



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PERHITUNGAN *DELAY* PROPAGASI BERDASARKAN  
DATA *TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC)* SEBAGAI  
VERIFIKASI HASIL PENGUKURAN SISTEM  
KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY (HF)* DI DAERAH  
EKUATOR**

Dita Novali Putri Rahayu  
NRP 2213 106 077

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Buldan Muslim, M.Si

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DELAY PROPAGATION CALCULATION BASED ON  
TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) DATA AS  
VERIFICATION RESULT FOR HIGH FREQUENCY (HF)  
COMMUNICATION SYSTEM MEASUREMENT IN  
EQUATORIAL AREA**

Dita Novali Putri Rahayu  
NRP 2213 106 077

Supervisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Buldan Muslim, M.Si

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERHITUNGAN DELAY PROPAGASI BERDASARKAN DATA  
TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) SEBAGAI VERIFIKASI  
HASIL PENGUKURAN SISTEM KOMUNIKASI HIGH  
FREQUENCY (HF) DI DAERAH EKUATOR**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

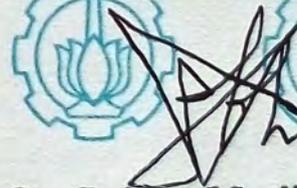
**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I,**



**Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 1970 11 11 1993 03 1002

**Dosen Pembimbing II,**



**Dr. Buldan Muslim, M.Si**  
NIP. 1965 07 26 1991 10 1001



## **Perhitungan *Delay Propagasi* Berdasarkan Data *Total Electron Content (TEC)* Sebagai Verifikasi Hasil Pengukuran Sistem Komunikasi *High Frequency (HF)* di Daerah Ekuator**

Nama : Dita Novali Putri Rahayu  
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Buldan Muslim, M.Si

### **ABSTRAK**

Sistem komunikasi radio *High Frequency (HF)* memiliki kelebihan yakni dapat memberikan transmisi jarak jauh, biaya relatif murah serta fleksibel. Sistem komunikasi HF menggunakan ionosfer sebagai media transmisi gelombang. Sinyal dari antena akan berpropagasi di media ionosfer dan kemudian akan dipantulkan menuju ke penerima. Media ionosfer berubah-ubah ketinggiannya sesuai dengan kerapatan elektron yang terkandung di dalamnya. Lapisan ionosfer terdiri dari lapisan D,E, F1 dan F2. Lapisan ionosfer F2 merupakan lapisan trepenting dalam sistem komunikasi HF. Hal tersebut disebabkan karena lapisan F2 selalu ada ketika lapisan di bawahnya menghilang. Kerapatan elektron suatu lapisan ionosfer tergantung pada cahaya matahari, iklim, dan lokasi. Perbedaan ketinggian ionosfer mempengaruhi frekuensi HF yang dapat dipantulkan. Makin tinggi kerapatan elektron ionosfer maka frekuensi yang dapat dipantulkan adalah frekuensi yang makin tinggi. Sistem komunikasi radio HF digunakan untuk sistem komunikasi jarak jauh. Semakin jauh jarak dari pemancar ke penerima maka *delay propagasi* akan semakin besar. Apalagi ditambah dengan media propagasi yang berubah-ubah tergantung lapisan yang memantulkan frekuensi. Maka jarak tempuh lintasan akan berbeda dan berpengaruh terhadap *delay propagasinya*.

**Kata Kunci :** Komunikasi HF, ionosfer, *delay*

***Delay Propagation Calculation Based On Total Electron Content (TEC) As Verification Result For High Frequency (HF) Communication System Measurement In Equatorial Area***

Name : Dita Novali Putri Rahayu  
Advisors : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Buldan Muslim, M.Si

***ABSTRACT***

Radio communication systems High Frequency (HF) has the advantage that can provide long-distance transmission, relatively low cost and flexible. HF communication system using the ionosphere as a medium wave transmission. The signal from the antenna will propagate in the ionosphere and the media will then be reflected towards the receiver. Media ionosphere change its height according to the density of electrons contained therein. Ionosphere layer consists of layers D, E, F1 and F2. Ionosphere F2 layer merupakan trepenting in HF communications systems. This is because there is always the F2 layer when the layer bawhanya disappeared. A layer ionospheric electron density depends on sunlight, climate, and location. The difference in height of the ionosphere affects the HF frequency that can be reflected. The higher the electron density of the ionosphere, the frequency can be reflected is that the higher the frequency. HF radio communication system is used for long-distance communication systems. The farther the distance from the transmitter to the receiver, the propagation delay will be even greater. Moreover, coupled with the propagation medium changes depending on the frequency reflective layer. Then track mileage will vary and affect the propagation delay.

***Keywords:*** HF Communication, ionosphere, delay

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kepada Tuhan, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan judul:

### **PERHITUNGAN *DELAY* PROPAGASI BERDASARKAN DATA *TOTAL ELECTRON CONTENT* (TEC) SEBAGAI VERIFIKASI HASIL PENGUKURAN SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY* (HF) DI DAERAH EKUATOR**

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama proses menyelesaikan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orangtua penulis yaitu Bapak Giyanto, B.A dan Sumarmi, S.Sos.
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Buldan Muslim, M.Si selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik elektro ITS
4. Semua rekan-rekan di lab antena dan propagasi.
5. Teman-teman LJ Elektro ITS 2013

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari banyaknya keterbatasan. Oleh karena itu penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran untuk perbaikan karya tugas akhir ini.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro bidang Studi Telekomunikasi Multimedia pada khususnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
1.6 Relevansi.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Ionosfer.....	5
2.1.1 Lapisan D.....	5
2.1.2 Lapisan E.....	5
2.1.3 Lapisan F.....	6
2.2 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio HF.....	6
2.3 Komunikasi Radio High Frequency (HF).....	7
2.4 <i>Total Electron Content</i> .....	9
2.5 <i>Global Positioning System</i> .....	10
2.6 Frekuensi Kritis Lapisan F2 (foF2).....	12
2.7 <i>Maximum Usable Frequency</i> .....	13
2.8 International Reference Ionosphere (IRI) Model.....	14
2.9 Kendala pada Sistem Komunikasi HF.....	14
2.10 <i>Delay</i> Propagasi.....	17
2.11 Proses Korelasi untuk mendapatkan Respon Impuls.....	18
2.12 <i>Threshold Decision</i> .....	20
2.13 <i>Power Delay Profile (PDP)</i> .....	22
BAB 3 PROSES PENGOLAHAN DATA.....	23
3.1 Skenario Pengambilan Data Pengukuran.....	23
3.2 Link Komunikasi Sistem Komunikasi HF.....	23

3.3 Mendapatkan Data TEC dari GPS .....	26
3.4 Mendapatkan TEC dan Kerapatan Elektron dari IRI Model.....	27
3.5 Pendekatan Data Real Dari GPS dengan Data IRI.....	28
3.6 Perhitungan Kerapatan Elektron Maksimum Pada B1 .....	29
3.7 Perhitungan Frekuensi Kritis .....	29
3.8 Perhitungan Ketinggian Lapisan Pemantul.....	30
3.9 Perhitungan Delay Propagasi.....	30
3.10 Perhitungan Data Pengukuran .....	31
<b>BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>	<b>33</b>
4.1 Nilai TEC dari titik B2 dan B3 .....	33
4.2 Perhitungan Kerapatan Elektron .....	36
4.3 Perhitungan Frekuensi Kritis.....	44
4.4 Perhitungan Ketinggian Lapisan Pemantul.....	48
4.5 Perhitungan <i>Delay</i> Propagasi.....	52
4.6 <i>Delay</i> Mode Propagasi 1F dan 2F Pengukuran.....	57
4.7 Sintesis .....	59
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN B.....</b>	<b>75</b>
<b>RIWAYAT PENULIS.....</b>	<b>79</b>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan banyak pulau kecil tersebar dari Sabang hingga Merauke. Negara dengan banyak kepulauan akan terkendala dalam pembangunan yang merata karena kondisi geografisnya. Sebagai contoh, Indonesia bagian timur masih jauh tertinggal dengan Pulau Jawa yang memiliki kepadatan penduduk terbesar di Indonesia. Hal tersebut juga berlaku pada perkembangan telekomunikasi di Indonesia Timur yang masih terkendala biaya infrastruktur yang mahal dengan populasi penduduk yang kecil. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah komunikasi dengan menggunakan sistem komunikasi *High Frequency* (HF) dengan media ionosfer sebagai pemantul gelombang. Dengan sistem komunikasi HF tidak diperlukan infrastruktur yang mahal, mudah dalam pengoperasian dan dapat menjangkau jarak yang jauh (hingga 3000 km). Jarak lintasan dari Surabaya-Merauke yang jauh dapat menyebabkan waktu propagasi dari pengirim yang cukup besar untuk sampai di penerima. Di sisi lain, delay merupakan salah satu parameter *Quality of Service* dalam telekomunikasi. Oleh sebab itu penting untuk memperhitungkan delay propagasi dalam sistem komunikasi HF.

Lapisan ionosfer yang terpenting dalam sistem komunikasi HF adalah lapisan F2. Lapisan F2 merupakan lapisan yang selalu ada saat lapisan yang lain menghilang. Oleh sebab itu, agar sistem komunikasi HF dapat digunakan setiap waktu maka yang menjadi perhatian adalah pemantulan sinyal pada lapisan F2. Frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan oleh lapisan F2 bergantung kepada kerapatan elektron ionosfer. Makin tinggi kerapatan elektronnya maka frekuensi yang dipantulkan semakin tinggi. TEC dapat diperoleh dari model IRI (*International Reference Ionosphere*) maupun dari data *Global Positioning System* (GPS). Dikarenakan jumlah GPS di Indonesia bagian timur yang terbatas maka data TEC dapat diperoleh dari pendekatan TEC real dibandingkan dengan data IRI.

Di daerah equatorial seperti Indonesia terjadi fenomena *Equatorial Spread-F* (ESF). Fenomena ini berpotensi menyebabkan delay spread yang lebih besar dibandingkan daerah subtropis atau kutub.

Dengan kondisi jarak yang jauh maka akan berpengaruh terhadap delay di penerima. Hal tersebut juga dipengaruhi dengan ketinggian ionosfer yang berubah-ubah sehingga lintasan propagasi sinyal HF juga berubah. Pada malam hari, saat radiasi matahari tidak ada, banyak ion-ion yang bergabung kembali menjadi molekul-molekul. Kondisi ini menentukan banyaknya lapisan dalam ionosfer. Semakin rapat kerapatan elektron di suatu lapisan ionosfer maka kecepatan sinyal untuk merambat semakin kecil sehingga memperbesar *delay* propagasi. Karena kondisi yang bervariasi itulah maka diperlukan pengamatan ionosfer sebagai kanal HF. Banyaknya lapisan juga mempengaruhi waktu sinyal sampai ke penerima. Oleh sebab itu, diperlukan verifikasi *delay* propagasi untuk sistem komunikasi HF.

Mode lintasan propagasi sistem komunikasi HF ada beberapa macam, sebagai contoh 1F, 2F, 3F, 1E, 2E dan 3E. Dikarenakan lapisan F yang selalu ada maka fokus pengamatan adalah untuk mode propagasi 1F dan 2F. Dengan mengetahui delay propagasi antara 1F dan 2F maka dapat digunakan sebagai analisa karakteristik kanal sistem komunikasi HF. Apabila *delay* propagasi besar, maka kondisi kanal sedang jelek dan ada kemungkinan terjadi gangguan pada kanal.

## 1.2 Permasalahan

Penelitian pada tugas akhir ini dilakukan melalui perumusan masalah sebagai berikut.

1. Model ionosfer untuk lintasan sistem komunikasi HF Surabaya-Merauke.
2. Frekuensi yang dapat dipantulkan untuk mode propagasi 1F dan 2F *link* komunikasi Surabaya-Merauke. Ketinggian lapisan ionosfer saat sinyal HF dipantulkan
3. Efek mode lintasan propagasi sistem komunikasi HF terhadap delay di penerima.

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

1. Mengetahui karakteristik ionosfer sepanjang lintasan propagasi Surabaya-Merauke pada tanggal 11-14 Mei 2015.
2. Mengetahui delay propagasi dari Surabaya ke Merauke akibat perubahan ionosfer terhadap proses penerimaan sinyal HF.

3. Membandingkan perbedaan *delay* 1F dan 2F antara perhitungan dengan data pengukuran.

## **1.4 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Untuk dapat memahami permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini, maka dilakukan studi literatur tentang sistem komunikasi HF dan lapisan ionosfer.
2. Pengumpulan Data  
Data yang dibutuhkan merupakan data real dari LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa) yang ada di Bandung. Data real diperlukan untuk mengetahui kondisi real pengukuran TEC dan mendapatkan data yang akurat.
3. Pengolahan Data  
Data TEC kemudian diolah untuk mendapatkan kerapatan elektron untuk selanjutnya digunakan untuk perhitungan delay sistem komunikasi HF. Namun karena data TEC dari LAPAN terbatas disebabkan karena jumlah GPS (*Global Positioning System*) yang tersebar di wilayah Indonesia Timur yang masih terbatas maka dilakukan dengan membandingkan dengan data model.
4. Kesimpulan  
Penerikan kesimpulan tentang delay komunikasi HF di daerah ekuatorial.

## **1.5 Sistematika Pembahasan**

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

### **BAB 1Pendahuluan**

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansinya.

### **BAB 2Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka mengenai karakteristik propagasi gelombang radio HF, komunikasi *High-Frequency* (HF), karakteristik lapisan ionosfer, TEC

### **BAB 3 Proses Pengolahan Data**

Bab ini membahas skenario pengumpulan data TEC berdasarkan dari 2 sumber yaitu dari model IRI dan data real GPS.

### **BAB 4 Pengujian Sistem dan Analisis**

Bab ini berisi hasil berupa grafik dan data disertai analisis dari simulasi kinerja yang telah dilakukan.

### **BAB 5 Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis pada bab 4.

## **1.6 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Untuk penelitian sistem komunikasi HF Surabaya-Merauke selanjutnya, agar dapat diketahui delay akibat ionosfer.
2. Sistem komunikasi HF dapat digunakan sebagai sistem komunikasi alternatif bagi masyarakat di daerah terpencil.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Ionosfer**

Ionosfer adalah lapisan pada atmosfer yang terletak pada ketinggian 50-500 km dari permukaan bumi. Pada kenyataannya, tidak ada batas atas ketinggian ionosfer yang jelas. Disebut lapisan ionosfer karena mengalami proses ionisasi yang disebabkan oleh radiasi matahari. Lapisan ionosfer ini memiliki peranan penting dalam sistem komunikasi HF skywave sebagai media pemantul sinyal komunikasi kembali ke bumi. Perbedaan derajat ionisasi membagi ionosfer ini menjadi beberapa lapisan.

##### **2.1.1 Lapisan D**

Merupakan lapisan paling bawah dalam lapisan ionosfer. Lapisan ini memiliki sifat menyerap gelombang radio pada frekuensi HF. Lapisan D hanya muncul pada siang hari dan akan menghilang pada malam hari[1]. Tingkat ionisasinya adalah sesuai dengan kondisi radiasi matahari, yang mencapai puncaknya pada siang hari. Dan itu berbanding lurus dengan tingkat penyerapannya yang juga mencapai maksimum di siang hari. Selain itu tingkat penyerapan oleh lapisan D lebih besar saat musim panas dibandingkan pada musim dingin. Serta terdapat juga variasi terhadap derajat garis lintang bumi, dimana penyerapan akan lebih besar di daerah ekuator, dan makin mengecil mendekati daerah kutub. Frekuensi yang lebih rendah akan terserap lebih besar, sehingga sebaiknya menggunakan frekuensi terbesar yang dimungkinkan.

##### **2.1.2 Lapisan E**

Sejarahnya, lapisan ini adalah lapisan ionosfer pertama yang ditemukan, dimana "E" berarti electric field. Tergantung dari level daya pancar dan frekuensi yang digunakan, suatu sinyal dapat direfraksikan kembali ke bumi ataupun diteruskan ke lapisan F. Sehingga dia bukan merupakan lapisan utama yang dimanfaatkan dalam komunikasi High Frequency. Komunikasi HF yang memanfaatkan lapisan E hanya dapat digunakan pada siang hari, karena pada malam hari lapisan ini akan menghilang atau melakukan rekombinasi dengan lapisan lain.[1]

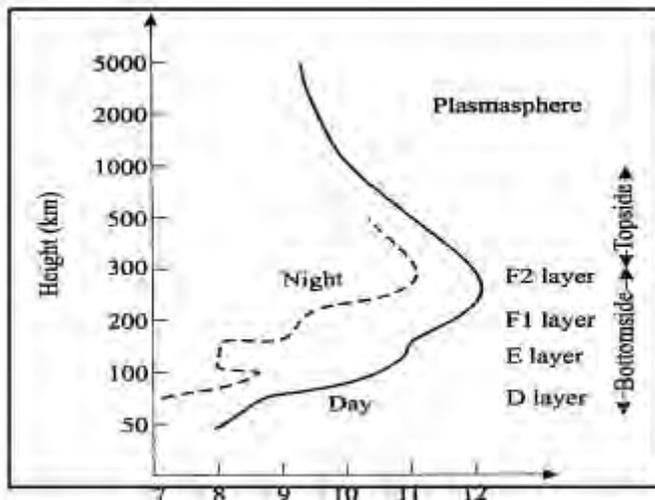
### **2.1.3 Lapisan F**

Pada siang hari, lapisan ini terbagi menjadi 2 yakni lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian 140-210 km, sedangkan lapisan F2 berada di ketinggian lebih dari 300 km. Lapisan F2 merupakan lapisan yang paling penting dalam propagasi gelombang HF, karena muncul sepanjang hari selama 24 jam, ketinggian lapisan ini juga memungkinkan lajur komunikasi yang paling jauh, serta mampu memantulkan gelombang radio pada range frekuensi tertinggi HF. Sedangkan lapisan F1 tidak selalu muncul, khususnya pada malam hari dimana lapisan ini menghilang atau bergabung dengan lapisan lain. [1] Sehingga secara umum tidak diperhitungkan dalam perkiraan mode propagasi gelombang HF. Seringkali komunikasi HF skywave dengan menggunakan pantulan lapisan F, adalah merujuk kepada penggunaan lapisan F2.

## **2.2 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio HF**

Propagasi gelombang radio HF bekerja pada rentang frekuensi 3-30 MHz. Sifat gelombang HF yang memanfaatkan pemantulan pada lapisan ionosfer, walaupun pada kenyataannya proses yang terjadi adalah refraksi[1], untuk melakukan propagasi menyebabkan dia mampu mencapai jarak yang jauh. Serta tidak terpengaruh akan adanya objek penghalang diantara pemancar dan penerima[2]. Sehingga lapisan ionosfer menjadi hal penting dalam propagasi radio HF.

Lapisan ionosfer itu sendiri terdiri dari beberapa lapisan, yakni lapisan D, lapisan E, serta lapisan F yang terbagi menjadi F1 dan F2. Hanya lapisan E, F1, dan F2 yang mampu merefraksikan gelombang HF. Sedangkan lapisan D penting juga untuk diperhatikan karena selama dia tidak merefraksikan gelombang radio HF, dia justru menyerap dan mengatenuasinya[3]. Kualitas propagasi HF itu sendiri sangat ditentukan oleh kondisi lapisan ionosfer. Sehingga dengan kata lain juga terpengaruh oleh kondisi radiasi matahari, dimana saat siang hari dimana radiasi matahari sedang tinggi-tingginya akan mencapai kualitas propagasi yang terbaik. Sedangkan pada malam hari, saat tidak ada radiasi matahari, kualitas propagasi akan buruk, dan akan mencapai kondisi terburuknya pada dini hari sebelum matahari pagi muncul.



**Gambar 2.1** Kerapatan Elektron [4]

Ada 3 komponen yang menentukan keberhasilan komunikasi dengan menggunakan gelombang ionosfer pada frekuensi HF yakni pemilihan frekuensi, sudut elevasi, dan daya pancar. Sedangkan untuk antenna, yang biasa digunakan untuk komunikasi HF adalah antenna dipole setengah panjang gelombang ( $1/2 \lambda$ ) [2]. Pemilihan frekuensi bergantung kepada kondisi kerapatan elektron di ionosfer, sedangkan sudut elevasi ditentukan oleh jarak antara pemancar dan penerima, serta ketinggian lapisan ionosfer. Sedangkan besarnya daya pancar dipengaruhi oleh redaman sepanjang lintasan propagasi, sehingga harus ditentukan daya pancar yang cukup untuk mencapai penerima dengan daya yang melebihi sensitifitas penerima.

### 2.3 Komunikasi Radio High Frequency (HF)

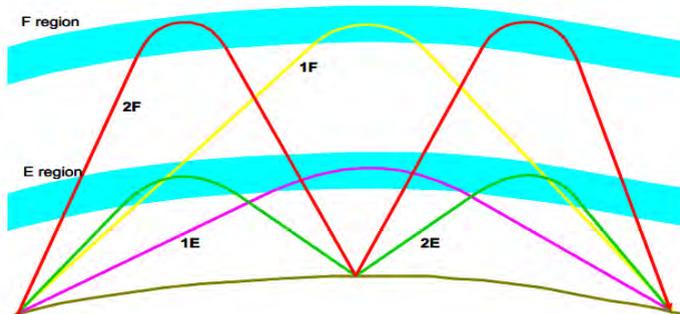
Komunikasi radio *High Frequency* merupakan komunikasi radio yang bekerja pada rentang frekuensi 3 – 30 MHz, sebagaimana didefinisikan pada pembagian *band* frekuensi dari ITU-T berikut ini:

**Tabel 2.1 Pembagian pita frekuensi[5]**

Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi
Extremely low frequency (ELF)	< 3 kHz
Very low frequency (VLF)	3 – 30 kHz
Low frequency (LF)	30 – 300 kHz
Medium frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz
High frequency (HF)	3 – 30 MHz
Very high frequency (VHF)	30 – 300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Super high frequency (SHF)	3 – 30 GHz
Extra high frequency (EHF)	30 – 300 GHz

Komunikasi radio HF memiliki sifat khusus yakni dipantulkan oleh lapisan ionosfer di langit, yakni lapisan di atmosfer bumi setinggi 50-500 Km yang terionisasi dikarenakan radiasi matahari [3]. Secara umum ada 3 *mode* dari propagasi HF yakni propagasi gelombang tanah (*ground wave*), propagasi NVIS (*Near-Vertical Incidence Skywave*), serta yang paling umum adalah propagasi gelombang langit atau *skywave* [6].

Mode propagasi HF *skywave* yang paling sering dipakai dalam komunikasi HF. Dalam propagasinya memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan kembali sinyal ke bumi. Dengan begitu dia bisa mencapai jarak propagasi yang jauh. Lapisan ionosfer yang mampu memantulkan propagasi sinyal HF adalah lapisan E dan F. Dalam proses pemantulan oleh ionosfer, bisa terjadi lebih dari satu pantulan, atau dikenal dengan nama hop. Untuk jarak dekat digunakan mode *single* hop, sedangkan untuk jarak yang relatif jauh digunakan banyak pantulan atau multihop.



**Gambar 2.2** Beberapa mode perambatan gelombang HF *Sky-wave* [3]

## 2.4 Total Electron Content

Ionosfer mempengaruhi gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui lapisan tersebut berupa tambahan waktu tunda propagasi. Besar pengaruh tunda tersebut ditentukan oleh kandungan elektron total (*Total Electron Content/TEC*) dan frekuensi gelombang elektromagnetik yang digunakan. TEC adalah kandungan elektron total dalam suatu silinder berpenampang 1 meter persegi yang panjangnya sama dengan jarak dari satelit ke penerima GPS. TEC dapat diperoleh dengan rumus berikut:

$$TEC = \int_{60}^{2000} n(h)dh, \quad (2.1)$$

dimana,  $n(h)$  adalah kerapatan elektron sebagai fungsi ketinggian lapisan ionosfer  $h$ , dan nilai  $h$  mulai dari ketinggian 60 km hingga 2000 km [7].

Untuk wilayah Indonesia, penerima sinyal GPS frekuensi ganda berisi pengamatan kode dan fasa pada frekuensi L1 (1575.42 MHz) dan L2 (1227.60 MHz). Dalam pemodelan VTEC regional di atas wilayah Indonesia menggunakan persamaan

$$VTEC(\phi, \lambda) = A + \sum_{n=1}^N B_n \phi^n + \sum_{m=1}^M C_m \lambda^m \quad (2.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$\phi$  dan  $\lambda$  adalah lintang dan bujur geografis,

N adalah orde fungsi polinom dengan variabel lintang,

M adalah orde fungsi polinom dengan variabel bujur,

N dan M dapat ditentukan berdasarkan kriteria rata-rata kesalahan mutlak yang terkecil antara model dengan data pengamatan.

A,B,C dihitung berdasarkan jam tertentu.[8]

Kerapatan elektron dapat dihitung dari nilai TEC. Untuk mendapatkan nilai kerapatan elektron dapat dicari dengan pendekatan:

$$Ne_{real} = \frac{Ne_{IRI Model}}{TEC_{IRI Model}} \times TEC_{GPS} \quad (2.3)$$

Dengan nilai  $Ne_{IRI Model}$  merupakan kerapatan elektron dari Model IRI,  $TEC_{IRI Model}$  merupakan TEC yang diperoleh dari model IRI dan  $TEC_{GPS}$  diperoleh dari data TEC GPS.

## 2.5 Global Positioning System

*Global Positioning System* (GPS) adalah sistem radio navigasi navigasi berbasis satelit yang terdiri dari 24 jaringan satelit yang ditempatkan di orbit. Sistem dapat digunakan dalam segala cuaca apapun didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan informasi waktu secara kontinyu. Satelit dapat bekerja dengan maksimal tergantung terhadap kondisi langit yang cerah dan juga tidak adanya halangan sehingga akurasi akan semakin tinggi.

Satelit GPS memancarkan sinyal-sinyal gelombang elektromagnetik yang diterima oleh antena *receiver* GPS. Sinyal akan melewati medium lapisan-lapisan atmosfer yaitu ionosfer dan troposfer. Dalam kedua lapisan ini, sinyal GPS akan mengalami gangguan (bias). GPS receiver mengambil informasi dengan menggunakan perhitungan “triangulation” menghitung lokasi user dengan tepat. Bias yang disebabkan oleh adanya lapisan troposfer dan ionosfer ini ditambah dengan kesalahan orbit dan waktu akan menyebabkan kesalahan pada ukuran jarak dari satelit GPS ke antena *receiver*, yang akan menyebabkan kurang teliti pada penentuan posisi pengamat. Oleh karena itu estimasi besaran bias troposfer dan ionosfer perlu dilakukan untuk memperoleh hasil posisi yang lebih teliti.

Orbit satelit berada di sekitar 20000 km di atas bumi. Satelit mengirimkan sinyal ke bumi di mana GPS menerima informasi dan menerapkan “triangulation”. Satelit GPS secara kontinyu menyebarkan posisi satelit dan data waktu melalui sinyal radio dengan dua frekuensi (L1 dan L2).

Penentuan TEC dengan GPS pada dasarnya adalah suatu *inverse problem* dari penentuan posisi dengan GPS, dalam hal ini dengan menggunakan *receiver* GPS tipe *geodetic dual* frekuensi pada titik yang telah diketahui koordinatnya kita akan dapat menghitung besarnya TEC dalam arah pengamatan-pengamatan satelit GPS. Model matematika untuk penentuan TEC dapat diturunkan dari persamaan pengamatan *pseudorange* dua frekuensi atau dari persamaan *carrier phase* dua frekuensi. Dalam hal ini TEC yang dihitung adalah TEC vertikal. GPS merupakan *tools* yang potensial dalam melakukan studi ionosfer dibandingkan dengan teknologi lain yang telah digunakan, misalnya radiosonde. Teknologi GPS memiliki potensi besar untuk menentukan nilai TEC terutama untuk wilayah yang cukup luas dan tertutup air seperti Indonesia.[9]

Data yang telah digunakan dalam penentuan dan pemodelan TEC regional pada buku ini, bersumber dari data pengamatan GPS stasiun tetap yang dioperasikan oleh beberapa stasiun tetap yang diberikan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Lokasi GPS receiver yang digunakan dalam pemodelan ionosfer [7]

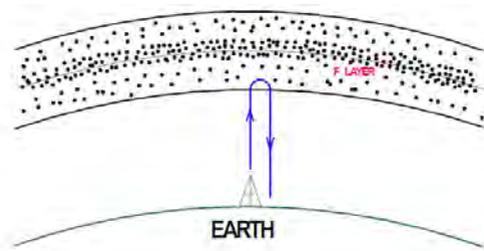
No	Kode	Lokasi GPS	Pengelola
1	SAMP	Sampali	Bakosurtanal
2	NTUS	Singapura	IGS Singapura
3	COCO	Cocos Island	IGS Australia
4	BAKO	Cibinong	Bakosurtanal
5	KOEP	Kupang	Bakosurtanal
6	PARE	Parepare	LAPAN-Bakosurtanal
7	TOLI	Toli-toli	Bakosurtanal
8	PIMO	Filipina	IGS-Filipina
9	DARW	Darwin	IGS-Australia
10	BIKL	Biak	LAPAN-Bakosurtanal
11	LAEI	Lae, Vanimo	IGS

## 2.6 Frekuensi Kritis Lapisan F2 (foF2)

Ionosfer memungkinkan penyebaran sinyal radio ke tempat yang jauh di bumi. Hal ini mencerminkan gelombang radio kembali ke bumi, sehingga memudahkan komunikasi radio. Elektron bebas dalam propagasi ionosfer bantuan gelombang elektromagnetik. Frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) adalah frekuensi tertinggi dari gelombang radio HF yang masih dapat dipantulkan oleh ionosfer dalam arah propagasi vertikal.

Sistem komunikasi radio HF terjadi karena gelombang yang dipancarkan ke angkasa dan dipantulkan kembali oleh lapisan ionosfer. Sedangkan untuk VHF dan UHF tidak dapat dipantulkan oleh ionosfer tetapi diteruskan ke angkasa luar, sehingga dapat digunakan untuk komunikasi dengan satelit. Gelombang radio HF dapat dipantulkan oleh lapisan E maupun F ionosfer tergantung pada frekuensi dan sudut elevasinya.<sup>[10]</sup>

Pada komunikasi gelombang radio dengan menggunakan lapisan ionosfer terdapat tiga besaran yang penting, yakni frekuensi kritis ( $f_c$ ), *Maximum Usable Frequency* (MUF) dan sudut elevasi antena. Frekuensi kritis adalah frekuensi ketika indeks refraksi bernilai 0, atau dengan kata lain merupakan frekuensi tertinggi dimana gelombang masih bisa dipantulkan ke bumi bila ditransmisikan secara vertikal pada kondisi atmosfer yang ada. Besaran kedua adalah *Maximum Usable Frequency* (MUF). Frekuensi maksimum tergantung pada dua hal yakni frekuensi kritis pada titik pantul di lapisan ionosfer dan geometri dari sirkuit komunikasinya. Sudut elevasi mencakup dua hal sekaligus yakni sudut pancar dan sudut datang. Sudut pancar merupakan sudut yang dibentuk oleh berkas gelombang radio yang dipancarkan oleh garis horisontal di stasiun pemancar ( $T_x$ ). Sedangkan sudut datang diartikan sebagai sudut yang dibentuk oleh berkas gelombang datang dengan garis horisontal di stasiun penerima ( $R_x$ ).



Gambar 2.3 Frekuensi kritis dimana sudut elevasi bernilai 0 [4]

Kerapatan elektron nilainya bervariasi sesuai dengan ketinggian ionosfer. Frekuensi kritis ( $f_c$ ) dari sebuah lapisan ionosfer terkait dengan kerapatan elektron maksimum lapisan tersebut, dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$f_c \approx 9 \times 10^{-6} \sqrt{N_m} \quad (2.4)$$

dengan nilai  $f_c$  dalam MHz, dan  $N_m$  adalah jumlah elektron per  $m^3$ . Ada frekuensi kritis untuk setiap layernya dan biasanya dinotasikan dengan foE, foF1 dan foF2.[1]

## 2.7 *Maximum Usable Frequency*

Dalam komunikasi HF, salah satu kuantitas yang paling penting adalah Maximum Usable Frequency atau MUF, yaitu frekuensi maksimal yang bisa dipantulkan oleh ionosfer pada sirkuit yang seharusnya[1]. MUF bergantung pada nilai frekuensi kritis ( $f_c$ ) pada titik refleksi ionosfer, serta geometri dari sirkuit itu sendiri yang didefinisikan sebagai faktor obliq. Apabila frekuensi yang digunakan melebihi nilai MUF, maka sinyal akan menembus lapisan ionosfer dan tidak memantul kembali ke bumi. Karena nilai frekuensi kritis pada siang hari lebih besar daripada malam hari, MUF pada siang hari juga nilainya lebih besar daripada saat malam hari[4]. Frekuensi maksimum perlu diprediksi untuk dijadikan pedoman dalam komunikasi HF. Bentuk prediksi MUF dapat dalam jangka panjang (bulanan) maupun jangka pendek (harian). Prediksi MUF jangka panjang dibuat menggunakan model ionosfer bulanan dari parameter-parameter ionosfer seperti foF2 dan M(3000)F2. Persamaan MUF adalah sebagai berikut:

$$MUF = M \times f_o F2 \quad (2.5)$$

dimana M adalah faktor pengali untuk mendapatkan MUF dari foF2 di titik pantul yang tergantung jarak antara stasiun pemancar dengan penerima. Faktor M dapat dihitung dari M(3000)F2 menggunakan rumus:

$$M = 1 + \left( \frac{M(3000)F2-1}{3000} \right) D \quad (2.6)$$

dengan D adalah jarak antara stasiun pemancar dengan penerima dalam kilometer. M(3000)F2 adalah perbandingan dari MUF pada jarak 3000km dibandingkan dengan frekuensi kritis layer F2.[11]

## 2.8 International Reference Ionosphere (IRI) Model

Model IRI adalah proyek permanen internasional yang disponsori oleh *Committee on Space Research (COSPAR)* dan *Union of Radio Science (URSI)*. IRI merupakan standar model internasional berdasarkan data empiris untuk ionosfer daerah teresterial sejak tahun 1999. Untuk data lokasi, waktu dan hari yang spesifik, IRI menyediakan data rata-rata bulanan untuk kerapatan elektron, suhu elektron, suhu ion, komposisi ion mulai dari jarak 50 sampai dengan 2000 km. Standar terbaru adalah IRI-2012.

## 2.9 Kendala pada Sistem Komunikasi HF

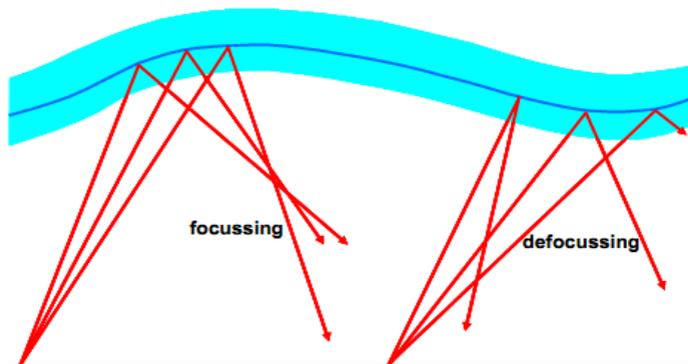
Adapun propagasi gelombang radio HF memiliki beberapa permasalahan dalam proses transmisi yang diakibatkan oleh lapisan ionosfer yang mengganggu, dimana lapisan ionosfer difungsikan sebagai kanal dalam sistem komunikasi ini. Fenomena-fenomena yang terjadi pada lapisan ionosfer lebih banyak disebabkan karena aktifitas dari matahari. Beberapa permasalahan pada sistem komunikasi HF antara lain:

### a) *Fading*

*Fading* merupakan fenomena yang terjadi dan nyata pada sistem komunikasi gelombang radio HF dimana besarnya sinyal yang naik dan turun secara berulang yang merepresentasikan semakin kuat atau melemahnya sinyal. *Fading* terdiri dari dua yaitu *fast fading* dan *slow fading* dan

itu digambarkan dengan dangkal atau dalamnya *fading* yang terjadi. Kecepatan *fading* dipengaruhi oleh perubahan frekuensi. Pada umumnya, *fast fading* sangat mengganggu pada sistem komunikasi HF dibandingkan dengan *slow fading* di karenakan besarnya *noise* yang terjadi melebihi dari level sinyal yang diterima dan menyebabkan sinyal tersebut hilang, sedangkan untuk *slow fading* masih bisa ditolehir pada sistem komuniiasi ini. Pada dasarnya agar tidak terjadi *fast fading*, dengan membuat besarnya level sinyal berbeda di atas rata-rata level *noise*, sehingga pada lintasan budget harus mempertimbangkan hal ini dengan menambahkan *fading margin*. Jika syarat dari *fading margin* terpenuhi maka secara langsung perubahan amplitudo akan dihilangkan dengan menggunakan rangkaian *Automatic Gain Control (AGC)* [1]. Fenomena *Fading* ini dapat terjadi dan dimungkinkan karena keempat penyebab dibawah ini, yaitu:

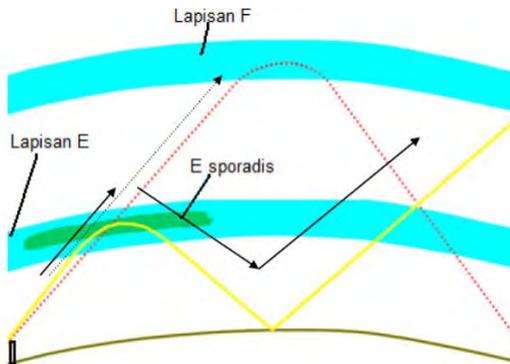
1. Pergerakan dari lapisan ionosfer dan perubahan dari panjang lintasan propagasi.
2. Perputaran dari polarisasi gelombang.
3. Variasi absorpsi dari lapisan ionosfer.
4. Menghilangnya sinyal dan ketidak fokusan lintasan yang sampai pada penerima disebabkan karena besarnya penurunan MUF dibawah frekuensi operasinya.



**Gambar 2.4** Ketidakfokusan lintasan disebabkan oleh *fading* [4]

b) *Sporadic-E*

Salah satu ketidakteraturan pada lapisan ionosfer yang dapat mengganggu sistem komunikasi HF adalah munculnya *sporadic-E* yang disebabkan karena meningkatnya kerapatan elektron di lapisan E. Gangguan yang disebabkan karena *sporadic-E* ini menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya di pantulkan pada lapisan F, namun karena munculnya *sporadic-E* sangat besar maka sinyal di pantulkan oleh *sporadic-E* sehingga jarak jangkauannya berubah sehingga tidak dapat sampai pada penerima. Ilustrasi tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.9 di bawah [4].



**Gambar 2.5** Ilustrasi gangguan akibat sporadic-E [4]

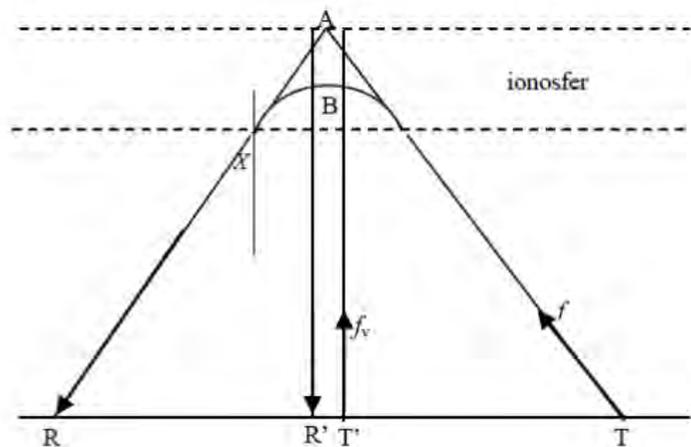
c) *Equatorial Spread F (ESF)*

Pada saat terbenam matahari di ionosfer daerah ekuator dan lintang rendah, terjadi peningkatan medan listrik dari arah timur sebelum bergerak ke barat. Peningkatan ini menyebabkan terjadinya ketidakteraturan pada plasma. Ketidakteraturan ini diamati lewat penyebaran jejak di ionogram, yang disebut *spread F*. Hal ini menyebabkan anomali ionisasi pada ekuator, atau disebut ESF. *Spread F* di ekuator yang terjadi pada malam hari menimbulkan sintilasi dan *fading* yang mengganggu komunikasi radio HF dan satelit. Peningkatan aktivitas matahari meningkatkan pula kejadian ESF, dimana ESF akan terjadi maksimal pada saat *equinox*, sedangkan minimal pada saat matahari jauh dari ekuator. Pulsa yang diterima yang

direfleksikan pada lapisan ionosfer  $F_2$  (ketinggian diatas 200 km) memiliki durasi waktu yang sepuluh kali lebih lama daripada pulsa yang dikirimkan, fenomena ini diakibatkan *Spread F*. *Spread F* disebabkan oleh ketidakteraturan ionosfer, baik kedalaman maupun jarak dari *zenith*. Ketidakteraturan ini sangat penting dalam propagasi gelombang radio HF dan VHF karena akan memperpanjang waktu, mengurangi laju informasi dan menghasilkan *fading* yang tinggi [4].

### 2.10 Delay Propagasi

*Delay* propagasi adalah waktu yang dibutuhkan sinyal untuk sampai dari pengirim ke penerima. *Delay* propagasi sistem komunikasi HF dapat dilihat berdasarkan geometri gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Geometri propagasi sistem komunikasi HF.[13]

Jika lintasan penjalaran gelombang radio dari pemancar ke penerima dianggap berupa garis lurus (tidak mengalami pembiasan di lapisan ionosfer) yaitu T-A-R, maka berlaku teorema Breit-Tuве yang menyatakan bahwa lintasan sinyal gelombang menjalar dengan kecepatan sebanding dengan kecepatan cahaya dalam ruang hampa dan tidak mengalami perlambatan oleh lapisan ionosfer. Ketinggian lapisan pemantul didapatkan dari hasil data IRI yang merupakan ketinggian

ionosfer ketika kerapatan elektron sesuai dengan frekuensi yang digunakan (persamaan 2.4). Jika sudah didapatkan ketinggian lapisan pemantul maka dengan rumus geometri dapat didapatkan ketinggian sisi miring yaitu dengan rumus:

$$AR = \sqrt{(AR')^2 + (RR')^2} \quad (2.7)$$

Apabila ketinggian sisi miring didapatkan maka delay geometri dapat dicari dengan memperhitungkan kecepatan dan jarak sisi miring. Nilai kecepatan yang digunakan adalah kecepatan cahaya yaitu  $3 \times 10^8$  m/s, maka delay geometri dapat dicari dengan rumus:

$$\text{delay geometri} = \frac{\text{jarak (m)}}{3 \times 10^8 \text{ (m/s)}} \quad (2.8)$$

Selain dipengaruhi oleh delay geometri, delay propagasi juga dipengaruhi oleh delay ionosfer. Delay ionosfer dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$\text{delay ionosfer (m)} = 40,3 \times \frac{TEC}{\text{frekuensi}^2} \quad (2.9)$$

dimana, TEC dalam satuan  $\text{m}^{-2}$  dan frekuensi dalam satuan Hz. Delay dalam waktu dengan membagi delay ionosfer dengan kecepatan cahaya seperti dalam persamaan berikut:

$$\text{delay ionosfer (s)} = \frac{\text{delay ionosfer (m)}}{3 \times 10^8 \text{ (m/s)}} \quad (2.10)$$

## 2.11 Proses Korelasi untuk mendapatkan Respon Impuls

Untuk mendapatkan respon impuls kanal, tahap pertama digunakan metode fungsi auto-korelasi dari sinyal yang dikirimkan. Sinyal yang dikirimkan memiliki sifat khusus berbentuk *Pseudo Random Binary Sequence* disebut  $x(n)$  dan sinyal yang diterima dapat disebut  $y(n)$ . Menghitung fungsi auto-korelasi sinyal  $x(n)$  dilakukan dengan menggunakan proses konvolusi. Konvolusi didefinisikan sebagai operasi penjumlahan dua fungsi setelah fungsi satu dicerminkan dan digeser. Konvolusi antara dua sinyal  $x(n)$  dan  $h(n)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n - k] \quad (2.11)$$

Langkah langkah konvolusi:

1. Menentukan pencerminan sinyal kedua  $h[-k]$
2. Untuk  $n=0$ ,  $h[-k]$  digeser sejauh 0

3. Untuk  $n=1, h[-k]$  digeser sejauh 1, dst sebanyak ukuran sinyal  $x(n)$  dan  $h(n) - 1$ .

Proses konvolusi dapat diselesaikan menggunakan metode matriks seperti ditunjukkan pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Konvolusi menggunakan metode matriks

	$x[0]$	$x[1]$	$x[2]$
$h[0]$	$h[0].x[0]$	$h[0].x[1]$	$h[0].x[2]$
$h[1]$	$h[1].x[0]$	$h[1].x[1]$	$h[1].x[2]$
$h[2]$	$h[2].x[0]$	$h[2].x[1]$	$h[2].x[2]$

Pembacaan nilai  $y[t]$  dari tabel 2.3 dilakukan secara silang

$$y[0]=h[0].x[0]$$

$$y[1]=h[1].x[0]+h[0].x[1]$$

$$y[2]=h[2].x[0]+h[1].x[1]+h[0].x[2]$$

$$y[3]=h[2].x[1]+h[1].x[2]$$

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa auto-korelasi didapatkan dengan persamaan berikut:

$$p_{xx}(\tau) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n].x[n - \tau] \quad (2.12)$$

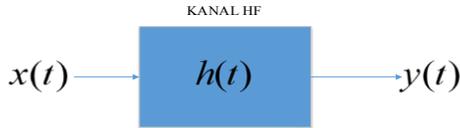
- $x [n]$ = sinyal input
- $x [n-1]$  = sinyal input yang telah digeser sejauh  $(\tau)$

Dimana  $\rho_{xx}(\tau)$  adalah auto-korelasi dimana  $(\tau)$  menunjukkan nilai rata-rata terhadap waktu.

Pemodelan sistem kanal HF ditunjukkan pada persamaan 2.12. Sinyal  $x[n]$  yang dipropagasikan melalui kanal HF memiliki respon impuls yang belum diketahui. Pada pengolahan sinyal, respon impuls atau disebut juga  $h[t]$  yang mempunyai nilai input  $x[t]$  dan memiliki nilai output  $y[t]$  . Dimana  $h(t)$  adalah konvolusi dari  $x(t)$  dan  $y(t)$  ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (2.13)$$

- $h(t)$ = respon impuls
- $x(t)$ = input sinyal
- $y(t)$ = output sinyal



**Gambar 2.7** Pemodelan sistem kanal HF

Selanjutnya, dalam upaya mencari  $h(t)$  dilakukan perhitungan fungsi korelasi silang antara sinyal  $x(t)$  dan  $y(t)$ . Sinyal yang diterima atau disebut  $y(t)$  merupakan korelasi silang antara  $y(t)$  dan  $x(t)$  pada rata-rata waktu seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t).y(t-\tau) \quad (2.14)$$

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t).x(t-\tau).h(t-\tau)$$

- $x(t)$  = input sinyal
- $x(t-\tau)$  = sinyal input yang telah digeser sejauh ( $\tau$ )
- $h(t-\tau)$  = respon impuls yang telah digeser sejauh ( $\tau$ )

Dari persamaan (2.14) menunjukkan bahwa untuk mendapatkan respon impuls kanal dapat dilakukan dengan proses korelasi silang antara sinyal  $y(t)$  berupa IQ dan sinyal input  $x(t)$  berupa PN *sequence* apabila input merupakan auto-korelasi. Fungsi korelasi silang merupakan dua operasi linier sehingga dapat dilakukan tukar posisi dimana auto-korelasi sinyal dilakukan terlebih dahulu kemudian dilakukan konvolusi dengan  $h(t)$ . Dengan mengatur sinyal input  $x(t)$  sedemikian rupa didapatkan  $\rho_{xx}(t)$  dimana  $\rho_{xx}(t)$  merupakan hasil proses autokorelasi sehingga diperoleh respon impuls dari kanal HF dari persamaan (2.15):

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} \rho_{xx}(t).h(t-\tau) \quad (2.15)$$

- $\rho_{xx}(t)$  = fungsi autokorelasi dari  $x(t)$
- $h(t-\tau)$  = respon impuls yang telah digeser sejauh ( $\tau$ )

## 2.12 Threshold Decision

Pengolahan data untuk menghilangkan efek *noise* dan mendapatkan sinyal asli yang diterima dengan menentukan nilai

*threshold*. Langkah awal menentukan *threshold* dengan cara mengestimasi level nilai dari *background thermal noise*. *Noise* diasumsikan sebagai *gaussian noise* dimana amplitudo *noise* diasumsikan berdistribusi Rayleigh.

Dalam upaya melakukan mitigasi pada sampel dari sinyal terima keseluruhan, pada algoritma ini *probability* daya *noise* secara khusus ditentukan sebesar 5%. ( $\sigma_N^2$ ) merupakan median dari sampel dan ( $\zeta$ ) merupakan nilai probabilitas amplitudo dari *noise* yang melebihi tingkat tertentu didapat dengan menggunakan persamaan berikut [15]:

$$P = \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (2.16)$$

- $\zeta$  = probabilitas amplitudo dari *noise* yang melebihi tingkat tertentu
- $\sigma_N^2$  = median sampel data

Level median yang telah ditentukan ( $\sigma_m$ ) dapat ditemukan dengan mengatur  $\zeta = \sigma_m$  dan memasukkan nilai  $P=0.5$  pada persamaan (2.13) sehingga didapatkan [15]:

$$\sigma_N = \sigma_m / \sqrt{\ln 4} \approx 0.85\sigma_m \quad (2.17)$$

Berbeda dengan algoritma pada umumnya yaitu menetapkan nilai *threshold*, namun pada tugas akhir ini *threshold* ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan sebuah nilai *constant false alarm rate* (CFAR). Metode ini sering digunakan untuk mengetahui nilai *multipath* dengan syarat kebutuhan *threshold* harus ditetapkan sebagai  $\zeta = \eta \cdot \sigma_N$  dan  $\zeta$  bernilai konstan. Dari persamaan (2.16) diketahui bahwa probabilitas dari *noise* yang melebihi batas *threshold* pada sampel yang bukan merupakan sinyal (atau sama dengan nilai *probabilitas false alarm per sampel*) didapatkan dengan dengan persamaan sebagai berikut [15]:

$$P_f = \exp(-\eta^2 / 2) \quad (2.18)$$

- $P_f$  = *probability false alarm* ditentukan 5 %

Setelah mendapatkan nilai *threshold*, diambil sampel respon impuls yang lebih besar atau sama dengan 5% dari nilai *threshold*.

### 2.13 Power Delay Profile (PDP)

*Power delay profile* (PDP) merupakan visualisasi dari intensitas sinyal terima yang telah melewati kanal *multipath* sebagai fungsi dari *time delay*. Sementara itu, *time delay* adalah perbedaan waktu kedatangan sinyal yang diterima. Total daya yang diterima pada pengukuran sinyal merupakan penjumlahan setiap komponen lintasan jamak dimana setiap komponen memiliki amplitudo dan fase yang acak pada setiap waktu ( $t$ ), sehingga PDP rata-rata untuk suatu daerah tertentu dinyatakan pada persamaan berikut:

$$\langle P_{pulse} \rangle = \left\langle \sum_{i=0}^{N-1} A_i^2 |\exp(-j\theta_i)|^2 \right\rangle \approx \sum_{i=0}^{N-1} \langle A_i^2 \rangle \quad (2.19)$$

Dimana:

$A_i^2$  = daya yang diterima setiap komponen lintasan jamak

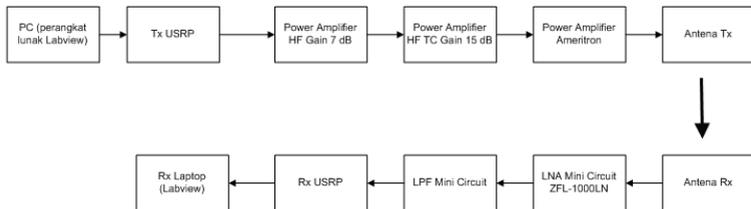
Grafik sumbu x pada PDP menunjukkan nilai *delay* dalam dan sumbu y merupakan nilai daya rata-rata yang diterima. PDP dapat digunakan untuk mendapatkan parameter kanal seperti *delay spread*.

## BAB 3

### PROSES PENGOLAHAN DATA

#### 3.1 Skenario Pengambilan Data Pengukuran

Untuk melakukan karakterisasi kanal HF, telah diimplementasikan sistem pengukuran respon impuls kanal HF secara langsung pada lintasan Surabaya – Merauke dengan jarak lintasan sepanjang 3036 km.



Gambar 3.1 Blok diagram pengukuran

#### 3.2 Link Komunikasi Sistem Komunikasi HF

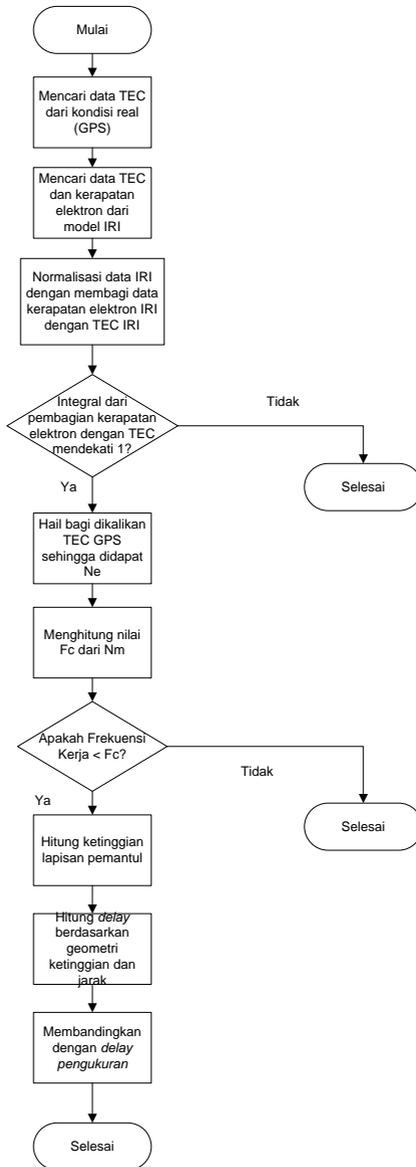
Link sistem komunikasi HF dimulai dari pemancar yang berada di Surabaya dan penerima di Merauke. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dan data GPS yang ada maka spesifikasi data yang dicari adalah:

Tanggal	: 11 s/d 14 Mei 2015
Jam (WIB)	: 03.00 ; 04.00 ; 11.00 ; 12.00 ; 18.00 ; 19.00
Mode Propagasi	: 1F dan 2F
Link	: Surabaya Merauke
Point Pengamatan	: B1 (-7.762826, 119.700762) B2 (-8.1354, 126.606224) B3 (-8.35796, 133.510073)



**Gambar 3.2** Peta link Surabaya Merauke

Setelah didapatkan parameter-parameter yang ingin dicari maka langkah-langkah pengerjaan dalam tugas akhir ini seperti pada *flowchart* 3.2. Data TEC yang *real* didapatkan dari data GPS di Darwin, namun data GPS ini masih terbatas hanya sampai pada data TEC, padahal untuk mendapatkan *delay* propagasi juga dibutuhkan data kerapatan elektron. Oleh sebab itu, dilakukan normalisasi dari data kerapatan elektron IRI ke data GPS darwin. Data IRI digunakan karena merupakan model internasional untuk model ionosfer. Namun apabila integral dari pembagian kerapatan elektron IRI dengan TEC IRI (dari ketinggian 60 km hingga 2000 km) tidak sama dengan 1 maka data model tersebut tidak dapat digunakan untuk perhitungan. Oleh sebab itu, pada *flowchart* 3.2 apabila tidak sama dengan 1 maka proses dihentikan. Setelah didapatkan kerapatan elektron, maka dapat diketahui frekuensi kritis pada titik B1, B2 dan B3. Apabila frekuensi saat pengukuran lebih tinggi dari frekuensi yang dapat dipantulkan di titik B1, B2 dan B3 maka frekuensi tersebut tidak dilakukan proses selanjutnya. Namun apabila, frekuensi saat pengukuran lebih kecil dibandingkan frekuensi kritis di B1, B2 dan B3 maka



**Gambar 3.3** Gambar diagram alir proses pengerjaan tugas akhir

### 3.3 Mendapatkan Data TEC dari GPS

Pengolahan data *Total Electron Content* (TEC) diperoleh dari stasiun-stasiun yang tergabung dalam proyek penelitian *Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)*. Data TEC pada daerah ekuatorial terbatas karena jumlah GPS terbatas terutama di daerah Indonesia bagian timur. TEC didapatkan dari pengolahan data *Internasional GNSS Service (IGS)* yang datanya dapat diakses melalui [sopac.ucsd.edu](http://sopac.ucsd.edu). Data dari GPS masih berupa RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*). RINEX merupakan data mentah dari pengukuran GPS secara statik. Pengolahan data RINEX ke TEC menggunakan perangkat lunak yang dibuat dan dikembangkan oleh LAPAN. Perangkat lunak yang dipakai untuk pengolahan TEC adalah dengan “gpstecd”.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. PC/ Laptop harus terhubung dengan koneksi internet yang cepat dan stabil.
2. Buka program dengan Matlab.
3. Run program dari LAPAN yaitu **gpstecd**.
4. Pilih data yang akan dihitung TEC nya Data terbaru atau data lama: terbaru pilih 1 data lama pilih 0:> 0
5. Data GPS online (1) atau off line (0): 1
6. Isikan tahun pengamatan :2015
7. Isikan tanggal pada doys. Tanggal dihitung berdasarkan hari pertama awal tahun. Sebagai contoh tanggal 1 Januari 2015 maka doys diisikan 1. Untuk bulan Mei tanggal 10 maka diisikan doys dengan 130. Karena waktu pengukuran adalah tanggal 11,12,13 dan 14 Mei 2015 maka doys dimulai dari 130 s.d 133.
8. Pilih stasiun GPS yang akan dihitung TEC-nya. Pada perhitungan kali ini dipilih stasiun GPS Darwin karena GPS Darwin yang terdekat dengan lintasan Surabaya-Merauke. Ketikkan kode: darw untuk pilihan stasiun.
9. Tunggu hingga kalkulasi selesai.
10. Bila terjadi error maka extract file pada KOMGPS\IPP kemudian hapus folder lain yang sudah terbentuk setelah menjalankan program. Kemudian jalankan lagi seperti pada langkah 1.



selanjutnya, masukkan data tahun, bulan, tanggal, lintang, bujur, ketinggian dan interval ketinggian. Sedangkan *output*nya memilih sesuai keperluan. Dikarenakan data yang dibutuhkan adalah ketinggian, TEC dan kerapatan elektron, maka *checklist* pada ketiga parameter *output* tersebut. Berdasarkan hasil peta pada sub bab 3.2 maka data TEC yang tersedia adalah pada titik pengamatan B2 dan B3. Namun data TEC dan kerapatan elektron IRI dapat dicari di titik B1, B2 dan B3 dengan memasukkan koordinatnya. Untuk input dapat dilihat pada gambar 3.2.

Virtual Ionosphere, Thermosphere, Mesosphere Observatory (VITMCO)  
**International Reference Ionosphere - IRI-2012**

This page enables the computation and plotting of IRI parameters: electron and ion (O<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, He<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>) densities, total electron content (NRL-MISIS 2002) temperatures, equatorial vertical ion drift and others.

---

Go to the IRI description

Help

\* Select Date and Time  
 Year (1958-2018) 2015  
 Note: If date is outside the Ap index range (1958-2014/06/30), then STORM model will be turned off.  
 Month: May Day(1-31): 12  
 Time Universal Hour of day (e.g. 1.5): 12

\* Select Coordinates  
 Coordinates Type: Geographic  
 Latitude (deg. from -90 to 90.): 7.752626 Longitude (deg. from 0 to 360.): 119.182564  
 Height (km, from 50 to 20000): 50

\* Select a Profile type and its parameters:  
 Height (km) [ 50 - 2000 ] Start: 50 Stop: 2000 Step: 2

Submit Reset

---

Optional Input:  
 Sunspot number, Rz12 (0. - 400.) Ionospheric index, IG12 (-50. - 400.)  
 F10.7 radio flux, daily (0. - 400.) F10.7 radio flux, 81-day (0. - 400.)  
 Electron content: Upper boundary (km, from 50 - 2000 ) 2000

**Gambar 3.5** Tampilan jendela masukkan IRI-2012

Data *output* berupa ketinggian, TEC dan kerapatan elektron dengan nilai dari ketinggian 60000 m (=60 km) hingga 2000000 m (=2000 km) dengan interval ketinggian 2 km. Data ketinggian, kerapatan elektron dan TEC dicari sesuai dengan tanggal dan jam pengukuran dan secara berulang dicari di 3 titik pengamatan yaitu B1, B2 dan B3.

### 3.5 Pendekatan Data Real Dari GPS dengan Data IRI

Perangkat lunak dari LAPAN mengolah data real GPS RINEX menjadi data TEC, sedangkan untuk perhitungan delay yang dibutuhkan adalah kerapatan elektron. Kerapatan elektron diperoleh dengan pendekatan dengan data IRI. Langkah selanjutnya, membagi kerapatan

elektron IRI dengan TEC IRI. Hasil bagi tersebut kemudian diintegrasikan mulai dari ketinggian 60000 meter hingga 2000000 meter. Dikarenakan hasil bagi merupakan bilangan numerik maka pada matlab digunakan perintah `trapz`. Hasil dari integral tersebut seharusnya bernilai 1. Dari hasil matlab didapatkan hasil 1.00xx dan 0.99xx dengan nilai xx yang bervariasi. Kemudian hasil bagi kerapatan elektron IRI dengan TEC IRI dikalikan dengan TEC *real* dari GPS. Hasil perkaliannya menghasilkan pendekatan kerapatan elektron *real*.

### 3.6 Perhitungan Kerapatan Elektron Maksimum Pada B1

Dari hasil perangkat lunak `gpstecd` nilai yang dapat dicakup oleh GPS Darwin hanya sampai pada titik B2 dan B3. Kerapatan elektron di titik B1 pada jarak lintasan Surabaya-Merauke merupakan parameter penting tetapi tidak tercakup dari GPS maka untuk mendapatkan nilai kerapatan elektronnya dapat menggunakan ekstrapolasi. Ekstrapolasi didapatkan dengan rumus:

$$\frac{Y-Y_1}{Y_2-Y_1} = \frac{X-X_1}{X_2-X_1} \quad (3.1)$$

dengan nilai X adalah jarak yang akan dicari yaitu 750 km(jarak B1),

X<sub>1</sub> adalah jarak pada 1500 km (jarak B2),

X<sub>2</sub> adalah jarak pada 2250 km (jarak B3),

Y adalah kerapatan elektron maksimum yang akan dicari(NmB1),

Y<sub>1</sub> adalah kerapatan elektron maksimum pada jarak 1500 km (NmB2),

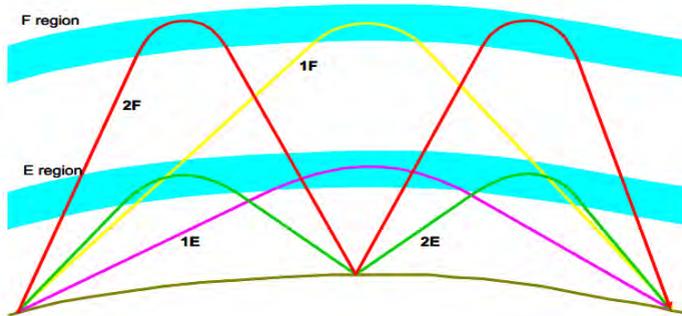
Y<sub>2</sub> adalah kerapatan elektron maksimum pada jarak 2250 km (NmB3).

Dari perhitungan kerapatan elektron maksimum di atas dapat dicari frekuensi kritis di titik B1 sesuai dengan persamaan (2.3).

### 3.7 Perhitungan Frekuensi Kritis

Dari sub bab 3.4 didapatkan nilai kerapatan elektron. Frekuensi kritis dapat didapatkan dari kerapatan elektron maksimum sesuai dengan persamaan (2.3). Kerapatan elektron maksimum (Nm) didapatkan dari nilai kerapatan elektron (Ne) tertinggi hasil perbandingan data IRI dengan data TEC real. Frekuensi kritis diperlukan untuk pengecekan apakah frekuensi yang dipakai pada pengukuran dipantulkan atau tidak. Pemantulan dapat terjadi di lapisan E maupun di lapisan F, namun lapisan yang selalu ada adalah lapisan F2 maka mode propagasi yang menjadi fokus penelitian ini adalah mode propagasi pada lapisan F2. Apabila frekuensi yang digunakan lebih tinggi dari frekuensi kritis maka frekuensi yang digunakan tidak dipantulkan pada lapisan F2. Lintasan untuk sinyal HF yang dipantulkan di lapisan F dapat dilihat pada gambar

di bawah ini, ada 2 lintasan yaitu 1F dan 2F. Untuk mode propagasi 1F maka jarak yang digunakan dalam perhitungan adalah jarak 3000 km. Sedangkan untuk mode lintasan 2F menggunakan setengah jarak dari lintasan 1F yaitu 1500km.



**Gambar 3.6** Propagasi Gelombang HF

### 3.8 Perhitungan Ketinggian Lapisan Pantul

Dari pengecekan frekuensi kritis kemudian dicari frekuensi kerja yang digunakan saat pengukuran dipantulkan pada ketinggian berapa di atas permukaan bumi. Caranya adalah dengan memasukkan persamaan frekuensi kerja yang dipakai ke dalam persamaan (2.3). maka diperoleh kerapatan elektronnya. Dari hasil model IRI telah diperoleh ketinggian, maka pada kerapatan elektron dengan frekuensi tersebut dapat diketahui ketinggiannya.

### 3.9 Perhitungan Delay Propagasi

Setelah didapatkan profil ketinggian di titik pemantul maka dengan perhitungan geometri propagasi didapatkan *delay* propagasi sistem komunikasi HF. Ketinggian yang didapatkan pada sub-bab 3.7 merupakan ketinggian vertikal. Berdasarkan gambar 2.6 geometri ketinggian miring dari lapisan ionosfer dapat dicari dengan menggunakan rumus *pythagoras*. Dengan demikian, ketinggian miring yang merupakan lintasan sinyal HF dapat digunakan untuk menghitung *delay* dengan nilai kecepatan sinyal adalah sebesar kecepatan cahaya di ruang hampa. *Delay* propagasi total didapatkan dengan menambahkan *delay* geometri dengan *delay* ionosfer.

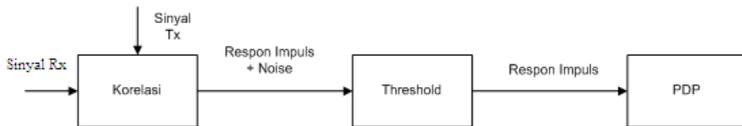
### 3.10 Perhitungan Data Pengukuran

Pada saat pengukuran terdapat beberapa parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 3.1** Parameter pengukuran sistem komunikasi HF

Parameter	Value
PN Sequence	orde (m) = 12
Symbol rate (Symbols/sec)	500 K
Sampling rate	1 MHz
Modulasi	QPSK

Sinyal dibangkitkan menggunakan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS). *Pseudorandom Binary Sequence* (PRBS) adalah sinyal biner yang memiliki pengulangan bentuk yang sama pada periode waktu tertentu dan periodik tetapi mempunyai sifat sebagai sinyal acak. Jumlah *sequence* yang dibangkitkan dengan orde ( $2^m - 1 = 2^{12} - 1$ ) atau 1 periode ekuivalen dengan jumlah 4095 bit sampel. Deretan bit dikirim dengan laju *bit rate* 500 kb/s. Sistem pengukuran diintegrasikan dengan perangkat *Universal Software Radio Peripherals* (USRP) N210 dan perangkat lunak LabVIEW. Kemudian sinyal tersebut dimodulasi dengan menggunakan *modulator* BPSK. Sebelum sinyal dipancarkan, sinyal dikuatkan dengan menggunakan *power amplifier*. Data hasil pengukuran diolah melalui tahap seperti berikut ini:



**Gambar 3.7** Tahap pengolahan data pengukuran

Fungsi korelasi silang merupakan konvolusi antara magnitudo sinyal Rx dengan *conjugate* dari sinyal Tx berupa *PN sequence*. Korelasi silang antara sinyal IQ dan *conjugate* *PN sequence* dilakukan pada domain frekuensi dengan menggunakan sebuah implementasi diskrit dari analisa *Fourier*, yang kemudian lebih disempurnakan dengan suatu algoritma yang kita kenal sebagai *Fast Fourier Transform* (FFT).

## BAB 4

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

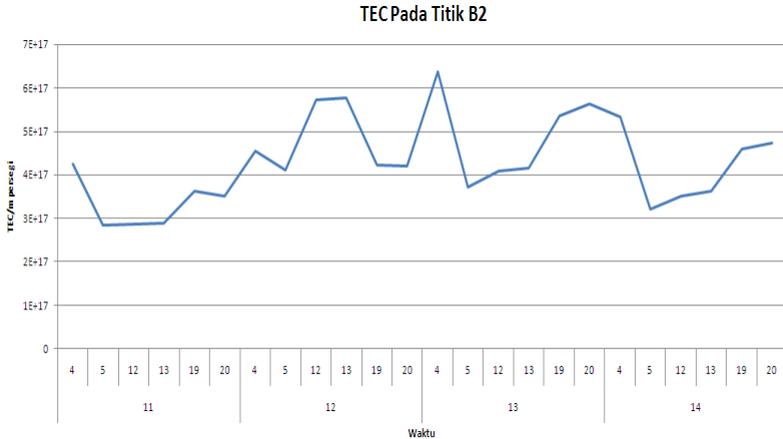
Pada bab ini, dilakukan pembahasan mengenai analisa hasil perhitungan untuk *delay* propagasi sesuai dengan langkah yang telah dijelaskan pada bab3.

#### 4.1 Nilai TEC dari titik B2 dan B3

Nilai TEC bervariasi sesuai dengan perbedaan jam, lintang dan bujur. Dari hasil running program **gpstecd** dapat diperoleh nilai  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  dan  $B_1$ . Dengan demikian, nilai TEC di suatu titik dapat dicari. Sebagai contoh dengan memperhitungkan nilai  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  dan  $B_1$  pada jam 4 *Local Time* tanggal 11 Mei 2015 pada titik B2 (-8.1354, 126.606224) maka didapatkan hasil:

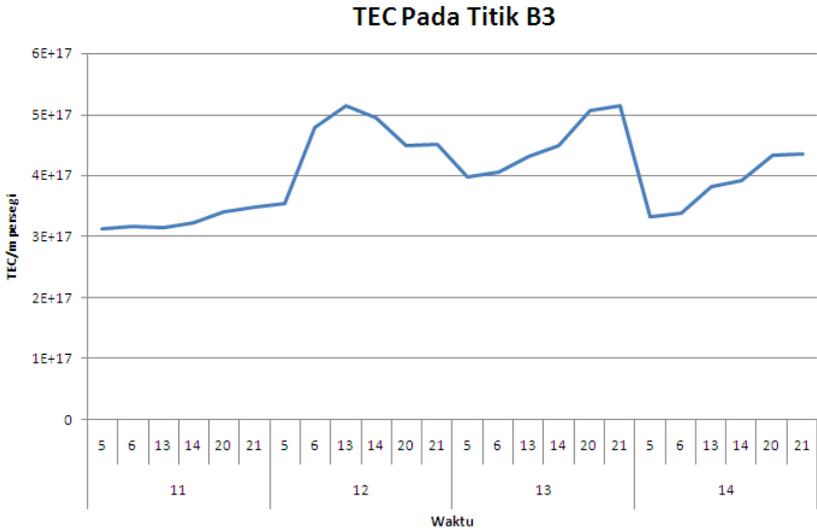
$$\begin{aligned} TEC &= A_0 + A_1 L + A_2 L^2 + B_1 B \\ TEC &= 134,36909 + (-0,58281701 X - 8,1354) \\ &\quad + (-0,033188382 X - 8,1354^2) \\ &\quad + (-0,74635782 X 126,606224) \\ TEC &= 42,42 \text{ TECU} = 42,42 X 10^{16} m^{-2} \end{aligned}$$

Jam pada saat pengukuran adalah seperti pada bab 3 yang menggunakan referensi WIB. Namun titik B2 berada pada daerah Waktu Indonesia bagian Tengah (WITA) dan B3 berada pada daerah Waktu Indonesia Timur (WIT) maka memiliki selisih waktu 1 jam dan 2 jam dari WIB. Sehingga pada pengukuran pukul 03.00 WIB, menggunakan data TEC pada pukul 04.00 untuk WITA dan 05.00 untuk WIT. Nilai TEC dihitung berulang untuk jam dan hari pengukuran sehingga didapatkan hasil sebagai berikut



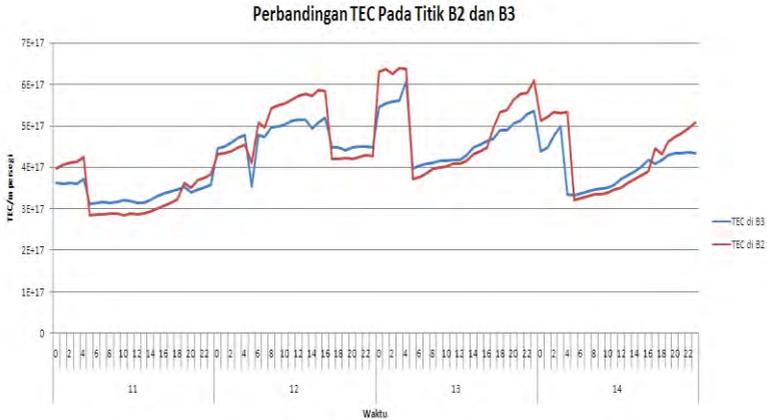
**Gambar 4.1** Grafik TEC di Titik B2 terhadap waktu

Dari hasil perhitungan TEC *real* dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.1. Di titik B2 selisih waktu dengan WIB adalah 1 jam sehingga pada pengukuran pukul 03.00 WIB sama dengan pukul 04.00 WITA. Pengukuran dilakukan pada tanggal 11 hingga 14 Mei 2015. Dari data di atas nilai TEC bervariasi namun memiliki kecenderungan bernilai paling rendah pada pukul 05.00 WITA. Sedangkan nilai TEC tertinggi selama 4 hari adalah pada pukul 04.00 WITA. Nilai TEC berbeda hari memiliki nilai yang berbeda juga dengan nilai yang fluktuatif.



**Gambar 4.2** Grafik TEC di Titik B3 terhadap waktu

Dari hasil perhitungan TEC *real* dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.2. Di titik B3 selisih waktu dengan WIB adalah 2 jam sehingga pada pengukuran pukul 03.00WIB sama dengan pukul 05.00 WIT. Pengukuran dilakukan pada tanggal 11 hingga 14 Mei 2015. Dari data di atas nilai TEC bervariasi namun memiliki kecenderungan bernilai paling rendah pada pukul 05.00 WIT. Sedangkan nilai TEC tertinggi dapat terjadi pada pukul 13.00 WIT dan 21.00 WIT. Nilai TEC berbeda hari memiliki nilai yang berbeda juga dengan nilai yang fluktuatif.

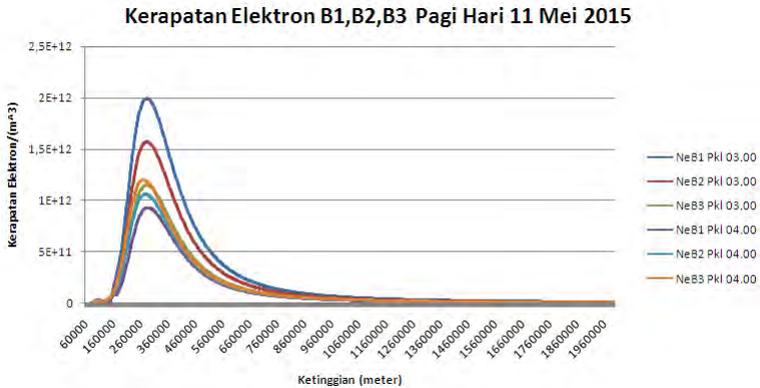


**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan TEC di Titik B2 dan B3 terhadap waktu lokal

Nilai TEC di dua titik yaitu B2 dan B3 tidak selalu lebih besar B2 atau lebih besar B3. Akan tetapi dari grafik dapat diketahui bahwa B2 dan B3 memiliki kecenderungan yang sama yaitu TEC bernilai paling rendah pada jam 5 *local time*. Sedangkan, untuk nilai TEC yang tinggi bisa terjadi pada siang hari maupun malam hari. Kondisi tersebut tidak ada yang pasti jam berapa nilai TEC akan maksimum. Nilai TEC bervariasi untuk di titik B2 dan B3 yaitu berkisar pada  $2,84E+17$  hingga kurang lebih  $6,28E+17$ . Nilai TEC paling rendah di B2 lebih rendah dibandingkan di B3 namun nilai TEC yang paling tinggi juga lebih tinggi di B2.

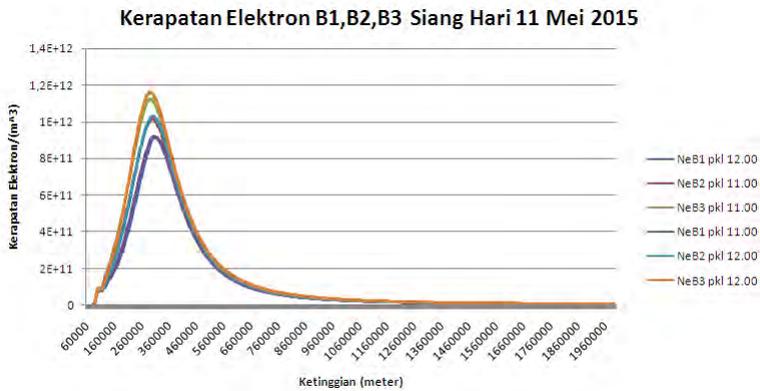
## 4.2 Perhitungan Kerapatan Elektron

Dari data TEC *real* dari GPS, dapat dibandingkan dengan data model IRI sehingga didapatkan kerapatan elektron. Dengan perhitungan kerapatan elektron IRI dibagi dengan TEC IRI kemudian dikalikan dengan TEC *real*, maka didapatkan hasil pendekatan kerapatan elektron *real*. Data TEC dari software **gpstecd** hanya mencakup titik B2 dan B3, oleh sebab itu menggunakan teknik ekstrapolasi agar didapatkan nilai kerapatan elektron B1. Sehingga didapatkan hasil seperti pada gambar-gambar di bawah ini.



**Gambar 4.4** Kerapatan elektron titik B1,B2 dan B3 pagi hari

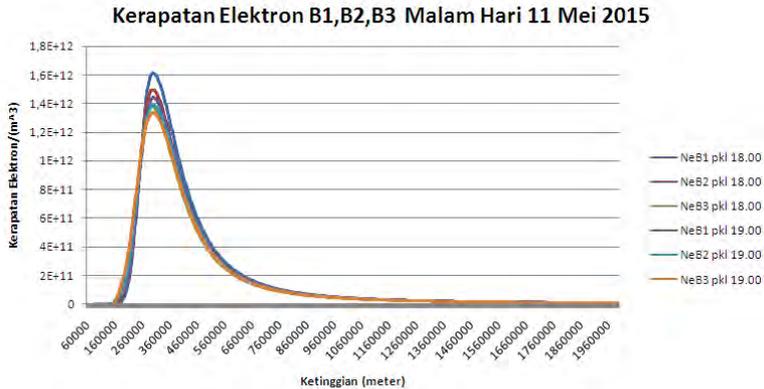
Pada gambar 4.4 kerapatan elektron di titik B1 paling tinggi yaitu pada pukul 03.00 WIB. Sedangkan kerapatan elektron di titik B2 pada pukul 03.00 WIB lebih tinggi dibandingkan dengan titik B3. Sedangkan pada pukul 04.00 WIB nilai kerapatan elektron di B1 paling rendah.



**Gambar 4.5** Kerapatan elektron di B1, B2 dan B3 saat siang hari

Pada gambar 4.5, kerapatan elektron pada pukul 11.00 WIB lebih rendah bila dibandingkan pada pukul 12.00 WIB. Pada grafik dapat dilihat pada pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB, kerapatan elektron di B3 paling tinggi dibandingkan titik yang lain. Nilai kerapatan elektron

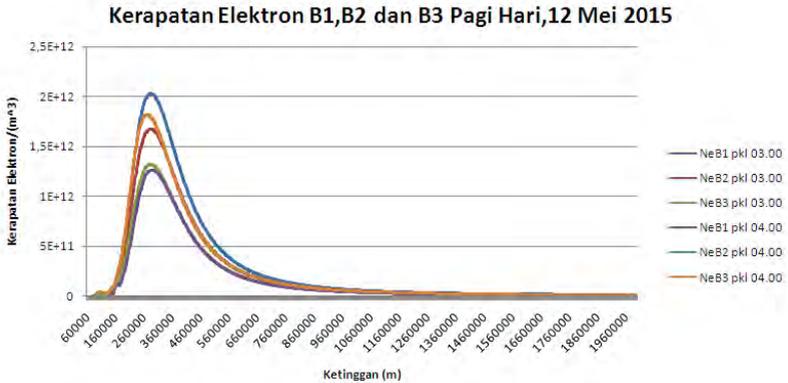
pukul 11.00 WIB dan 12.00WIB di tiap masing-masing titiknya tidak jauh berbeda.



**Gambar 4.6** Kerapatan elektron titik B1,B2 dan B3 malam hari

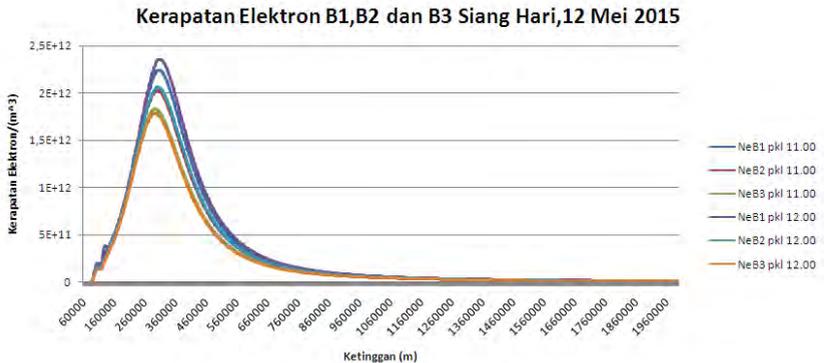
Pada gambar 4.6 nilai kerapatan elektron tertinggi pada titik B1 pukul 18.00 WIB. Nilai kerapatan elektron di B2 lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan elektron di B3. Kerapatan elektron titik B2 dan B3 tidak jauh berbeda.

Dari ketiga grafik di atas, pada tanggal 11 Mei 2015 nilai kerapatan elektron yang paling maksimum terjadi pada pukul 03.00 WIB di titik B1. Sedangkan, nilai puncak tertinggi kerapatan elektron yang paling minimum terjadi pada siang hari.



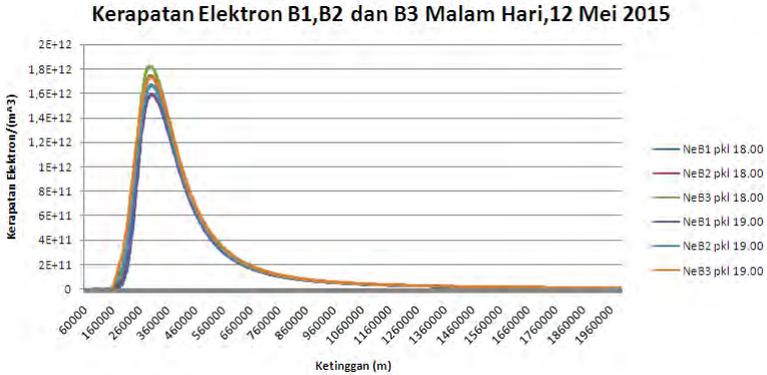
**Gambar 4.7** Kerapatan elektron B1,B2,B3 pagi hari 12 Mei 2015

Pada gambar 4.7 kerapatan elektron di titik B1 paling tinggi yaitu pada pukul 03.00 WIB. Sedangkan kerapatan elektron di titik B2 pada pukul 03.00 WIB lebih tinggi dibandingkan dengan titik B3. Sedangkan pada pukul 04.00 WIB nilai kerapatan elektron di B1 paling rendah.



**Gambar 4.8** Kerapatan elektron B1,B2,B3 siang hari 12 Mei 2015

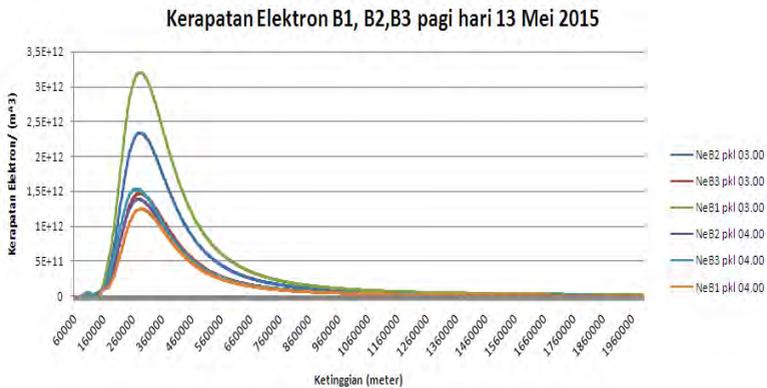
Pada gambar 4.8, kerapatan elektron di titik B1 merupakan yang paling tinggi pada siang hari. Namun, pada titik B1 tidak terdapat perubahan yang signifikan antara pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB. Nilai kerapatan elektron paling rendah pada siang hari adalah di titik B3 pada pukul 12.00 WIB.



**Gambar 4.9** Kerapatan elektron B1,B2,B3 malam hari 12 Mei 2015

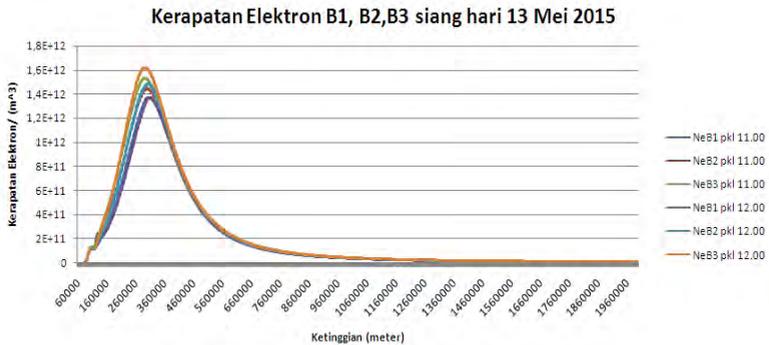
Kerapatan elektron pada tanggal 12 Mei 2015 tertinggi terjadi pada pukul 18.00 WIB. Pada gambar 4.8 nilai kerapatan elektron tertinggi pada titik B3.

Dari ketiga grafik pada tanggal 12 Mei 2015, nilai kerapatan elektron berbeda dengan kerapatan elektron pada tanggal 11 Mei 2015. Nilai puncak kerapatan elektron yang maksimum terjadi pada siang hari yaitu 12.00 WIB di titik B1. Sedangkan untuk malam hari, nilai kerapatan elektron maksimum terjadi pada pukul 18.00 WIB di titik B3.



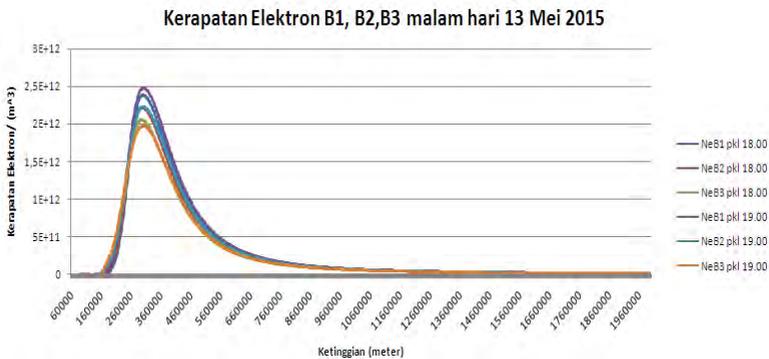
**Gambar 4.10** Kerapatan elektron B1,B2,B3 pagi hari 13 Mei 2015

Pada gambar 4.10 kerapatan elektron di titik B1 paling tinggi yaitu pada pukul 03.00 WIB. Sedangkan kerapatan elektron di titik B2 pada pukul 03.00 WIB lebih tinggi dibandingkan dengan titik B3. Sedangkan pada pukul 04.00 WIB nilai kerapatan elektron di B1 paling rendah.



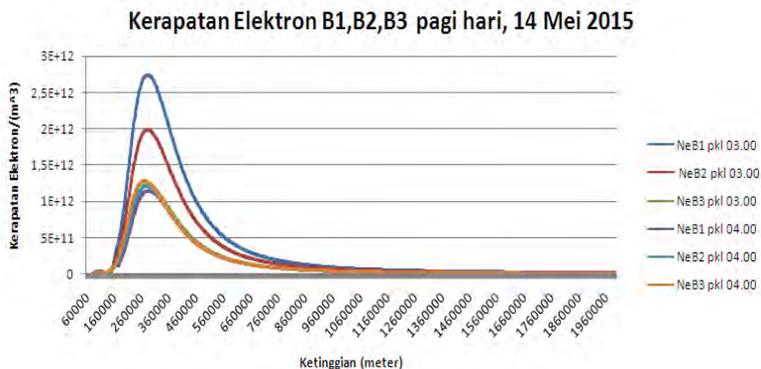
**Gambar 4.11** Kerapatan elektron B1, B2, B3 siang hari 13 Mei 2015

Pada gambar 4.11, kerapatan elektron di titik B3 merupakan yang paling tinggi pada siang hari. Namun, pada titik B3 tidak terdapat perubahan yang signifikan antara pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB. Nilai kerapatan elektron paling rendah pada siang hari adalah di titik B1 pada pukul 11.00 WIB. Pada siang hari, kerapatan elektron B1, B2 dan B3 tidak jauh berbeda.



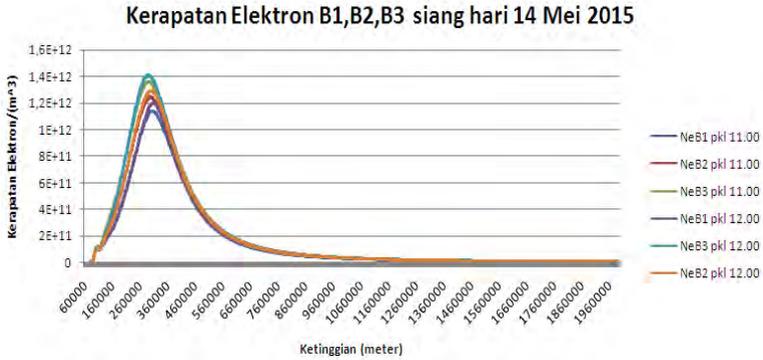
**Gambar 4.12** Kerapatan elektron B1, B2, B3 malam hari 13 Mei 2015

Kerapatan elektron pada tanggal 13 Mei 2015 tertinggi terjadi pada pukul 19.00 WIB. Namun kerapatan elektron di titik B1 pada pukul 19.00 WIB tidak jauh berbeda dengan kerapatan elektron B1 pukul 18.00 WIB. Pada gambar 4.11 nilai kerapatan elektron tertinggi pada titik B1.



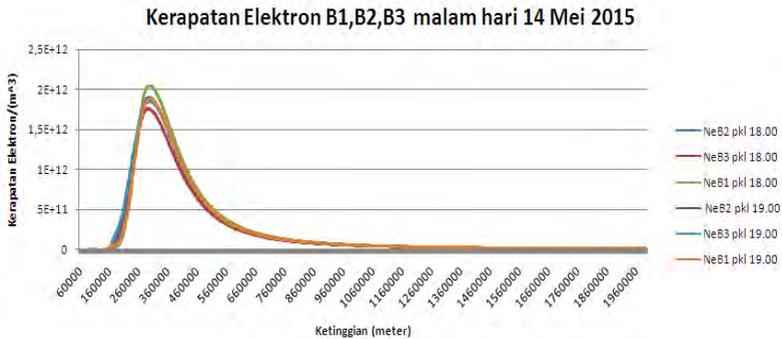
**Gambar 4.13** Kerapatan elektron B1,B2,B3 pagi hari 14 Mei 2015

Pada gambar 4.13 kerapatan elektron di titik B1 paling tinggi yaitu pada pukul 03.00 WIB. Sedangkan kerapatan elektron di titik B2 pada pukul 03.00 WIB lebih tinggi dibandingkan dengan titik B3. Pada tanggal 14 Mei 2015 terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada pukul 03.00 WIB antara titik B1, B2 dan B3. Titik dengan nilai kerapatan elektron terendah pada pukul 03.00 WIB adalah pada titik B3.



**Gambar 4.14** Kerapatan elektron B1,B2,B3 siang hari 14 Mei 2015

Pada gambar 4.14, kerapatan elektron di titik B3 merupakan yang paling tinggi pada siang hari. Namun, pada titik B3 tidak terdapat perubahan yang signifikan antara pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB. Nilai kerapatan elektron paling rendah pada siang hari adalah di titik B1 pada pukul 11.00 WIB. Pada siang hari, kerapatan elektron B1, B2 dan B3 tidak jauh berbeda.



**Gambar 4.15** Kerapatan elektron B1,B2,B3 malam hari 14 Mei 2015

Kerapatan elektron pada tanggal 14 Mei 2015 tertinggi terjadi pada pukul 18.00 WIB. Kerapatan elektron tertinggi di titik B1. Kerapatan elektron di masing-masing titiknya tidak menunjukkan perubahan yang signifikan antara pukul 18.00 WIB dan 19.00 WIB.

### 4.3 Perhitungan Frekuensi Kritis

Pada sub bab 4.2 sudah didapatkan kerapatan elektron di titik B1, B2 dan B3 di jam dan hari pengukuran. Dari data kerapatan elektron dari ketinggian 60 km hingga 2000 km dapat dilihat kerapatan elektron maksimumnya. Dengan nilai kerapatan elektron maksimum maka dapat dicari frekuensi kritis lapisan F2. Frekuensi kritis diperlukan untuk mengetahui apakah frekuensi yang digunakan saat pengukuran dipantulkan secara vertikal oleh lapisan F2 atau tidak.

**Tabel 4.1** Frekuensi Kritis Titik B1

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
11	3	1,99E+12	12,69829
11	4	9,3E+11	8,679203
11	11	9,19E+11	8,62882
11	12	9,16E+11	8,61427
11	18	1,61E+12	11,42125
11	19	1,44E+12	10,80325
12	3	2,03E+12	12,81601
12	4	1,26E+12	10,11218
12	11	2,24E+12	13,47963
12	12	2,36E+12	13,81472
12	18	1,67E+12	11,62796
12	19	1,59E+12	11,35047
13	3	3,2E+12	16,09932
13	4	1,25E+12	10,04918
13	11	1,37E+12	10,53831
13	12	1,37E+12	10,51747
13	18	2,38E+12	13,89105
13	19	2,48E+12	14,16501
14	3	2,74E+12	14,89447

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
14	4	1,15E+12	9,636501
14	11	1,14E+12	9,605951
14	12	1,2E+12	9,844448
14	18	2,04E+12	12,86665
14	19	1,88E+12	12,34988

Pada tabel 4.1 nilai frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan bervariasi dengan nilai minimum pada tanggal 11 Mei 2015 pukul 12.00 WIB yaitu 8,614 MHz. Sedangkan frekuensi tertinggi adalah 16, 099 MHz pada tanggal 13 Mei 2015 pukul 03.00 WIB. Saat pengukuran frekuensi yang digunakan adalah 7 MHz, 14 MHz, 21 MHz dan 24,94 MHz. Frekuensi yang dapat dipantulkan pada saat pengukuran adalah 7 MHz di semua jam pengukuran. Sedangkan untuk frekuensi 14 MHz dipantulkan pada tanggal 12 Mei 2015 pukul 03.00 WIB dan 19.00 WIB, tanggal 13 Mei 2015 pukul 03.00 WIB dan 19.00 WIB, tanggal 14 Mei 2015 pukul 03.00 WIB.

**Tabel 4.2 Frekuensi kritis di Titik B2**

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
11	3	1,57E+12	11,27567
11	4	1,06E+12	9,264201
11	11	1,02E+12	9,076976
11	12	1,03E+12	9,133171
11	18	1,5E+12	11,00826
11	19	1,39E+12	10,60299
12	3	1,67E+12	11,64148
12	4	1,53E+12	11,13924
12	11	2,03E+12	12,82716
12	12	2,06E+12	12,91642
12	18	1,74E+12	11,88742
12	19	1,66E+12	11,60175

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
13	3	2,34E+12	13,75375
13	4	1,38E+12	10,59172
13	11	1,45E+12	10,82006
13	12	1,48E+12	10,95197
13	18	2,22E+12	13,39962
13	19	2,22E+12	13,42198
14	3	1,98E+12	12,67877
14	4	1,21E+12	9,889525
14	11	1,24E+12	10,03988
14	12	1,29E+12	10,23309
14	18	1,9E+12	12,40681
14	19	1,87E+12	12,30176

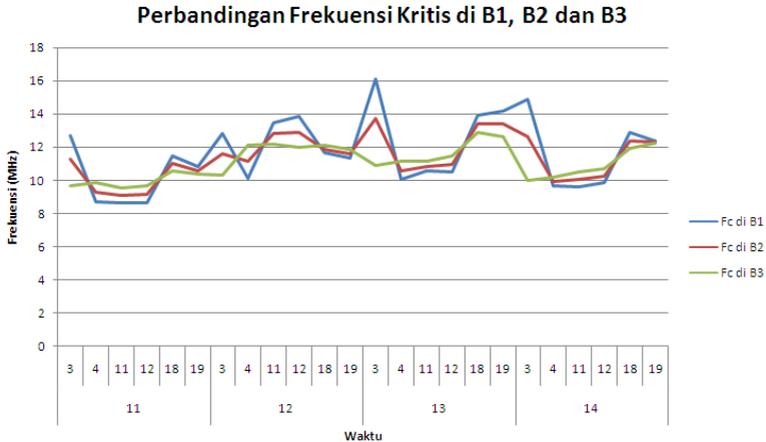
Pada tabel 4.2 nilai frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan bervariasi dengan nilai minimum pada tanggal 11 Mei 2015 pukul 11.00 WIB yaitu 9,076 MHz. Sedangkan frekuensi tertinggi adalah 13, 753 MHz pada tanggal 13 Mei 2015 pukul 03.00 WIB. Saat pengukuran frekuensi yang digunakan adalah 7 MHz, 14 MHz, 21 MHz dan 24,94 MHz. Frekuensi yang dapat dipantulkan pada saat pengukuran adalah 7 MHz di semua jam pengukuran. Sedangkan frekuensi lainnya tidak dipantulkan pada lapisan F2 di titik B2.

**Tabel 4.3** Frekuensi kritis di titik B3

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
11	3	1,15E+12	9,645862
11	4	1,2E+12	9,855923
11	11	1,12E+12	9,54431
11	12	1,16E+12	9,695008
11	18	1,38E+12	10,5838
11	19	1,34E+12	10,39887
12	3	1,32E+12	10,33539

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Nm (m <sup>3</sup> )	fc(MHz)
12	4	1,82E+12	12,13354
12	11	1,83E+12	12,18192
12	12	1,78E+12	12,02229
12	18	1,82E+12	12,14694
12	19	1,73E+12	11,8477
13	3	1,47E+12	10,91527
13	4	1,54E+12	11,15422
13	11	1,53E+12	11,1412
13	12	1,62E+12	11,45208
13	18	2,05E+12	12,89362
13	19	1,97E+12	12,63532
14	3	1,23E+12	9,98284
14	4	1,28E+12	10,17658
14	11	1,36E+12	10,49882
14	12	1,41E+12	10,68379
14	18	1,76E+12	11,93366
14	19	1,85E+12	12,25345

Pada tabel 4.3 nilai frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan bervariasi dengan nilai minimum pada tanggal 11 Mei 2015 pukul 11.00 WIB yaitu 9,544 MHz. Sedangkan frekuensi tertinggi adalah 12, 893 MHz pada tanggal 13 Mei 2015 pukul 18.00 WIB. Saat pengukuran frekuensi yang digunakan adalah 7 MHz, 14 MHz, 21 MHz dan 24,94 MHz. Frekuensi yang dapat dipantulkan pada saat pengukuran adalah 7 MHz di semua jam pengukuran. Sedangkan frekuensi lainnya tidak dipantulkan pada lapisan F2 di titik B3.



**Gambar 4.16** Grafik perbandingan frekuensi kritis pada titik B1, B2 dan B3

Pada gambar 4.16 dapat diketahui bahwa frekuensi yang dipantulkan pada lapisan F2 selama jam pengukuran maksimum pada frekuensi 16 MHz. Frekuensi pengukuran yang dipantulkan pada lapisan F2 di titik B1 adalah pada frekuensi 7 MHz dan 14 MHz. Namun di titik B3 frekuensi 14 MHz tidak dipantulkan kembali.

#### 4.4 Perhitungan Ketinggian Lapisan Pemantul

Pada perhitungan frekuensi kritis di titik B1, B2 dan B3 lintasan antara Surabaya-Merauke diperoleh dua frekuensi yang dapat dipantulkan pada lapisan F2. Sesuai dengan persamaan (2.3) maka pada frekuensi 7 MHz, kerapatan elektron lapisan pemantul adalah sebesar  $6,05 \times 10^{11} / \text{m}^3$ . Pada frekuensi 14 MHz, kerapatan elektron lapisan pemantul adalah sebesar  $2,42 \times 10^{12} / \text{m}^3$ . Dengan mencari data pada data ketinggian dan kerapatan elektron maka didapatkan ketinggian lapisan pemantul. Data kerapatan elektron yang tidak tepat  $6,05 \times 10^{11} / \text{m}^3$  dan  $2,42 \times 10^{12} / \text{m}^3$  dapat dicari ketinggiannya dengan cara mencari nilai kerapatan elektron yang  $\geq$  kerapatan elektron di 7 MHz dan 14 MHz. Ketinggian yang dipakai adalah ketinggian yang paling dekat dengan bumi.

**Tabel 4.4** Ketinggian Lapisan Pemantul di titik B1

Frekuensi pengukuran yang dipantulkan (Mhz)	Ketinggian Lapisan Pemantul 7 MHz (m)	Ketinggian Lapisan Pemantul 14 MHz (m)
7	196000	
7	232000	
7	242000	
7	248000	
7	240000	
7	238000	
7,14	196000	
7	220000	
7	172000	
7	174000	
7	240000	
7,14	236000	
7,14	182000	236000
7	218000	
7	206000	
7	212000	
7	230000	
7,14	222000	288000
7,14	186000	250000
7	220000	
7	220000	
7	222000	
7	232000	
7	230000	

Pada tabel 4.4 ada 2 frekuensi yang dapat dipantulkan di lapisan F2. Untuk frekuensi yang lebih tinggi, ketinggian lapisan pemantulnya juga lebih tinggi.

**Tabel 4.5** Ketinggian Lapisan Pemantul di titik B2

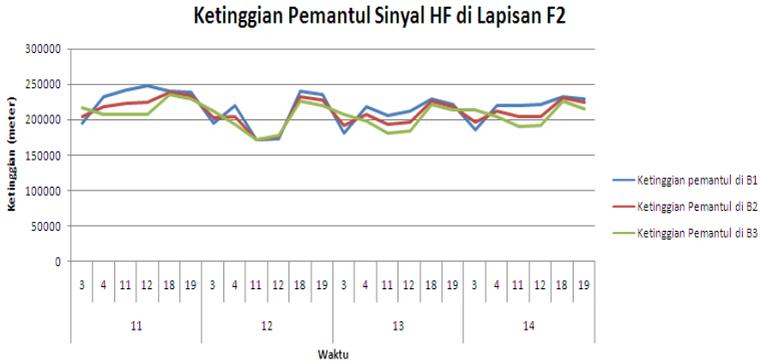
Frekuensi pengukuran yang dipantulkan (MHz)	Ketinggian (m)
7	204000
7	218000
7	222000
7	224000
7	238000
7	234000
7	202000
7	204000
7	172000
7	176000
7	232000
7	228000
7	192000
7	208000
7	194000
7	196000
7	226000
7	218000
7	196000
7	212000
7	204000
7	204000
7	230000
7	224000

Pada tabel 4.5, frekuensi yang dipantulkan di titik B2 hanya frekuensi 7 MHz. Perbedaan waktu pengukuran, berbeda juga ketinggian lapisan pemantulnya.

**Tabel 4.6** Ketinggian Lapisan Pemantul di titik B3

Frekuensi pengukuran yang dipantulkan	Ketinggian (m)
7	218000
7	208000
7	208000
7	208000
7	236000
7	230000
7	212000
7	194000
7	172000
7	178000
7	226000
7	220000
7	208000
7	198000
7	182000
7	184000
7	222000
7	214000
7	214000
7	204000
7	190000
7	192000
7	226000
7	216000

Pada tabel 4.6 frekuensi yang dipantulkan pada lapisan F2 hanyalah frekuensi 7 MHz. Lapisan ionosfer F2 yang memantulkan frekuensi 7 MHz lebih rendah di titik B3 dibandingkan di titik B2.



**Gambar 4.17** Perbandingan Ketinggian Pemantul Sinyal HF di Lapisan F2 pada titik B1, B2, dan B3

Pada gambar 4.16 dapat diketahui bahwa ketinggian lapisan pemantul selama 4 hari yang paling rendah terjadi pada tanggal 12 Mei 2015 pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB.

#### 4.5 Perhitungan *Delay Propagasi*

Ketinggian lapisan pemantul yang telah diketahui dapat digunakan untuk mencari *delay propagasi* sistem komunikasi HF Surabaya- Merauke. Dengan memperhitungkan geometrinya maka didapatkan hasil ketinggian sisi miring lintasan komunikasi HF. Dengan asumsi kecepatan yang digunakan adalah  $3 \times 10^8$  m/s kemudian dapat diketahui *delay propagasinya*.

**Tabel 4.7** *Delay Geometri Propagasi* di titik B1 Frekuensi 7 MHz

Ketinggian 7 MHz(m)	Ketinggian Miring(m)	<i>Delay Geometri</i> (s)
196000	775187,7	0,005168
232000	785063,1	0,005234
242000	788076,1	0,005254

Ketinggian 7 MHz(m)	Ketinggian Miring(m)	Delay Geometri (s)
248000	789939,2	0,005266
240000	787464,3	0,00525
238000	786857	0,005246
196000	775187,7	0,005168
220000	781600,9	0,005211
172000	769469,9	0,00513
174000	769919,5	0,005133
240000	787464,3	0,00525
236000	786254,4	0,005242
182000	771766,8	0,005145
218000	781040,3	0,005207
206000	777776,3	0,005185
212000	779386,9	0,005196
230000	784474,3	0,00523
222000	782166,2	0,005214
186000	772719,9	0,005151
220000	781600,9	0,005211
220000	781600,9	0,005211
222000	782166,2	0,005214
232000	785063,1	0,005234
230000	784474,3	0,00523

*Delay* propagasi sistem komunikasi HF di titik B1 antara frekuensi 7 MHz dengan 14 Mhz tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Hasil perhitungan *delay* berada di kisaran nilai 5 ms. *Delay* propagasi paling minimum terjadi pada pukul 03.00 WIB.

**Tabel 4.8** *Delay Geometri Propagasi di titik B2*

Ketinggian (m)	Ketinggian Miring (m)	<i>Delay Geometri</i> (s)
204000	1513808	0,010092
218000	1515759	0,010105
222000	1516339	0,010109
224000	1516633	0,010111
238000	1518764	0,010125
234000	1518142	0,010121
202000	1513540	0,01009
204000	1513808	0,010092
172000	1509829	0,010066
176000	1510290	0,010069
232000	1517835	0,010119
228000	1517229	0,010115
192000	1512238	0,010082
208000	1514353	0,010096
194000	1512493	0,010083
196000	1512751	0,010085
226000	1516930	0,010113
218000	1515759	0,010105
196000	1512751	0,010085
212000	1514907	0,010099
204000	1513808	0,010092
204000	1513808	0,010092
230000	1517531	0,010117
224000	1516633	0,010111

Delay propagasi di titik B2 lebih tinggi dibandingkan di titik B1 karena jarak yang lebih besar di titik B2. B2 merupakan titik dengan mode propagasi 1F, sehingga jarak yang digunakan adalah 1500km.

Sedangkan untuk B1 dan B3 digunakan untuk mode propagasi 2F yang memiliki jarak 750 km. Oleh sebab itu, delay di titik B2 lebih besar yaitu di kisaran nilai 10 ms. Di titik B2 delay yang paling kecil terjadi pada pukul 11.00 WIB pada tanggal 12 Mei 2015.

**Tabel 4.9** Delay Geometri Propagasi di titik B3

Ketinggian (m)	Ketinggian Miring (m)	Delay geometri (s)
218000	781040,3	0,005206936
208000	778308,4	0,005188723
208000	778308,4	0,005188723
208000	778308,4	0,005188723
236000	786254,4	0,005241696
230000	784474,3	0,005229829
212000	779386,9	0,005195913
194000	774684,5	0,005164563
172000	769469,9	0,0051298
178000	770833,3	0,005138889
226000	783310,9	0,005222073
220000	781600,9	0,005210673
208000	778308,4	0,005188723
198000	775695,8	0,005171305
182000	771766,8	0,005145112
184000	772240,9	0,005148273
222000	782166,2	0,005214441
214000	779933,3	0,005199556
214000	779933,3	0,005199556
204000	777249	0,00518166
190000	773692,4	0,00515795
192000	774186	0,00516124
226000	783310,9	0,005222073
216000	780484,5	0,00520323

*Delay* propagasi sistem komunikasi HF di titik B3 dengan frekuensi 7 MHz berada di kisaran nilai 5 ms. *Delay* propagasi paling minimum terjadi pada tanggal 12 Mei 2015 pukul 11.00 WIB.

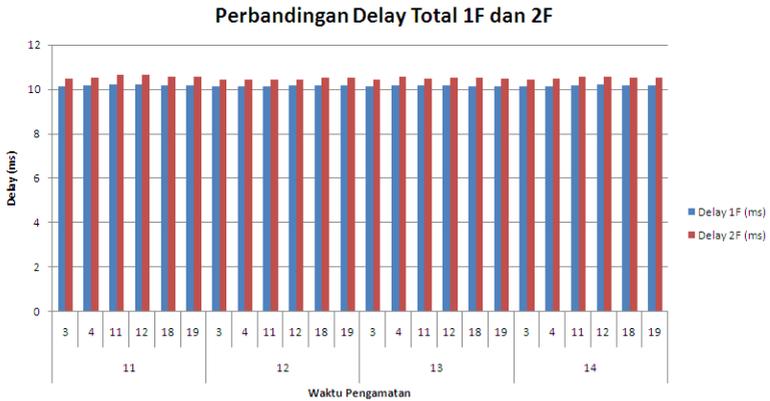
Sedangkan untuk perhitungan *delay* yang dikarenakan pengaruh ionosfer diperoleh hasil untuk 1F dan 2F sebagai berikut:

**Tabel 4.10** Perbandingan *delay* ionosfer 1F dan 2F

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Delay ionosfer 1F (ms)	Delay ionosfer 2F (ms)
11	3	0,045116166	0,095442001
11	4	0,053281351	0,107916992
11	11	0,099030534	0,202536514
11	12	0,097857319	0,201243571
11	18	0,041140599	0,082012109
11	19	0,034262735	0,068291025
12	3	0,041398234	0,090934955
12	4	0,032232144	0,062947397
12	11	0,082028829	0,168115784
12	12	0,083758115	0,168759377
12	18	0,035861386	0,071460771
12	19	0,041164343	0,086060718
13	3	0,041913718	0,085722604
13	4	0,080605259	0,192105441
13	11	0,085354989	0,167171221
13	12	0,084308025	0,17016844
13	18	0,036028488	0,071384325
13	19	0,039919409	0,079085742
14	3	0,043029346	0,090240207
14	4	0,050570609	0,098386225
14	11	0,089514913	0,177212764

Tanggal (Mei 2015)	Jam (WIB)	Delay ionosfer 1F (ms)	Delay ionosfer 2F (ms)
14	12	0,122357544	0,179844495
14	18	0,038709228	0,073174291
14	19	0,044504126	0,082723587

Sehingga, dengan menjumlahkan *delay* geometri dengan delay akibat ionosfer pada mode 1F dan 2F diperoleh hasil pada gambar 4.18.

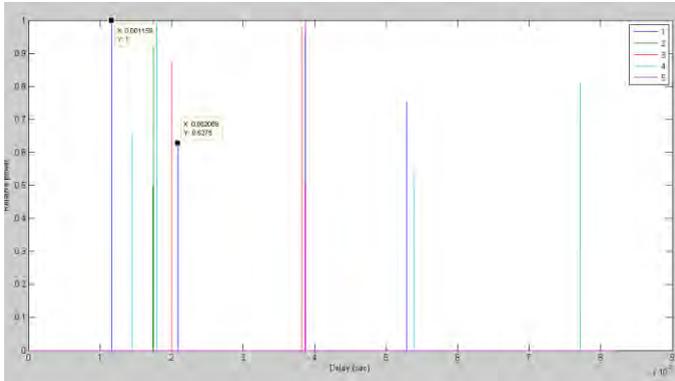


**Gambar 4.18** Perbandingan *delay* propagasi mode 1F dan 2F

Dari gambar 4.17 dapat diketahui bahwa delay propagasi untuk mode propagasi 1F dan 2F, delay mode 1F lebih kecil dibandingkan delay mode 2F. Pada mode 2F, di titik B1 dipantulkan frekuensi 7 MHz dan 14 MHz tetapi di titik B3 yang dipantulkan hanya pada frekuensi 7 MHz. Oleh sebab itu, untuk sistem komunikasi 2F antara Surabaya-Merauke yang dapat digunakan pada jam dan pengukuran 11 s.d 14 Mei 2015 adalah frekuensi 7 MHz. Rata-rata dari selisih antara *delay* total pada mode 1F dan 2F di frekuensi 7 MHz adalah 0,35557 ms.

#### 4.6 Delay Mode Propagasi 1F dan 2F Pengukuran

Dari hasil pengolahan data pengukuran I dan Q pada matlab maka diperoleh hasil seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.19** PDP Sinyal di frekuensi 7 MHz pukul 18.00 WIB

Perhitungan *delay* didapatkan dari selisih waktu pada sampling sinyal periode pertama dengan sinyal selanjutnya tetapi masih 1 periode. Pada sinyal pertama diasumsikan sebagai sinyal 1F dan sinyal ke 2 adalah sinyal hasil propagasi dengan mode 2F. Untuk hasil lebih detailnya ditampilkan dalam tabel berikut ini.

**Tabel 4.11** Perbandingan selisih sinyal pertama dan kedua yang diterima.

Pengukuran hari ke	jam(WIB)	1F (ms)	2F (ms)	Selisih (ms)
1	11.00	2,79000	2,89	0,1
1	12.00	0,379	0,46	0,081
1	18.00	1,159	2,089	0,93
1	19.00	3,531	3,786	0,255
2	03.00	0,27	0,622	0,352
2	04.00	0,468	1,387	0,919
2	11.00	6,876	6,917	4,10E-02
2	12.00	0,467	3,476	3,009
2	18.00	2,241	2,397	0,156
2	19.00	1,435	3,269	1,834
3	03.00	0,482	4,375	3,893

Pengukuran hari ke	jam(WIB)	1F (ms)	2F (ms)	Selisih (ms)
3	04.00	2,2	2,28	8,00E-02
3	11.00	2,878	7,239	4,361
3	12.00	1,493	4,189	2,696
3	18.00	1,047	4,937	3,89
3	19.00	2,707	5,809	3,102
4	03.00	1,703	3,731	2,028
4	04.00	3,815	4,115	0,3
4	11.00	0,432	1,329	0,897
4	12.00	1,507	2,365	0,858
4	18.00	0,622	1,877	1,255
4	19.00	1,636	2,969	1,333

Dari tabel di atas, rata-rata delay pada 1F dan 2F pada 4 hari pengukuran adalah sebesar 1,471364 ms.

#### 4.7 Sintesis

Berdasarkan hasil pengolahan data pada sub bab sebelumnya, didapat hasil yang menunjukkan karakteristik ionosfer Surabaya-Merauke yang diamati pada waktu pengukuran. Dari karakteristik ionosfer berupa kerapatan elektron dapat diketahui hubungannya dengan frekuensi yang dapat dipantulkan. Makin tinggi kerapatan elektron maka frekuensi yang dapat dipantulkan juga tinggi.

Pada tanggal 12 Mei 2015 kerapatan elektron yang tinggi terjadi pada siang hari, sedangkan pada malam dan pagi hari lebih rendah. Hal tersebut sesuai dengan teori bahwa kerapatan elektron pada siang hari lebih tinggi pada malam hari. Adapun kerapatan elektron pada tanggal 11,13 dan 14 Mei mengalami anomali dimana nilai kerapatan elektron tinggi terjadi pada pagi hari ataupun malam hari dan rendah pada siang hari. Hal tersebut dapat disebabkan karena pengaruh kondisi ionosfer yang mungkin sedang terjadi badai ionosfer yang ditunjukkan dengan anomali TEC yang tinggi pada malam hari.

Selisih *delay* pada mode 1F dan 2F pada pengukuran yaitu 1,471364 ms, dan *delay* dari hasil perhitungan adalah 0,35557 ms. Dari hasil perbandingan perhitungan *delay* pengukuran dan *delay* perhitungan

didapatkan hasil yang berbeda yaitu selisih 1,115794 ms. Selisih *delay* hasil perhitungan lebih kecil jika dibandingkan dengan selisih *delay* pengukuran. Hal tersebut dapat disebabkan karena pengaruh perbedaan kerapatan elektron di setiap ketinggian sehingga sinyal dapat saja terjadi pembelokan (bukan berupa garis lurus) yang menyebabkan *delay* menjadi semakin besar. Untuk hasil perhitungan dan pengukuran tidak memiliki nilai yang sama, namun hanya memiliki selisih yang relatif kecil untuk sistem komunikasi yaitu 1,1157 ms.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian tinjauan pustaka, perencanaan, perhitungan dan analisis sistem, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. *Total Electron Content (TEC)* antara lintasan Surabaya-Merauke tidak ada kecenderungan makin ke arah Indonesia Timur makin besar nilainya ataupun sebaliknya. Namun TEC cenderung memiliki mode fluktuasi yang sama berdasarkan jam nya. Pada pukul 05.00 waktu setempat nilai TEC merupakan paling rendah, sedangkan nilai TEC yang tinggi dapat terjadi pada malam maupun siang hari.
2. Untuk sistem komunikasi HF Surabaya-Merauke frekuensi saat pengukuran yang dapat dipantulkan di titik B1 adalah 7 MHz dan 14 MHz, sedangkan di titik B2 dan B3 adalah 7 MHz.
3. *Delay* propagasi hasil perhitungan antara mode propagasi 1F dan 2F berkisar pada 10 ms. *Delay* pada dengan mode 1F lebih kecil bila dibandingkan dengan delay mode propagasi 2F. Ketinggian lapisan pemantul yang memantulkan frekuensi berbeda-beda sesuai dengan jam dan hari pengukuran.
4. Selisih rata-rata *delay* antara pengukuran dan perhitungan untuk mode 1F dan 2F *link* komunikasi HF Surabaya-Merauke adalah 1,1157 ms.

#### 5.2 Saran

Dalam melakukan pengembangan sistem komunikasi HF kedepannya, dapat diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dapat digunakan pemodelan lain untuk penghitungan delay propagasi HF.
2. Perlu dirancang sistem komunikasi HF dengan delay kecil.
3. Mengatur ulang *pointing* antena dan mengatur ketinggian pemasangan antena pada implementasi sistem pengukuran selanjutnya karena arah dan ketinggian pemasangan antena berpengaruh terhadap rambatan gelombang pada lintasan kanal HF.

4. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan mitigasi interferensi yang mungkin timbul pada frekuensi kerja yang digunakan pada sistem pengukuran kanal HF.
5. Implementasi sistem pengukuran dilakukan dengan periode yang lebih lama sehingga didapatkan data yang lebih banyak agar analisis karakteristik lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] McNamara, Leo F. , “Prediction for HF Communications”, Krieger Publishing Company, 1991.
- [2] Suhartini, Sri, “Sudut Elevasi dan Ketinggian Antena Untuk Komunikasi Radio HF”, LAPAN, Indonesia, September, 2008.
- [3] Australian Government, “IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation.pdf” Sidney, Australia, 2007.
- [4] Davies, kenneth, “Ionospheric Radio”, Peter Peregrinus Ltd, United Kingdom, 1990.
- [5] ITU-R Rec. V.413-7, “Wireless Communication Principles and Practice”, ITU-R, 2005.
- [6] Foose, B. , “High Frequency Communication - an Introductory Overview,”, HIARC Meeting, 2012.
- [7] K. Bhuyan, S.B. Singh and P.K. Bhuyan, “tomographic reconstruction of the ionosphere using generalized singular value decomposition, Current Science.,Vol.83,No.9, 10 November 2002.
- [8] Buldan Muslim, Hazanuddin Z. Abidin, The Houw Liong, Wedyanto Kuncoro, Cecep Subarya, Heri Andreas dan M. Gamal, “Pemodelan TEC Regional dari Data GPS Stasiun Tetap di Indonesia dan Sekitarnya, Proc.ITB Sains & Tek., Vol.38 A,No.2, 2006.
- [9] Rizal, Muhammad, “Analisa Nilai TEC Pada Lapisan Ionosfer Menggunakan Data Pengamatan GPS Dua Frekuensi”,ITS,2008.
- [10] Buldan,M., “Komputasi TEC Ionosfer Mendekati Real Time Dari Data GPS”, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2009.
- [11] Buldan,Muslim, “Penentuan MUF Menggunakan Model Sederhana Ionosfer”, Kontribusi Fisika indonesia Vol. 13 No.2, April 2002.
- [12] McNamara, Leo F. , “Accuracy of models of hmF2 used for long-term trend analyses”, Radio Science, Vol.43,2008.
- [13] R, Dyah, “Pemanfaatan Data Ionosfer Untuk Identifikasi Lokasi Pemancar HF” , LAPAN, 2011.
- [14] Blaunstein, Nathan, Plohotniuc, Euginiu (2008), “Ionosphere and Applied Aspect of Radio Communication and Radar”,CRC Press, Boca Raton, FL.

- [15] Sousa, E.S., Jovanoic, V.M., Daigneault, C. “ Delay Spread Measurement for The Digital Cellular Channel in Toronto”. IEEE trans. On Vehicular Technology Vol.43, no. 4:837-847,1994.
- [16] Goldsmith, Andrea, “Wireless Communication”, Cambridge University Press, 2005.
- [17] Rappaport, Theodore S, “Wireless Communication Principles and Practice”, Prential Hall, USA, 2002.

# LAMPIRAN A

## PROPOSAL TUGAS AKHIR

### A. JUDUL TUGAS AKHIR

Perhitungan *Delay* Propagasi Berdasarkan Data *Total Electron Content* (TEC) Sebagai Verifikasi Hasil Pengukuran Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) di Daerah Ekuator

### B. RUANG LINGKUP

Tugas akhir ini mengambil bidang-bidang penelitian yang berkaitan dengan mata kuliah atau tema-tema sebagai berikut:

- Sistem Komunikasi *High Frequency*
- Propagasi Gelombang Radio
- *Ionospheric Radio*

### C. LATAR BELAKANG

Sistem komunikasi *High Frequency* (HF) adalah sistem komunikasi pada rentang frekuensi 3-30 Mhz yang memanfaatkan ionosfer sebagai media pemantul gelombang. Kelebihan dari sistem komunikasi HF adalah dapat menjangkau jarak yang jauh. Oleh sebab itu sistem komunikasi HF bermanfaat untuk digunakan di daerah-daerah terpencil yang terkendala infrastruktur jaringan, *relay*, dan banyaknya *obstacle*. Gelombang radio HF dipantulkan oleh ionosfer sehingga untuk komunikasi jarak jauh tidak memerlukan *repeater* ataupun satelit sehingga infrastruktur yang digunakan lebih ekonomis. Dengan kondisi geografis Indonesia dan belum meratanya pembangunan sistem komunikasi, maka pengembangan sistem komunikasi HF akan bermanfaat dalam membantu perkembangan pembangunan komunikasi di daerah yang masih terpencil. Oleh sebab itu, diadakan penelitian sistem komunikasi HF untuk komunikasi antara pemancar di Surabaya dan penerima di Ternate dan juga antara Surabaya dengan Merauke yang dilakukan oleh mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penelitian tersebut berlangsung pada bulan Mei 2015.

Pengukuran sistem komunikasi HF yang telah dilakukan mahasiswa ITS untuk komunikasi antara Surabaya-Ternate dan

Surabaya-Merauke memerlukan verifikasi *delay* propagasi. *Delay* propagasi tersebut dapat diperoleh dari pemodelan foF2. foF2 merupakan fungsi dari data *Total Electron Content (TEC)*. TEC diperoleh dari data pengukuran stasiun *Global Positioning System (GPS)* yang tersebar di antara Surabaya dan Ternate ataupun Surabaya-Merauke. foF2 merupakan parameter yang penting dalam sistem komunikasi HF. Hal tersebut disebabkan karena layer F2 ada ketika siang dan malam sedangkan layer lainnya menghilang ketika malam. Hal tersebut mengakibatkan frekuensi kritis pada layer F2 yang tertinggi sehingga layer F2 menjadi layer paling penting dalam komunikasi HF. Pemodelan foF2 akan dapat membantu verifikasi *delay* propagasi. Selanjutnya dapat dibandingkan *delay* pengukuran hasil pengamatan dengan *delay* pengukuran hasil pengolahan TEC dari GPS. Data GPS berupa *slant* TEC diubah ke *Vertical* TEC (VTEC) untuk mendapatkan foF2.

#### **D. PERUMUSAN MASALAH**

Masalah yang diharapkan untuk ditemukan solusinya melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kecenderungan densitas elektron pada saat penelitian sistem komunikasi HF pada link Surabaya-Ternate atau Surabaya- Merauke.
2. Mendapatkan *delay* propagasi sistem komunikasi HF link Surabaya-Ternate atau Surabaya- Merauke.
3. Membandingkan hasil perhitungan *delay* propagasi dengan *delay* hasil pengukuran.

#### **E. BATASAN MASALAH**

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan sebagai berikut:

1. Data pengukuran yang digunakan adalah data stasiun GPS di satu titik lokasi untuk suatu *link* tertentu.
2. Waktu yang dilakukan pemodelan foF2 adalah pada saat pengukuran sistem komunikasi HF Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke pada bulan Mei 2015.

#### **F. TUJUAN TUGAS AKHIR DAN MANFAAT**

Tujuan dan capaian yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui model foF2 untuk data TEC pada saat pengukuran HF Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke.
2. Pemodelan foF2 selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai verifikasi *delay* hasil pengukuran HF Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke.

## **G. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Beberapa bahan penelitian yang dijadikan rujukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **G.1 Sistem Komunikasi *High Frequency***

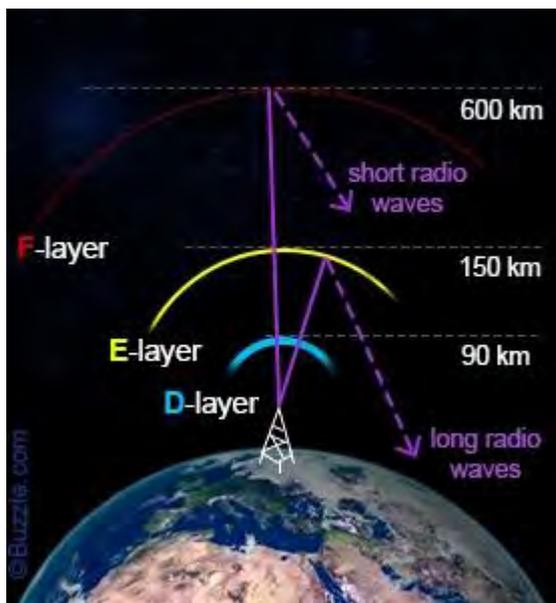
Sistem komunikasi High Frequency (HF) telah dikembangkan sejak 1950-1960 sebagai tulang punggung sistem komunikasi jarak jauh. Sistem komunikasi HF memiliki kemampuan mengakses daerah terpencil atau yang sulit diakses oleh sistem komunikasi dengan kabel. Sistem komunikasi HF bekerja pada rentang frekuensi 3-30 MHz sangat dipengaruhi oleh kondisi ionosfer karena ionosfer berfungsi sebagai reflektor gelombang radio HF.

### **G.2 Ionosfer**

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer, yang terionisasi oleh radiasi matahari. Seperti beberapa ilmuwan menyebutkan bahwa ionosfer adalah perpanjangan dari termosfer, ionosfer tidak dapat dianggap sebagai lapisan atmosfer yang terpisah. Suhu meningkat seiring dengan meningkatnya ketinggian. Ionosfer menyumbang sekitar 0,1% dari *massa* atmosfer. Membentuk lapisan dalam magnetosfer, atau ruang lingkup di pengaruh oleh magnet/gaya gravitasi bumi. Media penting untuk komunikasi HF adalah ionosfer yang memiliki karakteristik propagasi berbeda berdasarkan tempat dan waktu.

Layer pada Ionosfer terdiri dari layer D (50-90 km), layer E pada ketinggian 100-150 km dan layer F pada ketinggian 150-600km. Selama musim panas, layer F terbagi menjadi dua layer yang biasa disebut dengan F<sub>1</sub> dan F<sub>2</sub> Namun pada saat malam hari, layer D,E, dan F<sub>1</sub> hampir seluruhnya hilang dan hanya menyisakan layer F<sub>2</sub>. Oleh sebab itu, layer yang paling penting untuk komunikasi HF adalah layer F<sub>2</sub>. Kepadatan elektron pada lapisan ini lebih tinggi dibandingkan di F<sub>1</sub>. Lapisan D dan E melemah dan bahkan hilang pada malam hari. Lapisan tersebut mencerminkan gelombang radio dari panjang gelombang yang lebih panjang sementara wilayah F mencerminkan gelombang radio dari

panjang gelombang yang lebih pendek. Artinya, lapisan D dan E mencerminkan frekuensi rendah gelombang radio dan lapisan F mencerminkan frekuensi tinggi gelombang radio.<sup>[1]</sup>

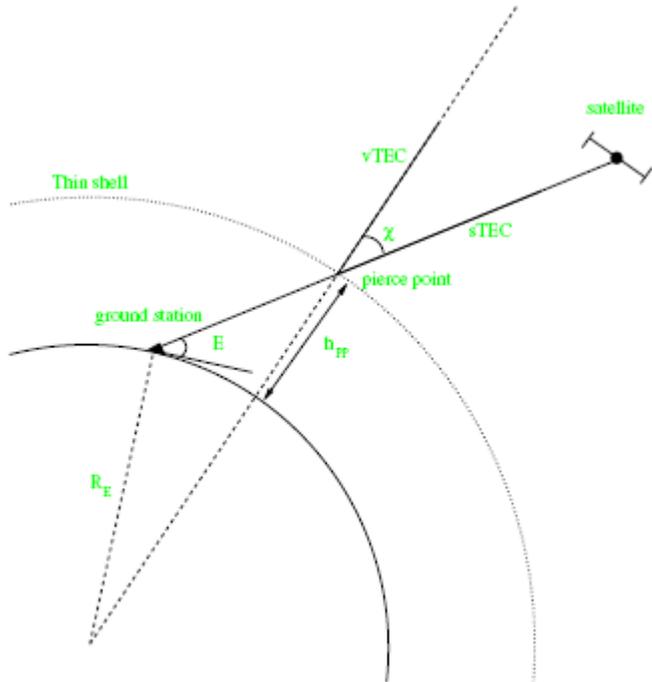


**Gambar 1.** Lapisan Ionosfer[2]

### G.3 Total Electron Content

Informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah biasanya diwakili oleh karakteristik *Total Electron Content* (TEC). TEC atau disebut dengan densitas elektron adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal berpenampang seluas  $1 \text{ m}^2$  sepanjang lintasan sinyal ionosonde ataupun perangkat GPS dalam lapisan ionosfer.<sup>[3]</sup> TEC merupakan fungsi dari variabel-variabel seperti lokasi geografis, waktu lokal, musim, radiasi sinar UV dan aktivitas medan magnet. TEC akan berpengaruh terhadap propagasi sinyal baik kecepatan, arah, polarisasi dan daya sinyal. Masalah yang kerap muncul adalah perbedaan waktu pengiriman dan penerimaan data akibat lintasan yang jamak atau biasa disebut *delay time*.<sup>[3]</sup> Vertikal TEC diperoleh dari slant TEC dengan

rumus:  $vTEC = sTEC \cos(\chi)$ , dengan  $\cos(\chi)$  merupakan fungsi dari . Dengan  $\chi = \text{zenith angle}$  pada *pierce point*,  $R_e$  adalah radius bumi,  $E$  adalah sudut elevasi satelit dan  $h_{pp}$  adalah ketinggian *pierce point*.



**Gambar 2.** Geometri untuk konversi STEC ke VTEC[4]

#### G.4 Frekuensi Kritis Layer F2 (foF2)

Ionosfer memungkinkan penyebaran sinyal radio ke tempat yang jauh di bumi. Hal ini mencerminkan gelombang radio kembali ke bumi, sehingga memudahkan komunikasi radio. Elektron bebas dalam propagasi ionosfer bantuan gelombang elektromagnetik. Frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) adalah frekuensi tertinggi dari gelombang radio HF yang masih dapat dipantulkan oleh ionosfer dalam arah propagasi vertikal. Peta foF2 regional Indonesia secara langsung dapat digunakan sebagai pedoman operasional komunikasi NVIS yaitu komunikasi HF jarak dekat (kurang dari 500 km) dengan arah propagasi mendekati vertikal.

Propagasi gelombang radio untuk VLF, LF dan MF dapat berpropagasi mengikuti kelengkungan bumi sehingga disebut juga dengan gelombang tanah. Untuk radio HF, komunikasi terjadi karena gelombang yang dipancarkan ke angkasa dan dipantulkan kembali oleh lapisan ionosfer. Sedangkan untuk VHF dan UHF tidak dapat dipantulkan oleh ionosfer tetapi diteruskan ke angkasa luar, sehingga dapat digunakan untuk komunikasi dengan satelit. Gelombang radio HF dapat dipantulkan oleh lapisan E maupun F ionosfer tergantung pada frekuensi dan sudut elevasinya.<sup>[5]</sup>

Pada komunikasi gelombang radio dengan menggunakan lapisan ionosfer terdapat tiga besaran yang penting, yakni frekuensi kritis ( $f_c$ ), *Maximum Usable Frequency* (MUF) dan sudut elevasi antena. Frekuensi kritis adalah frekuensi ketika indeks refraksi bernilai 0, atau dengan kata lain merupakan frekuensi tertinggi dimana gelombang masih bisa dipantulkan ke bumi bila ditransmisikan secara vertikal pada kondisi atmosfer yang ada. Besaran kedua adalah *Maximum Usable Frequency* (MUF). Frekuensi maksimum tergantung pada dua hal yakni frekuensi kritis pada titik pantul di lapisan ionosfer dan geometri dari sirkuit komunikasinya. Sudut elevasi mencakup dua hal sekaligus yakni sudut pancar dan sudut datang. Sudut pancar merupakan sudut yang dibentuk oleh berkas gelombang radio yang dipancarkan oleh garis horizontal di stasiun pemancar ( $T_x$ ). Sedangkan sudut datang diartikan sebagai sudut yang dibentuk oleh berkas gelombang datang dengan garis horizontal di stasiun penerima ( $R_x$ ).

Kerapatan elektron nilainya bervariasi sesuai dengan ketinggian ionosfer. Frekuensi angular ( $\omega$ ) memiliki persamaan  $\omega^2 = N e^2 / (\epsilon_0 m)$ . Dengan  $N$  adalah kerapatan elektron,  $m$  adalah massa elektron dan  $\epsilon_0$  permitivitas di ruang hampa. Frekuensi angular  $\omega$  disebut frekuensi plasma angular  $f_N$ , dengan  $f_N = 2\pi / \omega$ . Sehingga didapatkan persamaan  $f_N^2 = 80.5N$  dan frekuensi kritis  $f_c \approx 9 \times 10^{-6} N m^{1/2}$ .

### **G.5. Global Positioning System**

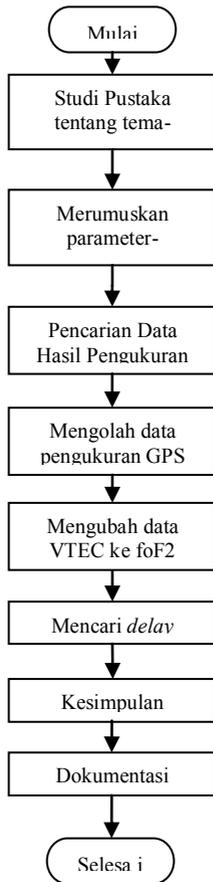
*Global Positioning System* (GPS) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola Amerika Serikat. Sistem dapat digunakan dalam segala cuaca ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan informasi waktu secara kontinyu.<sup>[6]</sup>

Satelit GPS memancarkan sinyal-sinyal gelombang elektromagnetik yang sebelum diterima oleh antena *receiver* GPS akan melewati medium lapisan-lapisan atmosfer yaitu ionosfer dan troposfer. Dalam kedua lapisan ini, sinyal GPS akan mengalami gangguan (bias). Bias yang disebabkan oleh adanya lapisan troposfer dan ionosfer ini ditambah dengan kesalahan orbit dan waktu akan menyebabkan kesalahan pada ukuran jarak dari satelit GPS ke antena *receiver*, yang akan menyebabkan kurang teliti pada penentuan posisi pengamat. Oleh karena itu estimasi besaran bias troposfer dan ionosfer perlu dilakukan untuk memperoleh hasil posisi yang lebih teliti.

Penentuan TEC dengan GPS pada dasarnya adalah suatu *inverse problem* dari penentuan posisi dengan GPS, dalam hal ini dengan menggunakan *receiver* GPS tipe *geodetic dual* frekuensi pada titik yang telah diketahui koordinatnya kita akan dapat menghitung besarnya TEC dalam arah pengamatan-pengamatan satelit GPS. Model matematika untuk penentuan TEC dapat diturunkan dari persamaan pengamatan *pseudorange* dua frekuensi atau dari persamaan *carrier phase* dua frekuensi. Dalam hal ini TEC yang dihitung adalah TEC vertikal. GPS merupakan *tools* yang potensial dalam melakukan studi ionosfer dibandingkan dengan teknologi lain yang telah digunakan, misalnya radiosonde. Teknologi GPS memiliki potensi besar untuk menentukan nilai TEC terutama untuk wilayah yang cukup luas dan banyak tertutup air seperti Indonesia.<sup>[7]</sup>

## **H. METODOLOGI**

Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini dijabarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



## I. JADWAL KEGIATAN

Rencana pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Mulai : 9 September 2015

Selesai : 28 Desember 2015

Dengan total waktu sebanyak 16 minggu.

Detail penjadwalan adalah sebagai berikut:

No	Kegiatan	September			Oktober					November			Desember				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Studi Pustaka																
2	Pencarian Data Hasil Pengukuran GPS																
3	Mengubah Hasil Pengukuran GPS Menjadi TEC																
4	Analisa Hasil TEC sebagai fungsi VTEC																
5	Mendiversifikasi VTEC ke dalam																



## LAMPIRAN B

### Listing Program Matlab

```
close all;
clear all;
clc;

%% Membaca Data TDMS

%Lokasi file .tdms yg akan dibaca
folder_loc = 'D:\Documents and Settings\DELL.WINDOWS-97E225A\My
Documents\Pengolahan data statistik\PENGUKURAN MERAUKE\';
file_name = 'IQ_07_09'; %nama file .tdms

%Membaca file .dtmf
dat = TDMS_readTDMSFile(strcat(folder_loc,file_name,'.tdms'));
I = dat.data{1,4}; %In-phase simbol
Q = dat.data{1,5}; %Quadrature simbol

%-----
In = [I(1,10001:91900).',I(1,91901:173800).',...
      I(1,173801:255700).',I(1,255701:337600).',...
      I(1,337601:419500).']; %In-phase simbol untuk 5 cuplik
Qu = [Q(1,10001:91900).',Q(1,91901:173800).',...
      Q(1,173801:255700).',Q(1,255701:337600).',...
      Q(1,337601:419500).']; %Quadrature simbol untuk 5 cuplik
%-----

% %-----
% %Parameter pengambilan sampel data I&Q dengan step tetap
% start = 10001; %lokasi awal pengambilan sampel pertama
% range = 81900; %panjang data sampel yg akan diambil
% step = 30000; %step antar pencuplikan sampel
% ns = 0; %step awal
% ncuplik = 5; %banyaknya pencuplikan data
% for hh = 1:ncuplik
%   str = start+(ns*20000);
%   In(:,hh) = I(str:str+range).';
%   Qu(:,hh) = Q(str:str+range).';
%   ns = ns+1;
% end
% %-----
```

```
%% Mencari Nilai Magnitudo dari Simbol Terima I/Q dan load PN simbol
IQmag = sqrt(((In).^2+(Qu).^2)); %Mencari magnitudo sinyal I/Q
```

```
%Parameter
```

```
fs = 1e6; % sampling rate 1 MHz
```

```
ts = 1/fs; %waktu sampling
```

```
%Load PN Sequence di data TX
```

```
pn_dat = TDMS_readTDMSFile('D:\Documents and
Settings\DELL.WINDOWS-97E225A\My Documents\Pengolahan data
statistik\orde12sample2x.tdms');
```

```
pn = pn_dat.data{1,4}.'; %simbol PN sequence di TX
```

```
%% Korelasi silang antara simbol PN dengan magnitudo simbol I/Q
```

```
%Parameter
```

```
Pfa = 0.05; %Probability of false alarm, only used with SOUSA
```

```
period = 4; %Pencuplikan 4 periode untuk simbol I/Q
```

```
len_pn = length(pn); %Panjang simbol PN
```

```
%Korelasi silang
```

```
pn_5 = kron(pn,ones(1,5)); %PN sequence yg sama untuk 5 kolom cuplik
simbol
```

```
for ii = 1:period
```

```
    row1 = ii*len_pn-(len_pn-1); %lokasi baris start setiap periode simbol
```

```
    row2 = ii*len_pn; %lokasi baris akhir setiap periode simbol
```

```
    % pn_all(row1:row2,:) = pn_5; %simbol PN untuk (len_pn*period,:)
```

```
    IQmag_each = IQmag(row1:row2,:);
```

```
    cir_fft = conj(fft(pn_5)) .* fft(IQmag_each);
```

```
    cir = ifft(cir_fft);
```

```
    cir_abs = abs(cir); %Absolut hasil korelasi silang
```

```
    med = median(cir_abs);
```

```
    stdvar = med/sqrt(log(4));
```

```
    zeta = sqrt(-2*log(Pfa));
```

```
    threshold = zeta * stdvar;
```

```
% Filtering CIR dengan nilai treshold
```

```
[r,c] = size(cir);
```

```
for jj = 1:c;
```

```
    cirfilt(:,jj) = cir(:,jj) .* ge(cir_abs(:,jj), threshold(:,jj));
```

```
end
```

```

cirfilt_all(:,:,ii) = cirfilt; %nilai CIR untuk semua periode (x,y,z)
%dimana nilai CIR untuk masing2 periode
%adalah untuk masing2 matrix dimensi z
%x -> nilai cir untuk 8190 sample
%y -> nilai CIR untuk masing2 cuplik

```

end

```

cir_exist = abs(prod(cirfilt_all,3))>0;
pdp_avg = mean(abs(cirfilt_all).^2,3) .* cir_exist; %menghitung power delay
[r1,c2] = size(pdp_avg); %ukuran matrix power delay profile avg
%r1 -> ukuran baris
%r2 -> ukuran kolom
pdp_nor = pdp_avg./kron(max(pdp_avg),ones(r1,1));
%profile rata2

```

```
%% Plot Power Delay Profile Rata2
```

```

close all;
figure;
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor);
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
legend('1','2','3','4','5');

```

```

figure;
subplot(321)
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor(:,1));
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
title('periode sampel ke-1');

```

```

subplot(322)
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor(:,2));
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
title('periode sampel ke-2');

```

```

subplot(323)
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor(:,3));
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
title('periode sampel ke-3');

```

```

subplot(324)
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor(:,4));
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
title('periode sampel ke-4');

```

```

subplot(325)
plot(ts*(0:length(pdp_nor)-1),pdp_nor(:,5));
ylabel('Relative power'); xlabel('Delay (sec)');
title('periode sampel ke-5');
%% Menghitung Data Statistik
% [mean excess delay, rms delay spread, max excess delay]
for kk=1:c2;

    loc = find(pdp_nor(:,kk)~=0); %lokasi data ~= 0 untuk masing2 cuplik
    y = pdp_nor(loc,kk); %relative pwr norm u/ masing2 cuplik
    yy = y.^2
    x = ts .* loc

    mean = sum(yy.*x)/sum(yy) %mean excess delay / cuplik
    tau2 = (sum(yy.*(x.^2)))/(sum(yy))
    rms = sqrt(tau2-(mean^2)) %rms delay spread / cuplik

    xmax = max(x)
    xmin = min(x)
    MaxDelay = (xmax-xmin) %maksimum excess delay / cuplik

    mean_excess_delay(:,kk) = mean; %mean excess delay (5 cuplik)
    rms_delay_spread(:,kk) = rms; %rms delay spread (5 cuplik)
    max_excess_delay(:,kk) = MaxDelay; %maksimum excess delay (5 cuplik)

end

```

## RIWAYAT PENULIS



**Dita Novali Putri Rahayu**, anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Giyanto dan Sumarmi. Lahir di Yogyakarta pada tanggal 17 Mei 1990. Memulai pendidikan formal di SD 1 Wonosari, lulus pada tahun 2002. Melanjutkan di SMP 1 Wonosari, lulus pada tahun 2005. Kemudian melanjutkan ke SMAN 1 Wonosari dan lulus pada tahun 2008. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang diploma (D3) pada tahun 2009 di Institut Teknologi Telkom (ITT) Bandung, jurusan Teknik Telekomunikasi, dengan mengambil penjurusan bidang transmisi. Setelah diploma, kemudian penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi 10 Nopember (ITS), Surabaya pada Januari 2013. Dengan bidang studi peminatan Teknik Multimedia Jaringan.

Pada bulan Januari 2016 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

e-mail:        [ditno.putri@gmail.com](mailto:ditno.putri@gmail.com)