parameter EF-Valey. Perhitungan yang dilakukan oleh Jie sun dkk antara Wuhan dan Beijing dengan mengumpulkan waktu yang berbeda yaitu 3 Januari 2014 di 16:22 (UT) 4 Januari 2014 di 03:07 (UT) dan 25 Mei 2014 di 02:07 di sesuaikan dengan scenario malam dengan lapisan F1, scenario siang tanpa lapisan F1 dan scenario siang dengan lapisan F1 maka masing-masing terdapat satu lompatan prediksi yang terjadi yang di hasilkan dengan tiga model Multi quasi parabolic. Jie Sun, Dkk membandingkan output dari prediksi MQP konvensional, prediksi Multi Quasi Parabolic QP With EF Valey dan hasil pengamatan. Sedangkan Dieter Bilitza dkk, memaparkan dari keluaran IRI (*International Reference Ionosphere*) sejak awal berdiri hingga tahun 1993. Salah satunya adalah software yang pada versi terbarunya IRI2012 dimanfaatkan dalam penelitian ini.

Di penelitian ini ingin dianalisis gelombang *continuous wave* (CW) 21 MHz yang memanfaatkan lapisan *ionosphere*, akan dioptimalkan waktu komunikasi data digital gelombang *continuous wave*(CW) 21 MHz saat memanfaatkan lapisan *ionosphere* dan dianalisa ketinggian pantulan gelombang radio.

2. DASAR TEORI

2.1 Rambatan Gelombang Radio

Komunikasi gelombang radio menggunakan gelombang *electromagnetic* yang dipancarkan lewat *atmosphere* bumi atau ruang bebas membawa informasi melalui jarak-jarak yang panjang tanpa penggunaan kawat. Getaran sinyal pembawa itu harus disampaikan kepada penerima dan proses penyampaian ini harus dilakukan melalui jalur yang sudah ditentukan. Dalam hal ini penyampaian getaran melalui jalur disebut media transmisi dan getaran pembawa termodulasi merambat (*propagate*) dalam media transmisi. Di dalam media ini rambatan *carrier* disebut gelombang pembawa (*carrier wave*).

Modulasi digital merupakan proses penumpangan sinyal digital (*bit stream*) ke dalam sinyal *carrier*. Modulasi digital sebetulnya adalah proses mengubah-ubah karakteristik dan sifat gelombang pembawa (*carrier*) sedemikian rupa sehingga bentuk hasilnya (*modulated carrier*) memiliki ciri-ciri dari bit-bit (0 atau 1) yang dikandungnya. Berarti dengan mengamati *modulated carrier*-nya, kita bisa mengetahui urutan bitnya disertai *clock* (*timing*, sinkronisasi). Melalui proses modulasi digital sinyal-sinyal digital setiap tingkatan dapat dikirim ke penerima dengan baik. Untuk pengiriman ini dapat digunakan media transmisi fisik (*logam* atau *optik*) atau non fisik (*gelombang-gelombang radio*). Gelombang pembawa berbentuk sinusoidal yang termodulasi disebut modulasi digital. Adapun yang termasuk modulasi digital seperti *Amplitudo Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), *Phase Shift Keying* (PS). Modulasi analog adalah proses pengiriman sinyal analog atau isyarat analog yaitu sinyal data yang berbentuk gelombang yang begitu kontinyu, yang akan membawa suatu informasi dengan merubah karakteristik dari gelombang. Dua parameter atau karakteristik yang terpenting dan dimiliki oleh isyarat analog yaitu *amplitude* dan juga *frekuensi*. Isyarat analog pada biasanya telah dinyatakan dalam gelombang sinus, mengingat

gelombang sinus itu merupakan sebuah dasar yang berguna bagi semua bentuk isyarat analog.

2.2 Sistem Gelombang High Frequency

High Frekuensi (HF) merupakan gelombang radio pada frekuensi 3-30 MHz yang digunakan pada radio komunikasi jarak jauh. Untuk band frekuensi ini propagasi gelombang elektromagnetik tidak dapat menembus lapisan *ionosfer*, tetapi dipantulkan oleh lapisan *ionosfer*. Sehingga atmosfer berfungsi sebagai *Transmitter* (Sumber) *Receiver* (Penerima) *repeater* secara alami. Lapisan *ionosfer* merupakan lapisan atmosfer bumi yang memiliki sifat yang dapat memantulkan gelombang elektromagnetik. Dengan lintasan ini, jangkauan komunikasi radio dapat mencapai jarak yang lebih jauh. Sinyal radio HF dapat merambat melalui 3 medium, yaitu pada gelombang *permukaan* bumi (*ground wave*), gelombang langsung (*line of sight*), dan gelombang langit (*skywave*). Media Transmisi (Transmission Media) merupakan suatu media yang berfungsi untuk menghubungkan antara pengirim data dengan penerima data. Jika jarak yang cukup jauh, maka data tersebut akan diubah terlebih dahulu menjadi kode atau isyarat, dengan demikian isyarat tersebut akan dimanipulasi dengan berbagai cara untuk diubah kembali menjadi data. Pengertian Spektrum Frekuensi Radio adalah pengalokasian frekuensi dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar adanya Radio FM, Radio AM, Frekuensi VHF Televisi maupun Frekuensi UHF Televisi. Berikut adalah pembahasan singkat dari Spektrum Frekuensi Radio dan pengalokasian Frekuensinya. Gelombang Radio adalah Gelombang Elektromagnetik yang disebarkan melalui Antena. Gelombang Radio memiliki Frekuensi yang berbeda-beda sehingga memerlukan penyyetelan Frekuensi tertentu yang cocok pada Radio Receiver (Penerima Radio) untuk mendapatkan sinyal tersebut. Frekuensi Radio (RF) berkisar diantara 3 kHz sampai 300 GHz. Pada Aplikasinya, Siaran Radio dan Siaran Televisi yang kita nikmati saat ini berada pada pengalokasian kisaran Frekuensi seperti ditampilkan di table 1.

Tabel 1. Alokasi Frekuensi

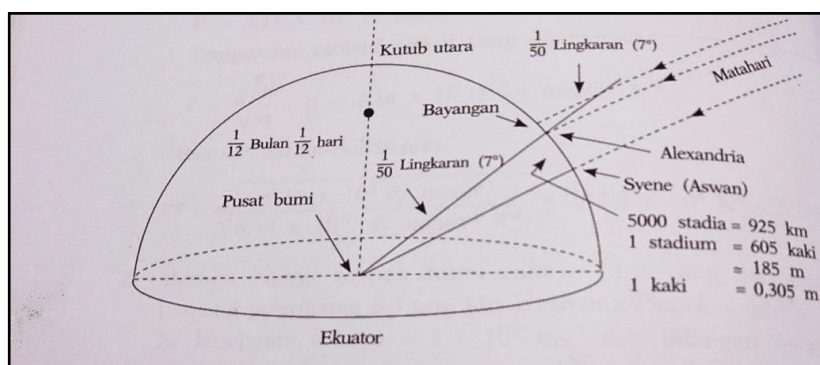
Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band
30-300 Hz	10 – 1 Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1 Mm – 100 km	
3-30 kHz	100 – 10 km	VLF (very low frequency)
30-300 kHz	10 – 1 km	LF (low frequency)
300-3000 kHz	1 km – 100 m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100 – 10 m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10 – 1 m	VHF (very high frequency)
300-3000 MHz	1 m – 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10 – 1 cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1 cm – 1 mm	EHF (Extremely high frequency)
300-3000 GHz	1 mm – 100 μ m	
Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band menurut IEEE
1 – 2 GHz	30 – 15 cm	L
2 – 4 GHz	15 – 7.5 cm	S
4 – 8 GHz	7.5 – 3.75 cm	C
8 – 12 GHz	3.75 – 2.5 cm	X
12 – 18 GHz	2.5 – 1.67 cm	Ku
18 – 27 GHz	1.67 – 1.11 cm	K
27 – 40 GHz	1.11 – 7.5 cm	Ka
40 – 300 GHz	7.5 – 1.0 mm	mm

Sumber: John D, 1988: 10

2.3 Gelombang Permukaan

Suatu gelombang radio yang merambat dekat pada permukaan bumi akan berjalan mengikuti lengkungan bumi berakibat fenomena difraksi (diffraction) gelombang pembelokan. Ini merupakan fenomena yang menyebabkan gelombang-gelombang suara berjalan mengitari suatu halangan. Efek-efek difraksi tergantung pada panjang gelombang dan besarnya rintangan, dan menjadi akan terasa untuk panjang gelombang yang lebih besar. Konduktivitas dan permisivitas permukaan memainkan peranan penting dalam perambatan gelombang permukaan, karena gelombang akan mengimbas (*induce*) arus displacement dan arus konduksi pada permukaan. Dipandang dari angkasa bumi bercahaya seperti batu menyala-nyala dalam tata surya. Sejak zaman Pythagoras (500 sebelum Masehi, bentuk umum bumi dikenal bulat. Claudius Ptolemy mengumpulkan daftar pengamatan eksteris yang menunjukkan bahwa bumi berbentuk bola. Christopher Columbus (1451-1506) mengetahui bahwa bumi adalah bulat dan berfikir dapat menemukan jalan pintas (*shortcut*) ke Hindia dengan berlayar ke barat. Tetapi dengan memaknai nilai-nilai Ptolemy untuk bulatan bumi, Columbus mendapatkan pelayaran jauh lebih panjang dari pada yang ia perkirakan. Karena nilai yang diperoleh Ptolemy lebih kecil daripada nilai-nilai actual.

Bumi tidak tepat berbentuk bola, karena berotasi mengelilingi sumbunya. Bumi berbentuk dempak dengan jari-jari kutub 21,5 km lebih pendek dari jari-jari ekuator. Tonjolan ekuatorial membuat diameter ekuator 12.757 km, sedangkan diameter melalui kutub sekitar 12.714 km. Eratosthenes (276-194 sebelum masehi) menentukan bahwa pada siang terpanjang pada solstis musim panas, matahari berada tepat (diatas kepala pada tengah hari jam 12.00 di kota Syene (sekarang disebut Aswan), Mesir. Pada hari yang sama pada tengah hari (jam 12.00) sebuah tiang pada Alexandria memberikan bayangan pada tanah yang panjangnya membuat sudut zenith matahari (sudut antara matahari dan vertical sebesar $\frac{1}{50}$ lingkaran (7°). Seperti gambar 1 sudut itu (7°) terbentuk oleh radius dari pusat bumi yang mengarah ke Alexandria dan Syene yang juga $\frac{1}{50}$ lingkaran. Jarak dari Syene ke Alexandria diketahui 5.000 stadia atau sekitar 925 km. Eratosthenes menghitung bahwa keliling bumi harus $50 \times 5.000 = 250.000$ stadia = 46.000 km = 29.000 mil. Jari-jari bumi dengan mudah dapat dihitung dari kelilingnya dan diperoleh 4600 mil. Hasil ini hanya ssekitar 15 persen lebih tinggi dari pada nilai sebenarnya.



Gambar 1 Perhitungan Keliling bumi menurut Eratosthenes

Rasio (perbandingan) keliling lingkaran dengan diameternya ($2 \times$ radius) sama dengan 3,1416 dan dikenal dengan π : (huruf Yunani pi). Rotasi bumi di sekitar sumbunya menyebabkan bumi berbentuk dempak (spheroid) yaitu berbentuk bola sedikit rata pada kutubnya, sehingga jari-jari polar (jarak dari pusat bumi ke kutub lebih pendek dari pada jari-jari ekuator yaitu jarak dari pusat bumi ke setiap titik pada ekuator. Rujukan international tentang dimensi bumi yang diadopsi oleh IUGG (the International Union of Geodesy and Geophysics) mempunyai pendekatan sebagai berikut:

Dengan jari-jari pada sisi polar = 6.357 km dan jari-jari sisi ekuator = 6.378 km,
Maka jari-jari rata-rata = 6.371 km

Luas permukaan bumi dapat dihitung dari radiusnya, yaitu $L = 4\pi r^2 = 4 \times 3,14 \times (6371 \text{ km})^2 \simeq 510 \text{ juta km}^2$ dan volumenya $v = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4}{3} \times 3,14 (6371 \text{ km})^3 = 1,08 \times 10^{12} \text{ km}^3$.

2.4 Karakteristik Matahari

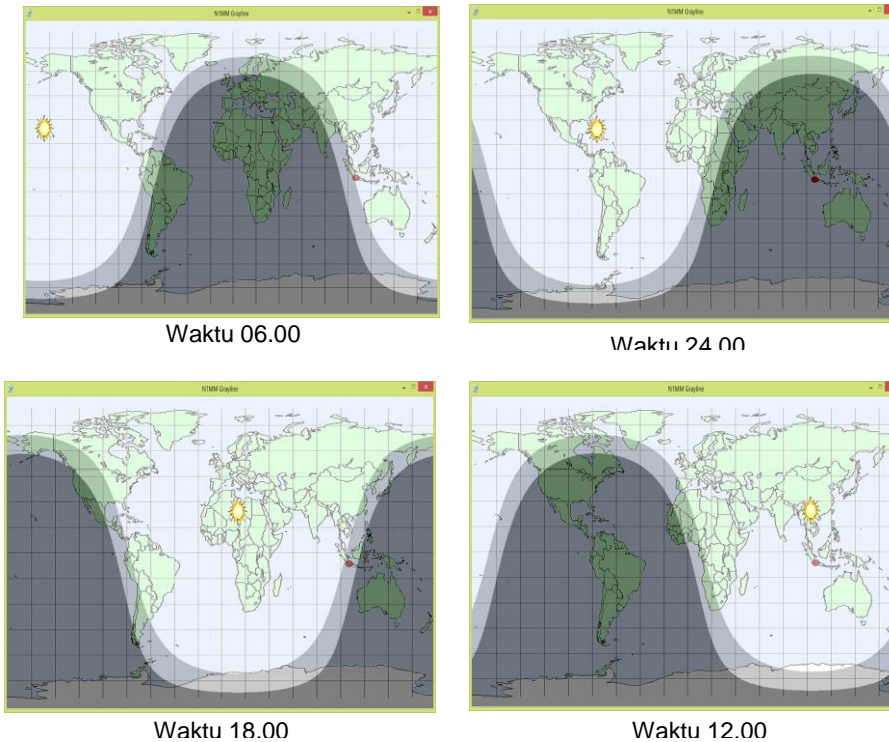
Matahari, bintang terdekat, memberikan energy untuk mem-pertahankan kehidupan di bumi, karena kedekatannya, bintang ini menjadi sasaran ahli-ahli astronomi untuk menyelidiki dan mengamati secara rinci roman (feature) permukaan matahari. Jika kita memandang matahari ketika terbit dan terbenam atau melalui lapisan awan, maka matahari tampak seperti piringan yang pinggirnya jelas. Piringan matahari yang tampak ini disebut fotosfer.

Gerakan semu matahari dibatasi oleh garis lintang $23,5^{\circ}$ U yang disebut tropis Cancer atau garis balik utara dan lintang $23,5^{\circ}$ S yang disebut tropis capricron atau garis balik selatan. Posisi matahari di ekuator disebut ekinos, terjadi dua kali selama revolusi bumi terhadap matahari pada tanggal 21 Maret disebut ekinoks musim semi dan 23 September disebut ekinos musim gugur untuk belahan bumi utara. Pada tengah hari jam 12.00 sinar matahari tegak lurusekuator, sinar matahari menyinggung kutub utara dan kutub selatan. Lingkaran terang melalui kutub utara dan kutub selatan membagi garis lintang tempat sama besar, sehingga lamanya siang dan malam hari sama 12 jam di seluruh tempat di bumi. Gerakan matahari dapat mempengaruhi kondisi di bumi seperti pada gambar 2.

2.5 Kerapatan Electron (Ne)

Selain kerapatan elektron, parameter ionosfer yang sering kali digunakan adalah frekuensi plasma. Secara fisis kerapatan elektron dan frekuensi plasma mempunyai hubungan linear. Artinya, jika kerapatan elektron tinggi, maka frekuensi plasma juga tinggi. Demikian pula sebaliknya. Informasi tentang frekuensi lapisan ionosfer ini mempunyai arti penting untuk mengetahui frekuensi gelombang radio yang dapat dipantulkannya. Maka erdasarkan unsur dominan yang membentuknya, lapisan ionosfer dibagi menjadi beberapa bagian. Satu bagian lapisan mempunyai maksimum kerapatan elektron atau puncak. Lapisan yang menempati ruang angkasa dari ketinggian 60 km sampai dengan 90 km ini dinamakan lapisan D. Lapisan D merupakan bagian lapisan ionosfer yang paling bawah dan merupakan peralihan antara atmosfer netral dan lapisan ionosfer. Kerapatan elektron rata-rata di lapisan ini relatif kecil dibandingkan kerapatan

elektron bagian lainnya.



Gambar 2 Kondisi rotasi matahari terhadap bumi

Fenomena di lapisan D mempunyai arti penting dalam penelitian untuk mengungkap alih (transfer) energi dari atmosfer bawah ke lapisan ionosfer. Informasi ini diperlukan untuk mengungkap proses aliran energi dari Matahari yang terperangkap di atmosfer bawah dan lingkungan Bumi dan diduga kuat mempunyai peran penting sebagai faktor yang turut mengendalikan fenomena perubahan cuaca dan iklim di permukaan Bumi.

Lapisan di atas lapisan D disebut lapisan E yang menempati ruang angkasa dari ketinggian 90 km sampai dengan 150 km. Dalam kondisi normal, lapisan E muncul hanya pada siang hari di saat intensitas energi Matahari yang sampai di ketinggian lapisan ini cukup kuat. Energi Matahari yang mencapai lapisan tersebut digunakan untuk pembentukan lapisan melalui proses ionisasi. Sedangkan pada malam hari, energi Matahari yang mencapai lapisan E tidak cukup untuk proses ionisasi sehingga lapisan ini tidak muncul. Dalam kondisi tertentu lapisan E muncul disertai dengan lapisan tambahan yang disebut lapisan E-sporadis (Es) yang menempati ketinggian 100 km sampai dengan 150 km. Lapisan Es muncul tidak hanya pada malam hari, tetapi juga pada siang hari. Kemunculan lapisan Es pada malam hari lebih disebabkan oleh fenomena hujan meteor dan angin geser (wind shear). Oleh karena itu, kemunculan lapisan Es pada malam hari sering digunakan untuk mendeteksi adanya debu meteor yang memasuki lingkungan Bumi.

Selanjutnya, lapisan yang menempati ruang dari ketinggian 150 km sampai

dengan 1.000 km disebut lapisan F. Pada siang hari saat intensitas energi Matahari cukup kuat, maka pada ketinggian ini juga terjadi dua lapisan, dan bahkan sering kali menjadi tiga lapisan. Lapisan yang paling bawah disebut lapisan F1 yang biasanya menempati ketinggian 150 km-200 km, yang muncul hanya pada siang hari dan saat Matahari aktif. Lapisan di atasnya disebut lapisan F2 yang muncul hampir setiap saat kecuali ada gangguan badai ionosfer sebagai akibat dari aktivitas Matahari yang tidak normal. Pada saat tertentu, ketika intensitas energi yang dipancarkan Matahari sangat kuat, sering muncul lapisan tambahan yang biasanya letaknya paling atas. Jika muncul lapisan seperti ini, maka disebut lapisan F3. [3].

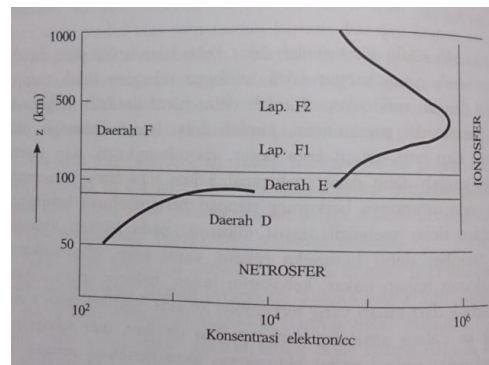
2.6. Ionosphere

Ionosphere merupakan bagian dari atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari. Lapisan ionosfer pada sekitar ketinggian 80 s.d 800 km pada permukaan laut. Lapisan ini berperan penting bagi keelektrikan atmosfer dan membentuk batas dalam lapisan magnetosfer. Fungsi utamanya, di antara fungsi-fungsi yang dimilikinya, adalah yang dapat mempengaruhi rambatan radio ke tempat-tempat yang jauh di muka bumi. Bagian lapisan ionosphere terdiri dari lapisan-lapisan ionosfer yang memuat lima lapisan ini mempunyai sifat yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu, untuk mengenali masing-masing dari lapisan ini perlu diketahui karakteristik dari masing-masing lapisan tersebut.

Lapisan ini sangat dipengaruhi oleh beberapa karakteristik dan mempunyai ciri yang khusus antara lain adalah :

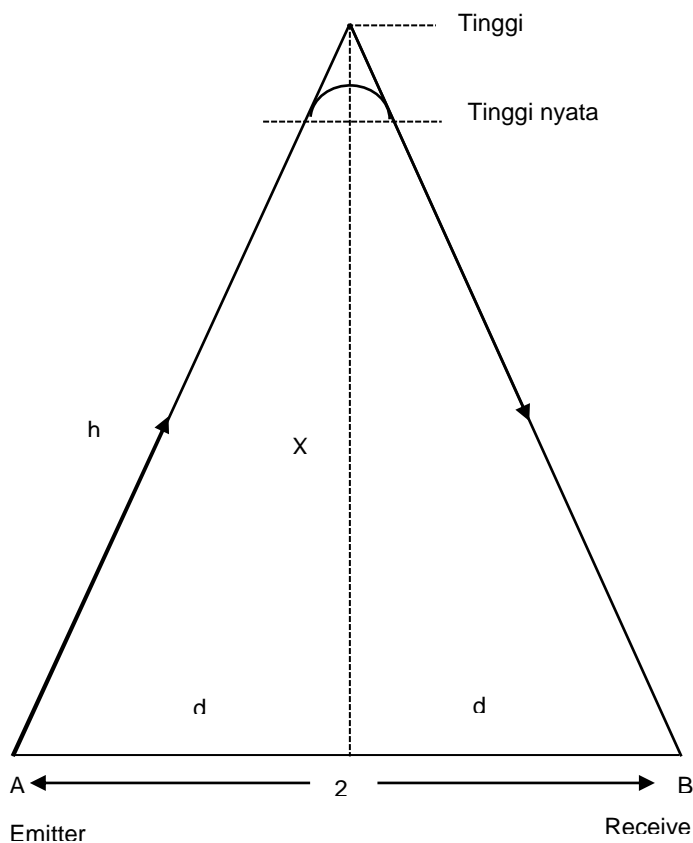
- Merupakan sebuah lapisan dimana semua atom-atom yang berada di wilayah ini mengalami ionisasi.
- Memiliki suhu atau temperatur di antara 0 derajat hingga 70 derajat Celcius.
- Lapisan ini tersusun atas tiga lapisan, yaitu: Lapisan E atau lapisan Kennelly Heavyside yang berada pada jarak atau ketinggian 100 hingga 200 kilometer. Lapisan ini berada di ketinggian 85 hingga 150 kilometer (dengan rata-rata 100 kilometer). Pada lapisan ini, terjadilah proses ionisasi yang tertinggi. Lapisan ini dikenal sebagai lapisan ozon. Lapisan ini mempunyai suhu yang berkisar antara minus 70 derajat Celcius hingga 50 derajat Celcius.
- Lapisan F atau lapisan Appleton yang berada di ketinggian 200 hingga 400 kilometer.

Pada atmosfer atas di ketinggian sekitar 60 km sampai di atas 500 km, beberapa molekul udara terionisasi oleh radiasi ultraviolet (UV) dari matahari yang menghasilkan gas terionisasi. Sebuah gas terionisasi juga disebut plasma, dan daerah ini disebut ionosfer. Ionisasi adalah proses dimana electron-electron yang bermuatan listrik negative terkelupas (stripped) dari atom atau molekul netral untuk membentuk ion-ion bermuatan positif dan electron-electron bebas. Ion-ion ini yang memberi nama lapisan atmosfer sebagai ionosfer, tetapi lapisan ini sangat ringan dan electron-electron bergerak lebih bebas yang sangat penting dalam hubungannya dengan penjalaran gelombang radio frekuensi tinggi (HF). Lapisan ionosfer mempunyai densitas electron bervariasi seperti pada gambar 3.



Gambar 3. lapisan atmosfer berdasarkan sifat-sifat radio elektrik

Ketinggian ionosfer dapat ditentukan dengan mengirimkan gelombang dari pemancar (emiiter) titik A ke atmosfer yang mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi gelombang yang dipantulkan oleh lapisan yang diukur. Gelombang ini diterima oleh penerima (reciver) titik B yang terletak pada jarak tertentu dari A. dapat dilihat pada gambar 4. Jika jarak $AB = 2d$, kecepatan penjalaran gelombang ada c , dan jarak dari titik A atau B ke titik refleksi adalah h , maka tinggi lapisan ionosfer (x). Pada kenyataan gelombang-gelombang hanya dipantulkan menurut segitiga seperti pada gambar 4. gelombang membelok dalam lapisan terionisasi. Ketinggian nyata yang dicapai gelombang adalah lebih rendah dari pada ketinggian yang ditentukan, dan disebut ketinggian ekuivalen.



Gambar 4. Menentukan tinggi lapisan ionosfer

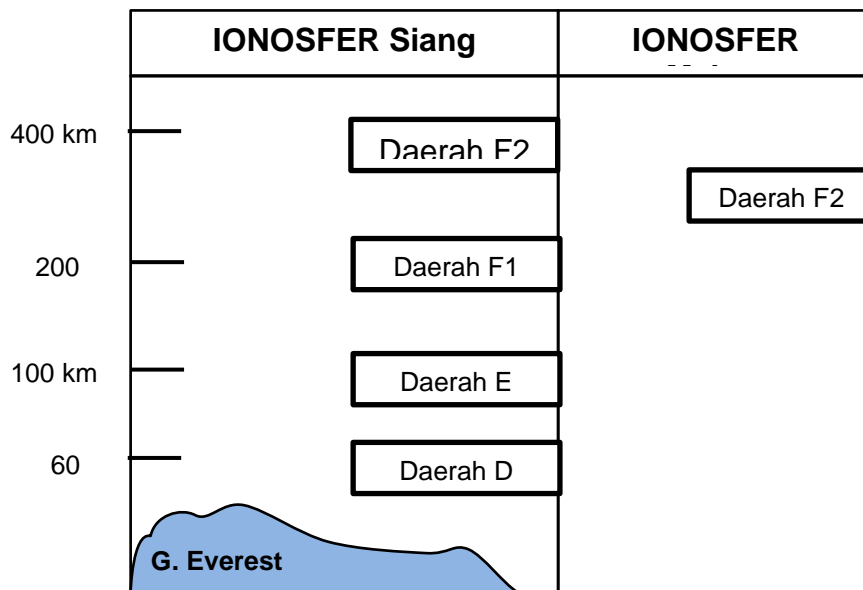
2.7. Nomenklatur Lapisan Ionosfer

Lapisan ionosfer dapat dibedakan dakan tiga daerag, yaitu daerah D, E dan F. daerah D terletak diatas ketinggian 50 km sampai 80 km. konsentrasi electron bervariasi antara 10^3 dan 10^4 electron/cm³. Daerah ini memantulkan gelombang panjang kilometric (1 = 1.000 m atau lebih) dan menyerap gelombang pendek (beberapa meter).

Daerah E terletak antara ketinggian 80 dan 160 km. konsentrasi electron bervariasi dari 10^5 electron/cm³ pada siang hari sampai 10^3 electron/cm³ pada malam hari. Daerah ini memantulkan gelombang hektometrik. Sedangkan daerag F terletak diatas ketinggian 160 km sampai panas yang sangat tinggi. Daerah F terdiri dari dua lapisan yaitu F₁, dan F₂. Daerah F₁ cukup tipis dengan ketebalan sekitar 60 km, sedangkan daerah F dapat mempunyai ketebalan yang besar. Konsentrasi electron di daerah F mencapai 2×10^6 electron/cm³ pada ketinggian 400 km. Daerah ini memantulkan gelombang metric dapat dilihat pada gambar 5.

Selama siang hari, ke empat daerah ionosfer biasanya muncul dan sangat penting dalam komunikas frekuensi tinggi (HF). Pada malam hanya lapisan F₂ yang muncul diatas 200 km dan dinyatakan dengan daerah F saja. Daerah F₂ sangat penting untuk penjalaran gelombang frekuensi tinggi (HF), karena muncul sepanjang hari 24 jam dan memantulkan gelombang frekuensi tinggi daerah HF.

Daerah-daerah ionosfer tidak terpisah melainkan bergabung sedikit (bertautan) satu sama lain. Daerah D, E dan F₁ hanya muncul selama siang hari di kendalikan oleh matahari. Tetapi daerah F₂ selain muncul pada siang, juga pada malam hari meskipun demikian dengan pengurangan densitas electron. Selain di pengaruhi matahari daerah F₂ juga di kendalikan oleh factor lain seperti angin atmosfer dalam gas netral dan medan magnet bumi. Angina atmosfer meretribusi (membagi-bagikan) ion-ion yang menyebabkan daerah ionosfer F₂ muncul baik malam maupun siang hari. Karena F₂ muncul pada malam hari maka F₂ adalah lapisan yang sangat penting untuk komunikasi gelombang radio (high frequency).



Gambar 5 Daerah ionosfer siang dan malam hari

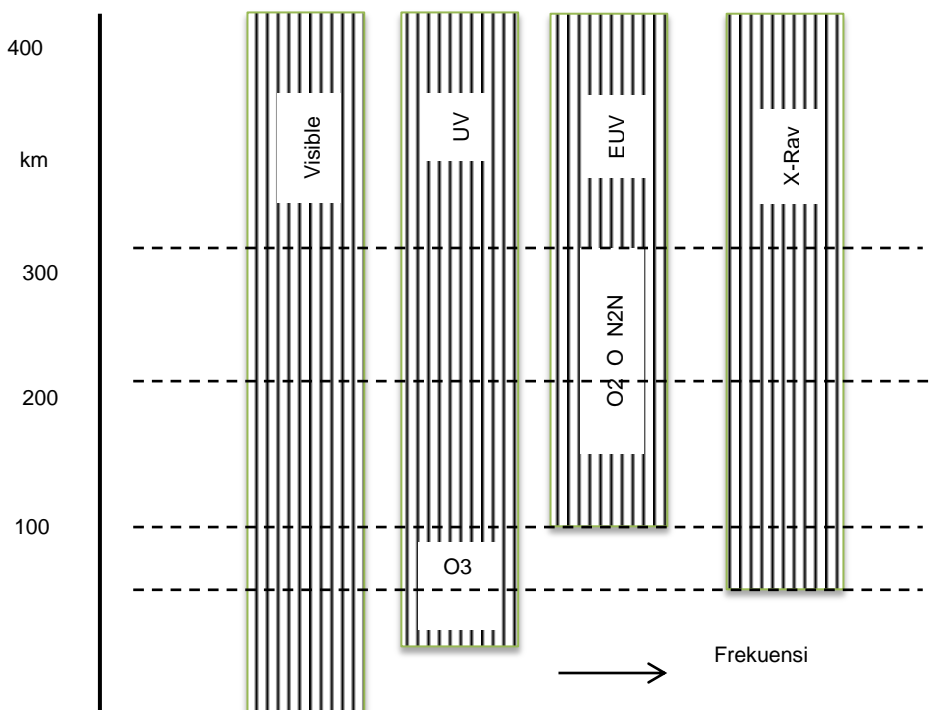
2.8. Pembentukan Ionosfer

Pembentukan ionosfer terjadinya radiasi yang menyebabkan ionisasi dalam atmosfer yaitu sinar X dan radiasi ultraviolet ekstrem (EUV), sinar X keluaran dari matahari ada ireguler, meningkat kuat pada gejolak panas matahari (solar flares) besar. Sinar X mengionisasi gas dalam daerah D dan dasar daerah E. Radiasi EUV (extreme ultraviolet) adalah radiasi pengionisasi yang lebih penting. EUV dihasilkan dalam khormosfer matahari pada daerah gangguan yang melapisi kelompok noda matahari (sunspot). Pada umumnya keluaran EUV dari matahari mendekati konstan, tetapi berubah bulanan dan tahunan karena perubahan jumlah noda matahari.

Radiasi EUV diserap oleh atom-atom dan molekul-molekul oksigen dan nitrogen (O , O_2 , N , N_2) pada ketinggian 100 – 400 km dan mengionisasi dalam daerah E, F1 dan F₂. Radiasi matahari UV (ultraviolet) mempunyai panjang gelombang lebih panjang daripada radiasi EUV.

Radiasi UV tidak menyebabkan ionisasi, tetapi diserap oleh ozon (O_3) pada ketinggian sekitar 30 km seperti pada gambar 6.

Radiasi EUV matahari diserap karena ia mengionisasi atom dan molekul. Karena radiasi matahari menembus atmosfer bumi sampai dalam, maka insentisanya berkurang. Tingkat produksi electron sebanding dengan intensitas EUV dan densitas udara. Pada puncak atmosfer intensitas EUV besar, tetapi densitas udara kecil, sehingga ion dan electron yang dihasilkan juga sedikit. Pada dasar daerah E, densitas udara besar tetapi intensitas EUV sangat rendah, sehingga jumlah ion dan electron yang di produksi juga sedikit [3].



Gambar 6 Penetrasi radiasi matahari

2.9. Pendekatan Model Multi Quasi Parabolic

Propagasi radio sangat tergantung dengan kerapatan eletron ionosphere. Model Quasi Parabolic menggambarkan profil konsentrasi electron di ionosphere dengan segmen quasi parabola. Sebuah hubungan antara *frequency plasma* dan konsentrasi electron ($f_N^2 = 80,8N_e$), oleh karena itu untuk model QP untuk satu lapisan layer dengan menggunakan persamaan (1a)

$$\begin{cases} f_N^2 = a - b \left(1 - \frac{r_m}{r}\right)^2 & r_b < r < r_t \\ 0 & \dots\dots\dots 1a \end{cases}$$

Dimana

r : jarak radial dari pusat bumi

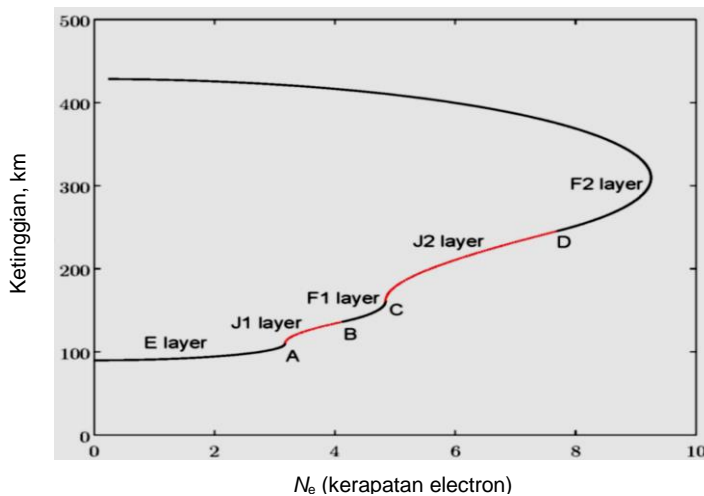
r_b : adalah nilai r di dasar lapisan

y_m : adalah lapisan tebal setengah

$r_m = r_b + y_m$ adalah nilai r dimana frekuensi plasma mencapai maksimum, $a = f_0^2$ (f_0 adalah frekuensi pada lapisan kritis). b di peroleh dengan persamaan (2a) dan r_t diperoleh dengan persamaan (2b)

$$b = a \left(\frac{r_b}{y_m}\right)^2 \dots\dots\dots (2a)$$

$$r_t = \frac{r_m r_b}{r_b - y_m} \dots\dots\dots (2b)$$



Gambar 7. Multi Quasi Parabolic, Model

Model MQP dapat di uraikan pada gambar 1, bahwa lapisan E dan F1 bergabung dengan lapisan J1, dan garis yang bergabung adalah poin A dan poin B. Lapisan F1 dan Lapisan F2 bergabung dengan lapisan J2, dan titik-titik bergabung pada poin C dan D. sehingga persamaan yang menggambarkan model *Ionosphere MQP* dapat di tulis sebagai persamaan (3a) - (3e)

$$f_{NE}^2 = a_E - b_E \left(1 - \frac{r_{mE}}{r}\right) * \dots\dots\dots (3a)$$

$$f_{NJ1}^2 = a_{J1} - b_{J1} \left(1 - \frac{r_{mJ1}}{r}\right) ** \dots\dots\dots (3b)$$

$$f_{NF1}^2 = a_{F1} - b_{F1} \left(1 - \frac{r_{mF1}}{r}\right) *** \dots\dots\dots (3c)$$

$$f_{NJ2}^2 = a_{J2} - b_{J2} \left(1 - \frac{r_{mJ2}}{r}\right) **** \dots\dots\dots 3d)$$

$$f_{NF2}^2 = a_{F2} - b_{F2} \left(1 - \frac{r_{mF2}}{r}\right) \text{*****} \dots\dots\dots (3e)$$

- * E layer ($r_b \leq r < r_A$)
- ** J1 joining layer ($r_A \leq r < r_B$)
- *** F1 layer ($r_B \leq r < r_C$)
- **** J2 joining layer ($r_C \leq r < r_D$)
- ***** F2 layer ($r_D \leq r < r_{tF2}$)

Pertama kita asumsikan bahwa lapisan J1 dan E bergabung di puncak yang terakhir. Kemudian $a_{J1} = a_E, r_{mJ1} = r_{mE}$. Lapisan pada J2 dan dan lapisan pada F1 berkumpul di paling akhir, maka $a_{J2} = a_{F1}, r_{mJ2} = r_{mF1}$. r_{tF2} merupakan nilai pada lapisan F2.

Maka kedua parameter dari lapisan J1 b_{J1} berhubung pda titik B dengan di hitung kecocokan frekuensi plasma dan gradient sesuai dengan persamaan (4a) dan (4b)

$$f_{NF1}^2 |r = r_B = f_{NJ1}^2 |r = |r_B \dots\dots\dots (4a)$$

$$\frac{\partial f_{NF1}^2}{\partial r} |r = r_B = \frac{\partial f_{NJ1}^2}{\partial r} |r = r_B \dots\dots\dots (4b)$$

$$r_B = \frac{r_{F1} b_{F1} (r_{F1}/r_E - 1)}{a_{F1} - a_E + b_{F1} (r_{F1}/r_E - 1)} \dots\dots\dots (5a)$$

$$b_{J1} = \frac{r_{F1} b_{F1} (1 - r_{F1}/r_B)}{r_E (1 - r_E/r_B)} \dots\dots\dots (5b)$$

Akhirnya pda parameter b_{J2} dari lapisan J2 dan ketinggian r_D bertemu pada titik D yang sudah di hitung dengan nilai pada persamaan (6a) dan (6b)

$$r_D = \frac{r_{F2} b_{F2} (r_{F2}/r_{F1} - 1)}{a_{F2} - a_{F1} + b_{F2} (r_{F2}/r_{F1} - 1)} \dots\dots\dots (6a)$$

$$r_{J2} = \frac{-r_{F2} b_{F2} (1 - r_{F2}/r_D)}{r_{F1} (1 - r_{F1}/r_D)} \dots\dots\dots (6b)$$

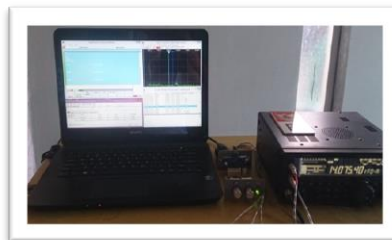
2.10. Periferal Pendukung

Berikut beberapa perangkat-perangkat tambahan sebagai pendukung dalam melakukan komunikasi radio antara lain :

✓ Software N1MM Logger

Software N1MM Logger merupakan aplikasi yang digunakan sebagai media komunikasi radio *High Frequency* secara real time dan aplikasi N1MM Logger terkoneksi dengan perangkat radio dan computer yang dilakukan dengan cara konfigurasi perangkat radio dengan komputer yang sudah terinstalasi.

Konfigurasi radio yang di gunakan Yaesu FT450 sebagai alat untuk transmiiter data Continues wave yang sudah di rubah melalui software N1MM Logger dalam bentuk data digital



Gambar 8. Koneksi radio komunikasi HF

✓ **Antena**

Antena pada penelitian ini menggunakan jenis 3 Elemen dengan ketinggian 25 dari permukaan tanah letak antenna berada pada lokasi longitude 107.009003 dan -6.256314 Latitude. Antena memiliki daya transmit hingga 500 watt sehingga menjadi pilihan sebagai media transmitter gelombang radio pada penelitian ini

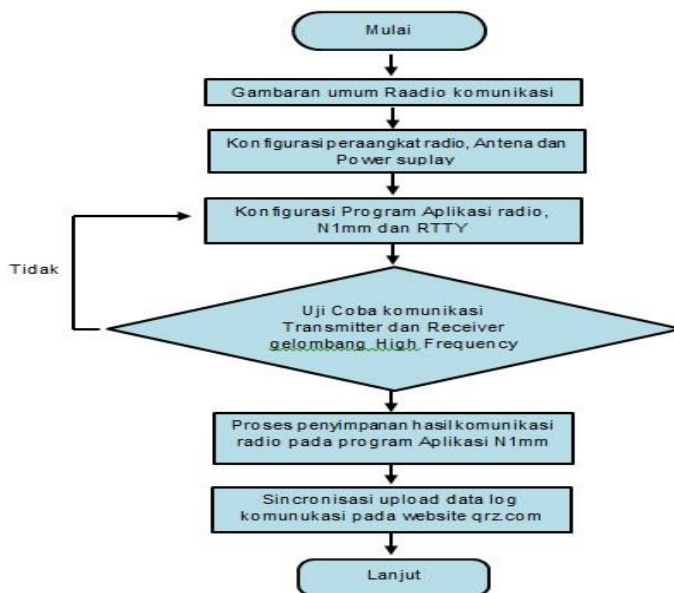


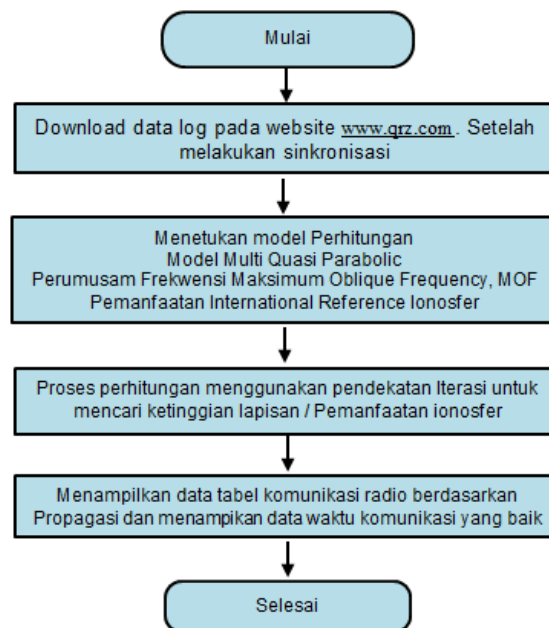
Gambar 9. Antena Radio Komunikasi

3. METEDOLOGI PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum Komunikasi Radio

Pada bagian ini akan dibahas tentang metodologi penelitian yang digunakan untuk menghitung besaran frekuensi kritis dan ketinggian pantulan gelombang radio dengan memanfaatkan lapisan ionosfer.





Gambar 10. Flowchart Transmit dan Receiver komunikasi radio

Rancangan flowchart analisa komunikasi ini dibuat untuk melakukan komunikasi radio secara real time dengan menggunakan gelombang HF high frequency. Komunikasi radio dilakukan secara acak namun demikian frekuensi yang digunkana yaitu 21 MHz.

3.2. Instalasi Konfigurasi Perangkat Radio HF

Sebelum melakukan komunikasi radio berupa pengiriman data gelombang CW continues wave yang melalui proses perubahan digital dengan menggunakan program N1MM Blogger sebagai aplikasi pendukung yang dapat mengenali device transmitter atau radio pancar di butuhkan interface berupa rs32 sebagai media transmit antara radio yang terkoneksi oleh perangkat computer yang sudah terinstalasi oleh program tersebut.



Gambar 11. Interface komunikasi radio ke komputer

3.3. Propagasi Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio merupakan proses perambatan gelombang radio dari pemancar ke penerima. Transmisi sinyal dengan media nirkabel yang memerlukan antenna untuk meradiasikan sinyal radio ke udara bebas dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang ini akan merambat melalui udara bebas menuju antenna penerima dengan mengalami peredaman sepanjang lintasannya, sehingga ketika sampai di antenna penerima, energy sinyal sudah sangat lemah.

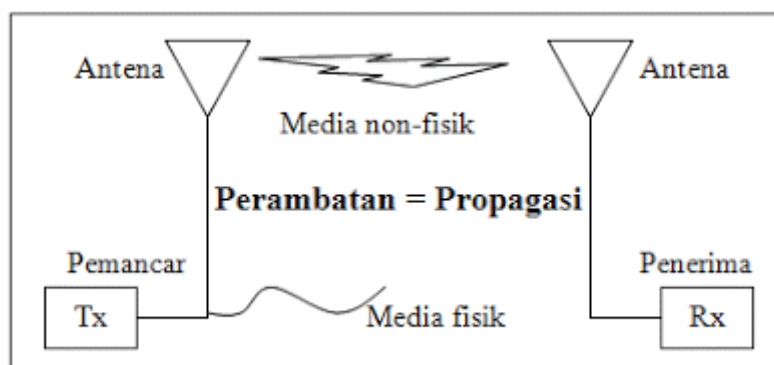
Definisi dari propagasi gelombang adalah perambatan gelombang pada media perambatan. Media perambatan atau biasa juga disebut saluran transmisi gelombang dapat berupa fisik yaitu sepasang kawat konduktor, kabel koaksial dan berupa non fisik yaitu gelombang radio atau sinar laser. (J, Herman, 1986: 1.4).

Dari segi teknis dan secara ekonomis, sebagai media komunikasi pentransmisi gelombang dalam jarak yang jauh, akan lebih efisien apabila menggunakan udara bebas sebagai media transmisinya. Hal ini memungkinkan karena gelombang radio atau RF (*radio frequency*) akan diradiasikan oleh antenna sebagai matching device antara sistem pemancar dan udara bebas dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Terdapat tiga macam jenis-jenis propagasi yang utama, yaitu *Ground wave*, *Ionespheric or Sky wave* dan *Trophospheric Wave*, adapun jenis propagasi diantara sebagai berikut :

3.4. Propagasi Gelombang Tanah

Gelombang tanah (*ground wave*) adalah gelombang radio yang berpropagasi di sepanjang permukaan bumi/tanah. Gelombang ini sering disebut dengan gelombang permukaan (*surface wave*). Untuk berkomunikasi dengan menggunakan media gelombang tanah, maka gelombang harus terpolarisasi secara vertikal, karena bumi akan menghubungkan-singkatkan medan listriknya bila berpolarisasi horisontal. Gelombang tanah sangat tidak efektif pada frekuensi di atas 2 MHz. Propagasi gelombang tanah merupakan satu-satunya cara untuk berkomunikasi di dalam lautan.

Untuk memperkecil redaman laut, maka digunakan frekuensi yang sangat rendah, yaitu band ELF (*Extremely Low Frequency*), yaitu antara 30 hingga 300 Hz. Dalam pemakaian tertentu dengan frekuensi 100 Hz, redamannya hanya sekitar 0,3 dB per meter. Redaman ini akan meningkat drastis bila frekuensinya makin tinggi, misalnya pada 1 GHz redamannya menjadi 1000 dB per meter.



Sumber: J, Herman, 1986: 1.5

Gambar 12. Sistem komunikasi radio

3.5. Konfigurasi N1MM Blogger system

Aplikasi N1MM Blogger system merupakan aplikasi di gunakan untuk radio komunikasi yang harus di install pada computer dan terkoneksi oleh perangkat radio, aplikasi ini berfungsi sebagai dialog komunikasi melalui pesawat Radio dengan mengubah dari data digital ke analog. Aplikasi ini di gunakan mempermudah komunikasi digital pengiriman berita berupa sandi morse. Sehingga untuk mengirimkan berita hanya dengan membuat macro database dan di simpan kedalam system tersebut.

3.6. Sincronisasi data komunikasi radio

Pengiriman data signal radio menggunakan gelombang high frekuensi yang bekerja pada frekuensi 21 MHz dan penerimaan data signal radio yang di pancarkan oleh stasiun pengirim data tersebut kemudian di simpan sebagai history data radio. Data dari log tersebut lalu di upload ke dalam website www.qrz.com untuk dilakukan sinkronisasi pada masing-masing stasiun radio sehingga data tersebut di gunakan sebagai hasil komunikasi international.

Dari hasil komunikasi radio yang didapat sebanyak 52 stasiun hanya 15 stasiun radio yang di sinkronisasi oleh website www.qrz.com. Adapun hasil 15 stasiun radio yang sudah di konfirmasi terdapat pada lampiran.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisikan tentang perhitungan dan analisa dari hasil pengamatan dari hasil komunikasi radio dengan menggunakan gelombang high frekuensi 21 MHz yang dilakukan pada tanggal 23 September 2015 pukul 8:08:55 AM sampai dengan pukul 1:59:37 PM dan mendapatkan 52 hasil komunikasi dari berbagai stasiun pemancar.

4.1. Prosedur Perhitungan

Pada bagian ini akan dibahas tentang metodologi penelitian yang digunakan dalam menggunakan model Multi-Quasi-parabolic dengan EF-Valley sebagai pengukuran menganalisa terhadap kerapatan electron dan menggunakan persamaan Maximum Oblique Frekuensi (MOF).

4.2. Perhitungan Batasan Lapisan Layer

Dengan menggunakan persamaan umum Multi Quasi Parabolic dimana $r_b < r < r_a$ dimana r adalah nilai diantara r_b dan r_a . r , r_b dan r_a adalah jarak radial dari pusat bumi. r_m adalah daerah antara r_b dan r_a dimana kerapatan elektron mencapai maksimum. a dan b adalah nilai kerapatan elektron masing-masing di r_a dan r_b . Dengan menggunakan tabel layer E hingga F2, nilai r_a dan r_b disetiap layer, serta jangkauan frekuensi kritis antara 0-10 MHz, maka dilakukan komputasi nilai r_m , r_a dan r_b dimasing-masing layer, sehingga jangkauan frekuensinya sesuai. Ringkasan hasil komputasinya disajikan pada tabel 2.

Diasumsikan untuk layer E : dengan nilai $f_b = 0.03$ MHz $f_a = 3.3$ MHz dan $r_b = 99$ km dan $r_a = 108$ km, maka nilai r_m yang sesuai adalah 107.5 km maka persamaan grafik layer E adalah : $f_N^2 = 10.9218 - 1481.4571(1-107.5/r)^2$.

Tabel 2. Perhitungan Model Multi Quasi Parabolic Layer

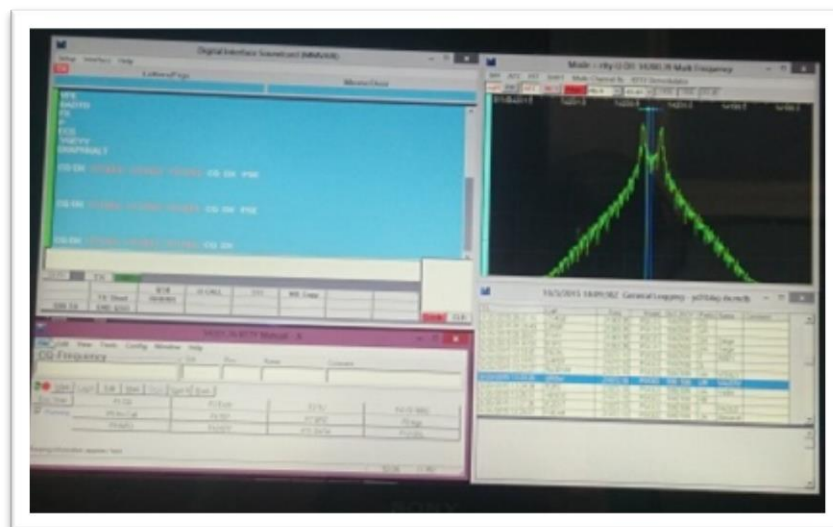
	a	b	a-b	r_m	$r_1 - r_2$	r_b	r_a
E layer	10.922	1,481.457	1,470.535	107.5000	9.0000	99.00	108.00
J1 Layer	17.664	57.713	40.049	145.0000	40.0000	108.00	148.00
F1 Layer	25.142	455.175	430.034	167.0000	22.0000	148.00	170.00
J2 Layer	64.985	273.504	208.520	235.0000	80.0000	170.00	250.00
F2 Layer	100.065	693.771	593.706	307.0000	60.0000	250.00	310.00
E-F2 Layer up	100.323	1,243.036	1,142.712	315.0000	-130.0000	440.00	310.00

4.3. Prosedur Perhitungan Komunikasi

Prosedur komunikasi pengiriman signal Continues Wave dilakukan secara acak dan di lakukan berdasar waktu kondisi saat melakukan pengiriman data dan penerimaan data komunikasi.

Prosedur pengukuran ini adalah menjelaskan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan komunikasi radio seperti pada gambar 13 dan memastikan bahwa posisi antena sudah di ukur.
2. Computer sudah di install oleh program aplikasi N1MM logger dan melakukan konfigurasi pada program aplikasi tersebut
3. Memastikan bahwa radio sudah terkoneksi oleh interface selanjut sudah terhubung oleh computer
4. Kemudian berikan daya tegang pada perangkat radio dengan tegangan arus dc 13.8 Volt dengan 40A
5. Hubungkan cable antenna RG 58 dengan independence 50 Ohmpada perangkat radio.
6. Kemudian lakukan proses DX atau transmit pada frekuensi 21 MHz secara continue apabila terjadi respon dapat di tampilkan pada program N1MM Logger seperti gambar 13.



Gambar 13. Proses Pengiriman Signal

4.4. Interkoneksi Radio Komunikasi

Setelah di lakukan pengiriman data komunikasi secara terus menerus dapat berkomunikasi dengan beberapa bagian Negara dengan waktu yang berbeda. Berikut ini ditampilkan di tabel 3 hasil komunikasi yang di lakukan pada kondisi waktu 07.00 WIB sampai dengan 10.00 WIB.

Tabel 3 Hasil komunikasi Pada frekuensi 21 MHz

Country	Japan	South Africa	Austria	Germany	Thailand	BELGIUM
Calsign	JL1OHO	ZS4GB	OE3DXA	DL9NO	HS7WMU	ON3ANY
Latitude	35.7429	-28.103183	48.115673	49.728333	11.868301	50.737468
Longitude	139.748986	26.857283	16.723114	10.123333	99.784436	3.606005
Bearing	33.9 NE	242.5 wsw	317.9 NW	319.5 NW	338.1 nnw	320.8 Nw
Distance	5780.0 Km	8723.6 Km	10543.9 Km	11030.1 Km	2162.4 Km	11484.9 km
Long Path	34223.2 Km	31279.6 Km	29459.3 Km	28973.1 Km	37840.8 Km	28518.3 km
Sunrise	19:27:45 UTC	04:54:29 UTC	02:59:48 UTC	03:19:16 UTC	22:55:27 UTC	03:40:40 UTC
Sunset	09:48:49 UTC	15:25:18 UTC	18:41:04 UTC	19:14:24 UTC	11:40:51 UTC	19:45:08 UTC
Freq	21.071.38	21.069.94	21.072.1	21.072.1	21.069.371	21.069.84
Date & Time	9/20/2015 8:45:41 AM	9/20/2015 9:27:10 AM	9/20/2015 1:40:07 PM	9/20/2015 1:43:47 PM	9/20/2015 2:17:05 PM	9/20/2015 2:28:31 PM
Power	100 watt	100 watt	100 watt	100 watt	100 watt	100 watt

4.5. Hasil Perhitungan Komunikasi Radio

Hasil perhitungan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan lokasi tujuan dan asal setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus

$$MOF = f_c \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \left(2R_B \sin\left(\frac{d}{2R_B}\right) \right)^2 + \left(h + \left(1 - \cos\left(\frac{d}{R_B}\right) \right) R_B \right)^2}{\left(h + \left(1 - \cos\left(\frac{d}{R_B}\right) \right) R_B \right)}}$$

Penentuan frekuensi maksimum suatu sirkit komunikasi radio digunakan perumusan frekuensi maksimum oblique (Maximum Oblique frequency, MOF) dengan f_c adalah frekuensi maksimum lapisan ionosfer dalam satuan MHz, sedangkan h menyatakan ketinggian lapisan ionosfer (km), d adalah jarak (km) antara stasiun pemancar dengan stasiun penerima, dan R_B adalah jari-jari Bumi yang diambil nilainya untuk daerah ekuator yaitu 6378.388 kilometer.

4.5.1. Hasil Perhitungan Pencarian ketinggian Ionosfer dan kerapatan

Penentuan untuk mencari ketinggian dilakukan dengan perhitungan rumus maximum oblique frekuensi (MOF) dengan di ketahui frekuensi kerja dengan menggunakan pendekatan iterasi, dan menggunakan 2 parameter yaitu batasan ketinggian pantulan dan batasan frekuensi kritis.

Hasil perhitungan pencarian ketinggian pada lapisan Ionosphere dan kerapatan electron sesuai dengan frekuensi kerja. Hasil perhitungan tampak pada tabel 4, table 5, tabel 6, tabel 7, tabel 8 dan tabel 9.

Tabel 4. Hasil Pencarian ketinggian pantulan dengan frekuensi 21.07138 MHz. (Bekasi - Jepang)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		184.9980 km	184.9985 km	184.9990 km	184.9995 km	185.0000 km	185.0005 km	185.0010 km	185.0015 km	185.0020 km	185.0025 km
1	6.000000	21.07139	21.07138	21.07137	21.07135	21.07134	21.07133	21.07132	21.07131	21.07130	21.07128
2	6.050000	21.24698	21.24697	21.24696	21.24695	21.24694	21.24693	21.24691	21.24690	21.24689	21.24688
3	6.100000	21.42258	21.42257	21.42256	21.42254	21.42253	21.42252	21.42251	21.42250	21.42248	21.42247
4	6.150000	21.59817	21.59816	21.59815	21.59814	21.59813	21.59811	21.59810	21.59809	21.59808	21.59807
5	6.200000	21.77377	21.77376	21.77374	21.77373	21.77372	21.77371	21.77370	21.77368	21.77367	21.77366

Tabel 5 Hasil Pencarian ketinggian dengan frekuensi 21.06994 MHz. (Bekasi - Afrika)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		134.8700 km	134.8710 km	134.8720 km	134.8730 km	134.8740 km	134.8750 km	134.8760 km	134.8770 km	134.8780 km	134.8790 km
1	7.650000	21.07001	21.07000	21.06999	21.06997	21.06996	21.06995	21.06994	21.06993	21.06992	21.06990
2	7.700000	21.20772	21.20771	21.20770	21.20769	21.20767	21.20766	21.20765	21.20764	21.20763	21.20762
3	7.750000	21.34543	21.34542	21.34541	21.34540	21.34539	21.34537	21.34536	21.34535	21.34534	21.34533
4	7.800000	21.48315	21.48313	21.48312	21.48311	21.48310	21.48309	21.48307	21.48306	21.48305	21.48304
5	7.850000	21.62086	21.62085	21.62083	21.62082	21.62081	21.62080	21.62079	21.62077	21.62076	21.62075

Tabel 6 Hasil Pencarian ketinggian dengan frekuensi 21.07210 MHz. (Bekasi - Austria)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		307.7700 km	307.7710 km	307.7720 km	307.7730 km	307.7740 km	307.7750 km	307.7760 km	307.7770 km	307.7780 km	307.7790 km
1	9.500000	21.07215	21.07214	21.07214	21.07213	21.07212	21.07212	21.07211	21.07210	21.07209	21.07209
2	9.550000	21.18306	21.18305	21.18304	21.18304	21.18303	21.18302	21.18301	21.18301	21.18300	21.18299
3	9.600000	21.29396	21.29396	21.29395	21.29394	21.29393	21.29393	21.29392	21.29391	21.29391	21.29390
4	9.650000	21.40487	21.40486	21.40485	21.40485	21.40484	21.40483	21.40483	21.40482	21.40481	21.40480
5	9.700000	21.51578	21.51577	21.51576	21.51575	21.51575	21.51574	21.51573	21.51572	21.51572	21.51571

Tabel 7 Hasil Pencarian ketinggian dengan frekuensi 21.07210 MHz. (Bekasi - Jerman)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		190.4950 km	190.4960 km	190.4970 km	190.4980 km	190.4990 km	190.5000 km	190.5010 km	190.5020 km	190.5030 km	190.5040 km
1	9.450000	21.07213	21.07212	21.07211	21.07211	21.07210	21.07209	21.07209	21.07208	21.07207	21.07207
2	9.500000	21.18362	21.18361	21.18361	21.18360	21.18359	21.18359	21.18358	21.18357	21.18356	21.18356
3	9.550000	21.29511	21.29511	21.29510	21.29509	21.29508	21.29508	21.29507	21.29506	21.29506	21.29505
4	9.600000	21.40661	21.40660	21.40659	21.40658	21.40658	21.40657	21.40656	21.40656	21.40655	21.40654
5	9.650000	21.51810	21.51809	21.51808	21.51808	21.51807	21.51806	21.51806	21.51805	21.51804	21.51803

Tabel 8 Hasil Pencarian ketinggian dengan frekuensi 21.06937 MHz. (Bekasi - Thailand)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		236.9500 km	236.9510 km	236.9520 km	236.9530 km	236.9540 km	236.9550 km	236.9560 km	236.9570 km	236.9580 km	236.9590 km
1	6.150000	21.06955	21.06949	21.06943	21.06937	21.06931	21.06925	21.06919	21.06914	21.06908	21.06902
2	6.200000	21.24084	21.24078	21.24073	21.24067	21.24061	21.24055	21.24049	21.24043	21.24037	21.24031
3	6.250000	21.41214	21.41208	21.41202	21.41196	21.41190	21.41184	21.41178	21.41172	21.41166	21.41160
4	6.300000	21.58344	21.58338	21.58332	21.58326	21.58320	21.58314	21.58308	21.58302	21.58296	21.58290
5	6.350000	21.75474	21.75467	21.75461	21.75455	21.75449	21.75443	21.75437	21.75431	21.75425	21.75419

Tabel 9 Hasil menentukan ketinggian dengan frekuensi 21.06984 MHz. (Bekasi - Belgia)

No	Frekuensi kritis - MHz	Ketinggian Pantulan (Height km) / Frekuensi Kerja (MHz)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		187.9500 km	187.9550 km	187.9600 km	187.9650 km	187.9700 km	187.9750 km	187.9800 km	187.9850 km	187.9900 km	187.9950 km
1	9.550000	20.63767	20.63764	20.63761	20.63758	20.63755	20.63752	20.63749	20.63745	20.63742	20.63739
2	9.600000	20.74572	20.74569	20.74566	20.74563	20.74560	20.74557	20.74554	20.74550	20.74547	20.74544
3	9.650000	20.85377	20.85374	20.85371	20.85368	20.85365	20.85362	20.85359	20.85355	20.85352	20.85349
4	9.700000	20.96182	20.96179	20.96176	20.96173	20.96170	20.96167	20.96163	20.96160	20.96157	20.96154
5	9.750000	21.06988	21.06984	21.06981	21.06978	21.06975	21.06972	21.06968	21.06965	21.06962	21.06959

4.5.2. Hasil Perhitungan Pencarian detail ketinggian

Hasil perhitungan komunikasi terhadap frekuensi kerja yang nilai sudah di diketahui, dapat di lihat pada tabel 10.

Tabel 10 Hasil perhitungan propagasi dan Kerapatan Electron

No	Hubungan Komunikasi Radio	Frekuensi Kerja(MHz)	Jarak (km)	Ketinggian Pantulan (km)	Kerapatan Elecron Ne/m ³	Ionosfer Siang
1	Bekasi – Jepang	21.07138	5780	184.9985	6	Daerah F1
2	Bekasi - Afrika	21.06994	8723.6	134.876	7.65	Daerah F1
3	Bekasi – Austria	21.0721	10543.9	307.777	9.5	Daerah F2
4	Bekasi – Jerman	21.0721	11030.1	190.499	9.45	Daerah F1
5	Bekasi – Thailand	21.06937	2162.4	236.953	6.15	Daerah F2
6	Bekasi - Belgia	21.06984	11484.9	187.955	9.75	Daerah F1

4.5.3. Pembahasan perhitungan dengan pencarian ketinggian dan kerapatan

Pengolahan data setelah dilakukan perhitungan yang di lakukan dari hasil komunikasi radio. Perhitungan yang di lakukan dengan menggunakan metode iterasi yang sudah di ketahui frekuensi kerja, maka di dapatkan nilai ketinggian masing-masing dan frekuensi kritis sesuai dengan tabel 9. Hubungan komunikasi di dapat adanya persamaan frekuensi kerja pada gelombang 21.0721 MHz antara komunikasi Bekasi dengan Austria dan Bekasi dengan Jerman ada perbedaan ketinggian yang di pengaruhi oleh jarak komunikasi yang berbeda.

Frekuensi maksimum merupakan satu besaran yang sangat penting dalam komunikasi HF (3 – 30 MHz). frekuensi maksimum sangat bergantung kepada dua hal yakni frekuensi kritis pada titik pantul di lapisan ionosfer dan geometri dari sirkit komunikasinya maka di dapat hasil seperti pada tabel 9.

4.6. Perhitungan dengan pemanfaatan International Reference Iionosfer 2012

Setelah di ketahui ketinggian dan kriteria layer dari hasil perhitungan dengan menggunakan Multi Quasi Parabolic selanjutnya menentukan waktu yang tepat untuk melakukan komunikasi, karena waktu tersebut sangat berpengaruh oleh electron desinty pada lapisan ionosphere.

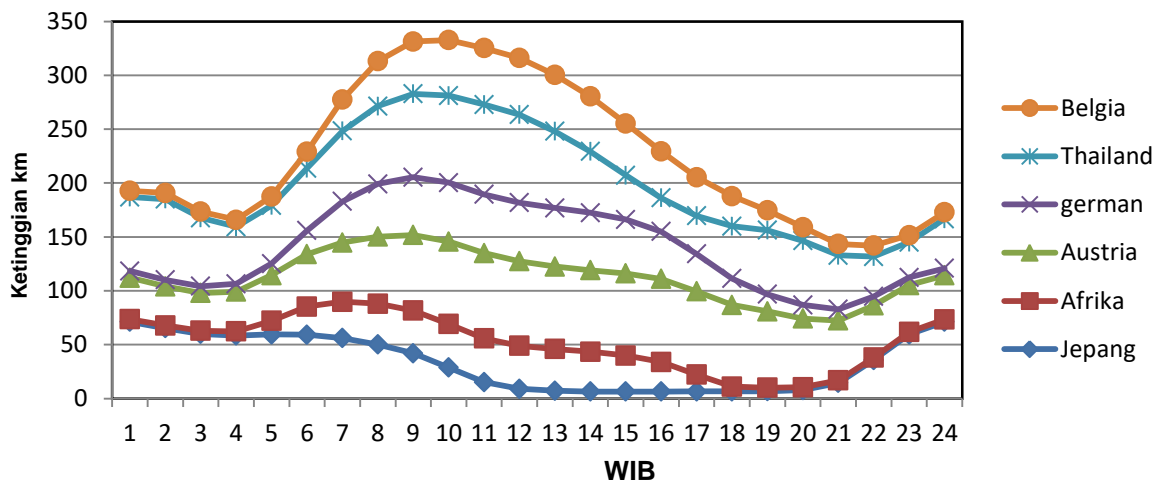
Berikut ini merupakan hasil pemanfaatan aplikasi IRI2012 dengan mengimputkan data sesuai dengan parameter yaitu waktu komunikasi terjadi, Jarak atau posisi pemancar dan penerima serta ketinggian pada lapisan layer yang sudah di tentukan. Nilai yang di inputkan pada aplikasi International reference Ionosfer sudah diperoleh melalui perhitungan Maximum Obliqe Frekuensi.

Tabel 11 Hasil Pemanfaatan aplikasi IRI2012

Jam WIB	Height dan Electron density (Ne)/m ³					
	Japan 184 km	Africa 134 km	Austria 307 km	German 190 km	Thailand 236 km	Belgian 187 km
00.00	71.1983146	2.35684111	38.6044039	6.16335947	68.62069659	5.78843675
01.00	65.2556511	2.57980619	36.1897776	6.09598228	74.94598055	5.74369219
02.00	59.8790447	3.03516062	35.0099986	6.33585038	63.32850859	5.90330416
03.00	58.5192276	3.78219513	36.7994565	7.29390156	52.89423409	6.52548849
04.00	59.4920163	12.618637	42.3001182	10.798148	53.93236505	8.36062199
05.00	59.2562233	26.1095768	48.5860062	22.0186285	57.77369644	15.3577342
06.00	56.0267793	33.8393262	54.8579985	38.2962139	65.3536533	29.2829302
07.00	50.1168634	37.9736751	62.2470883	48.7698677	72.20526297	41.7959328
08.00	41.9726101	39.7076819	70.1077742	53.6227564	77.3420972	48.5952673
09.00	28.7626494	40.3670658	76.4722172	54.7795582	80.8282129	51.5567648
10.00	15.2843057	40.457385	79.1549114	54.5554764	83.38165266	52.4461629
11.00	9.009051	40.000000	78.3300709	54.4784361	81.69149283	52.6079842
12.00	7.13211049	38.9024421	76.4434431	54.3976102	71.18988692	52.3306793
13.00	6.52947165	36.9201842	75.6392755	53.286959	56.95963483	51.094031
14.00	6.41693073	33.4574356	76.151822	50.1168634	40.98292327	48.2213646
15.00	6.51421523	27.4441251	77.0383022	44.0386194	31.23347563	43.1868035
16.00	6.6202719	15.6358562	77.2677164	34.6655449	35.44996474	35.8022346
17.00	6.6434178	4.41859706	75.7053499	24.5240698	48.6970225	27.8425933
18.00	6.82561353	3.15992089	70.96478	15.8496057	59.41801074	18.443427
19.00	7.77418806	2.64811254	63.7565683	12.6043643	59.55081863	12.7393092
20.00	14.4516435	2.38796985	55.593165	10.4312032	50.02999101	10.5749704
21.00	35.6819282	2.27510439	48.4159065	8.27719759	37.09851749	10.2693719
22.00	59.4348383	2.2304708	43.6199496	7.03718694	32.67873927	6.65875364
23.00	71.2179753	2.26245442	40.8705273	6.4366917	46.02933847	6.03315838

4.7. Pengamatan Waktu Komunikasi Radio

Komunikasi dapat dilakukan kapan saja, akan tetapi waktu komunikasi radio gelombang High Frekuensi memiliki karakteristik yang khusus dan sangat dipengaruhi oleh fenomena alam. Dari tabel 10 dapat disimpulkan bahwa komunikasi yang terbaik dapat dilakukan antara waktu 20.00 s.d 01.00 dilakukan malam hari karena kepadatan lapisan electron density pada lapisan layer berbeda dengan kondisi waktu di siang hari.



Gambar 14. Kondisi Kerapatan Electron Berdasarkan waktu

5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan terhadap komunikasi radio High Frekuensi dengan memanfaatkan lapisan ionosfer dan model pendekatan Multi Quasi Parabolic konvensional di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Komunikasi dengan menggunakan gelombang radio pada frekuensi High Frekuensi dilakukan sebanyak 52 kali namun yang sudah di konfirmasi hanya 15 stasiun radio.
2. Pada perhitungan hanya di lakukan 6 scanerio dengan hasil yang di dapat komunikasi radio dengan jarak 5.780 km dari bekasi ke jepang gelombang dipantulkan melalui lapisan ionosfer dengan ketinggian 184 km dengan kerapatan electron 6 Ne/cm^3
3. International Reference Ionosfer merupakan lembaga yang bergerak sebagai riset antariksa. Dan menyediakan aplikasi perhitungan untuk mengetahui pemanfaatan dan analisa. Parameter yang di inputkan oleh aplikasi yang disediakan oleh International Reference dapat lebih terperinci yaitu mengimputkan waktu komunikasi yaitu tanggal bulan dan tahun, lokasi pemancar dan penerima radio
4. Hasil pengamatan melalui international reference ionosfer waktu komunikasi yang sangat baik dilakukan mulai pukul 20.00 s.d 01.00.

5.2. Saran

1. Saran yang ditambahkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :
2. Pada saat melakukan komunikasi radio frekuensi hanya di frekuensi 21 MHz
3. Untuk mendapatkan perhitungan yang teliti, sebaiknya perhatikan dalam melakukan iterasi untuk mencari ketinggian pantulan gelombang
4. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan perhitungan dengan berbasis website secara online

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alaydrus, M (2014), Medan Elektromagnetik, Penerbit Andi.
- [2] Alaydrus, M (2011), Antena: Prinsip dan Aplikasi, Penerbit Graha Ilmu.
- [3] T. Bayong, (2016) Ilmu Kebumihan dan Antariksa, Penerbit Remaja Rosdakarya.
- [4] Fabrizio, G. (2013), High Frequency Over The Horizon Radar, Fundamental Principle, Signal Processing, And Pratical Application, McGraw Hill.
- [5] Hayt, W.H., John A. Buck (2011), Engineering Electromagnetics, eight. Edition, McGraw-Hill Companies
- [6] H. L Krauss, Charles W. Bostin dan Federick H. Raab (1990), Teknik Radio Benda Padat, Universitas Indonesia.
- [7] Mesiya, MF (2012), Contemporary Communication System, McGraw Hill
- [8] Goral, PB., HF SSB User's Guide & Professional Product Catalog
- [9] Schenk, TCW., R.J.C. Bultitude, L.M. Augustin, R.H. van Poppel and G. Brussaard, Analysis of Propagation Loss in Urban Microcells at 1.9 GHz and 5.8 GHz, Proc. URSI Commison F Open Symposium on Radiowave Propagation and Remote Sensing, Garmisch-Partenkirchen, Germany, February 12-15, 2002.
- [10] Shanmugam, K.Sam (2013), Digital And Analog Communication System, Wiley.
- [11] Suhana dan Shigeki Shoji (1981), Pengantar Teknik Telekomunikasi, Penerbit Pt Pradnya Paramita.
- [12] J. Sun, Xiao-Juan Zhang, (2016) Multi-quasi-parabolic ionosphere model with EF-valley Journal Annals of Geophysics, 59, 2, 2016, A0213; doi:10.4401/ag-6780
- [13] Tan, D., Xiaogang Chen, Investigation of transmission performance of single sideband radio over fiber link, Journal of Physics Conference Series 276 (2011) 012091.
- [14] Uke Kurniawan Usman, (2010) *Pengantar Ilmu Telekomunikasi*, Penerbit Informatika Bandung,
- [15] Usman, U K, dan Hantoro, G D. (2008) *Konsep Teknologi Selurer*, Penerbit Informatika Bandung,
- [16] Wilardjo, Liek, (2015) *Gelombang Electromagnetik* Penerbit Graha Ilmu
- [17] Wavetm User Guide, Release march 2012, copyright 2012 Stenograph, LLC, www.stenograph.com
- [18] Wahyuni Khabzli (2014), Pengukuran Karakteristik Propagasi Kanal HF Untuk Komunikasi Data Pada Band Maritim, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 2, No. 2, Oktober 2014, 207-216.
- [19] [HTTP://WWW.qrz.com](http://WWW.qrz.com)
- [20] http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html