



TUGAS AKHIR - TE 141599

## ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS PENGUKURAN DI DAERAH LINTANG RENDAH

Wahyu Darma  
NRP 0711144000012

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF  
BERBASIS PENGUKURAN DI DAERAH LINTANG  
RENDAH**

**Wahyu Darma  
NRP 0711144000012**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**HF RADIO CHANNEL SPATIAL CORRELATION  
ANALYSIST BASED ON MEASUREMENT IN LOW  
LATITUDE AREA**

Wahyu Darma  
NRP 0711144000012

Supervisors  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2018

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS PENGUKURAN DI DAERAH LINTANG RENDAH**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Wahyu Darma  
0711144000012

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

**ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS  
PENGUKURAN DI DAERAH LINTANG RENDAH**

**TUGAS AKHIR**

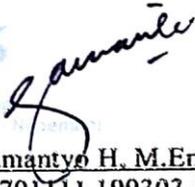
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng. Ph.D  
NIP. 19701111 199303 1002

  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
NIP. 19610903 198903 1001



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS PENGUKURAN DI DAEAH LINTANG RENDAH

Nama mahasiswa : Wahyu Darma

Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## ABSTRAK

Sistem Komunikasi High Frequency (HF) adalah sistem komunikasi jarak jauh yang berkerja pada spektrum frekuensi 3-30 MHz. Komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer sebagai media transmisinya. Adanya perbedaan kondisi ionosfer yang terjadi, dibutuhkan teknik komunikasi kooperatif dengan syarat antara link satu dengan yang lainnya tidak bekorelasi. Oleh karena itu pengukuran korelasi spasial terhadap kuat sinyal kanal HF pada link tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui apakah link tersebut bisa diterapkan sistem komunikasi kooperatif.

Pengukuran dilakukan dengan waktu yang bersamaan dari Surabaya–Ternate dan Surabaya–Merauke dengan frekuensi 9-10.2 Mhz, dimana Surabaya sebagai transmitter lalu Ternate dan Merauke sebagai receiver. Kuat sinyal yang diterima menggunakan antena monopole kemudian didemodulasi dengan IQ demodulator pada perangkat USRP dan *software* LabVIEW. Hasil yang akan didapatkan yaitu I dan Q yang akan diolah oleh Matlab untuk mengetahui kuat sinyal yang diterima. Setelah itu dicari koefisien korelasi dari kuat sinyal tersebut untuk menunjukkan hasil korelasi spasial kanal radio HF antara Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke.

Dari data yang diperoleh, koefisien korelasi pada tanggal 16 November 2017 adalah 0.49103 dan tanggal 17 November 2017 adalah 0.12922. Koefisien korelasi pada siang hari dari jam 12.00-17.00 WIB adalah 0.56452 dan koefisien korelasi pada malam hari dari jam 18.00-23.00 WIB adalah -0.074335. Koefisien korelasi pada link pengukuran adalah 0.18551. Dari hasil tersebut diketahui bahwa koefisien korelasi pada link pengukuran yang mendekati 0 menunjukkan link tersebut tidak berkorelasi dan bisa diterapkan sistem komunikasi kooperatif.

**Kata kunci:** *High Frequency, Koefisien Korelasi, Pengukuran, Lintang Rendah*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# ***HF RADIO CHANNEL SPATIAL CORRELATION ANALYSIST BASED ON MEASUREMENT IN LOW LATITUDE AREA***

Student Name : Wahyu Darma  
Supervisor I : Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D.  
Supervisor II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **ABSTRACT**

High Frequency Communication System (HF) is a remote communications system that works on the 3-30 MHz frequency spectrum. This HF communication depends on ionosphere conditions as its transmission medium. The existence of different ionosphere conditions that occur, cooperative communication techniques are required with the condition between the links with each other is not correlated. Therefore measurement of spatial correlation toward signal strength HF channel on the link need to be done to know whether the link can be applied cooperative communication system.

Measurements were made at the same time from Surabaya-Ternate and Surabaya-Merauke with frequency 9-10.2 Mhz, where Surabaya as transmitter then Ternate and Merauke as receivers. Signal strength received using monopole antennas were demodulated with IQ demodulator on USRP device and LabVIEW software. The result will be obtained that is I and Q to be processed by Matlab to know the received signal strength. After that determine the correlation coefficient of the signal strength to show the spatial correlation of the HF radio channel between Surabaya-Ternate and Surabaya-Merauke.

From the data obtained, the correlation coefficient on November 16, 2017 is 0.49103 and November 17, 2017 is 0.12922. Correlation coefficient during the day from 12:00 to 17:00 pm is 0.56452 and the correlation coefficient at night from 18:00 to 23:00 pm is -0.074335. The correlation coefficient on the measurement link is 0.18551. From the results it is known that the correlation coefficient on the measurement link approaching 0 indicates the link is not correlated and can be applied cooperative communication system.

**Key Word:** *High Frequency, Correlation Coefficient, Measurement, Low latitude.*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS PENGUKURAN DI DAERAH LINTANG RENDAH”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, khususnya kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Keluarga Darmawan yang selalu mengirimkan doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS terutama Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan perhatiannya kepada penulis selama kuliah dan proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Ibu Indah Kurniawati, Mbak Umairah, Pak Said, Mbak Yusnanda, Mas Rizal Satria Eka, dan Rizki Arvianta yang bersedia membantu dan menghibur penulis dalam menghadapi tugas akhir.
5. Teman-teman seperjuangan e54, Distrik Kreatif 2016, Arek Kons, dan rekan-rekan laboratorium Antena dan Propagasi yang telah memotivasi penulis.

Penulis telah menyadari keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Elektro khususnya bidang studi Telekomunikasi Multimedia

Surabaya, Juni 2018

Penulis

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
TABLE OF CONTENT .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika Pembahasan .....	5
1.7. Relevansi .....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Sistem Komunikasi HF .....	7
2.2. Ionosfer .....	13
2.2.1. Lapisan D .....	14
2.2.2. Lapisan E .....	14
2.2.3. Lapisan F .....	14
2.2.4. Variasi ionosfer .....	15
2.3. Gangguan pada Komunikasi HF .....	17
2.3.1. <i>Sporadic E</i> .....	17
2.3.2. <i>Equatorial Spread F (ESF)</i> .....	18
2.3.3. <i>Fading</i> .....	18
2.3.4. <i>Noise</i> .....	19
2.4. Antena .....	20
2.5. Universal Software Radio Peripheral (USRP) .....	22
2.6. <i>In-Phase</i> dan <i>Quadrature (I/Q)</i> .....	23
2.7. Menentukan Jarak Titik Jatuh Sinyal .....	24
2.8. Koefisien Korelasi .....	25
2.9. Regresi Linear .....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1. Perancangan Sistem .....	27
3.1.1. Subsisitem Pemancar .....	27

3.1.2.	Subsistem Penerima .....	28
3.1.3.	Akuisisi data .....	29
3.2.	Parameter Sistem Komunikasi .....	29
3.2.1.	Pemilihan Frekuensi Pengukuran .....	29
3.2.2.	Spesifikasi Sistem Perangkat Komunikasi HF .....	30
3.2.3.	Penentuan Waktu Pengukuran .....	36
3.2.4.	Pemilihan Lokasi Pengukuran .....	37
3.2.5.	Perhitungan Link Budget .....	37
3.3.	Instalasi Perangkat .....	38
3.3.1.	Instalasi Perangkat Keras .....	38
3.3.2.	Instalasi Perangkat Lunak LabVIEW .....	39
3.3.3.	Integrasi USRP dengan LabVIEW .....	41
3.4.	Implementasi Sistem .....	41
3.4.1.	Implementasi Sisi Pemancar .....	42
3.4.2.	Implementasi Sisi Penerima .....	42
3.5.	Skenario Pengambilan Data dan Lokasi Pengukuran .....	45
3.6.	Proses Pengambilan Data .....	47
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA .....		49
4.1.	Hasil Pengukuran .....	49
4.1.1.	Pengolahan Data Terekam .....	49
4.2.	Perhitungan Koefisien Korelasi .....	55
4.2.1.	Hasil Regresi Linear terhadap Variasi Harian .....	56
4.2.2.	Hasil Regresi Linear terhadap Variasi Waktu .....	58
4.2.3.	Hasil Regresi Linear secara Keseluruhan .....	60
4.3.	Verifikasi dengan Hasil Simulasi .....	62
BAB 5 PENUTUP .....		65
5.1.	Kesimpulan .....	65
5.2.	Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA .....		67
LAMPIRAN A .....		69
LAMPIRAN B .....		71
LAMPIRAN C .....		73
LAMPIRAN D .....		77
LAMPIRAN E .....		79
LAMPIRAN F .....		87
LAMPIRAN G .....		89
RIWAYAT PENULIS .....		91

# TABLE OF CONTENT

STATEMENT ORIGINALITY .....	i
APPROVAL SHEET .....	iii
ABSTRACT .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
FOREWORD .....	ix
TABLE OF CONTENTS .....	xi
<i>TABLE OF CONTENTS</i> .....	xiii
TABLE OF FIGURES .....	xv
TABLES .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Background .....	1
1.2. Problem .....	2
1.3. Limitation .....	2
1.4. Purpose .....	3
1.5. Methodology .....	3
1.6. Systematic Report .....	5
1.7. Relevance .....	6
BAB 2 BASIC THEORY .....	7
2.1. HF Communication System .....	7
2.2. Ionosphere .....	13
2.2.1. D Layer .....	14
2.2.2. E Layer .....	14
2.2.3. F Layer .....	14
2.2.4. Ionospheric Variations .....	15
2.3. Interference on HF Communications .....	17
2.3.1. <i>Sporadic E</i> .....	17
2.3.2. <i>Equatorial Spread F (ESF)</i> .....	18
2.3.3. <i>Fading</i> .....	18
2.3.4. <i>Noise</i> .....	19
2.4. Antenna .....	20
2.5. Universal Software Radio Peripheral (USRP) .....	22
2.6. <i>In-Phase</i> dan <i>Quadrature (I/Q)</i> .....	23
2.7. Determining The Falling Distance of The Signal Points .....	25
2.8. Correlation Coefficient .....	235
2.9. Linear Regression .....	235
BAB 3 RESEARCH METHODOLOGY .....	277
3.1. System Design .....	277
3.1.1. Transmitter Subsystem .....	277

3.1.2. Receiver Subsystems.....	28
3.1.3. Data Aquisition.....	29
3.2. Communications System Parameters.....	29
3.2.1. Selection of Measurement Frequency.....	29
3.2.2. HF Communication System Device Spesifications.....	30
3.2.3. Measurement Timing.....	36
3.2.4. Selection of Measurement Place.....	37
3.2.5. Link Budget Calculation.....	37
3.3. Device Instalation.....	38
3.3.1. Hardware Instalation.....	38
3.3.2. LabVIEW Software Instalation.....	39
3.3.3. Integration of USRP with LabVIEW.....	41
3.4. System Implementation.....	41
3.4.1. Transmitter Implementation.....	42
3.4.2. Receiver Implementation.....	42
3.5. Data Acquisition and Measurement Place Scenario.....	45
3.6. Data Retrieval Process.....	47
<b>BAB 4 RESULT AND DATA ANALYSIS.....</b>	<b>49</b>
4.1. Measurement Result.....	49
4.1.1. Data Recorded Processing.....	49
4.2. Correlation Coefficient Calculation.....	55
4.2.1. The Result of Linear Regression on Daily Variation.....	56
4.2.2. The Result of Linear Regression on Time Variation.....	58
4.2.3. The Result of Overall Linear Regression.....	60
4.3. Verification with Simulation Result.....	61
<b>BAB 5 CLOSING.....</b>	<b>65</b>
5.1. Conclusion.....	65
5.2. Suggestion.....	65
<b>REFERENCE.....</b>	<b>67</b>
<b>APPENDIX A.....</b>	<b>69</b>
<b>APPENDIX B.....</b>	<b>71</b>
<b>APPENDIX C.....</b>	<b>73</b>
<b>APPENDIX D.....</b>	<b>77</b>
<b>APPENDIX E.....</b>	<b>79</b>
<b>APPENDIX F.....</b>	<b>87</b>
<b>APPENDIX G.....</b>	<b>89</b>
<b>BIOGRAPHY.....</b>	<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Metodologi Penelitian.....	4
<b>Gambar 2.1</b> Mekanisme Propagasi Gelombang[1].....	7
<b>Gambar 2.2</b> Propagasi Gelombang HF[3] .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Mode Propagasi Skywave Gelombang HF[3] .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Skip Zone [3] .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Jenis Lapisan Ionosfer[3].....	13
<b>Gambar 2.6</b> <i>Latitudinal variations</i> [3].....	16
<b>Gambar 2.7</b> <i>Sporadic E</i> [3].....	17
<b>Gambar 2.8</b> Efek dari TID [3] .....	18
<b>Gambar 2.9</b> Ilustrasi Antena Monopole[13].....	20
<b>Gambar 2.10</b> Pola Radiasi Antena Monopole [14].....	21
<b>Gambar 2.11</b> USRP Tipe N210 .....	22
<b>Gambar 2.12</b> Daughterboard LFTX/RX.....	23
<b>Gambar 3.1</b> Blok diagram subsistem pemancar .....	27
<b>Gambar 3.2</b> Blok diagram subsistem penerima .....	28
<b>Gambar 3.3</b> Blok Diagram Subsistem Penerima dan Akuisisi Data ....	29
<b>Gambar 3.4</b> Antena Monopole .....	30
<b>Gambar 3.5</b> USRP N210 .....	31
<b>Gambar 3.6</b> Daughterboard LFTX dan LFRX.....	32
<b>Gambar 3.7</b> Tampilan LabVIEW .....	32
<b>Gambar 3.8</b> LNA ZFL-1000LN .....	33
<b>Gambar 3.9</b> Octoclock CDA 2990 .....	33
<b>Gambar 3.10</b> Antena GPS .....	34
<b>Gambar 3.11</b> Gigabit Ethernet.....	34
<b>Gambar 3.12</b> Kabel Coaxial .....	35
<b>Gambar 3.13</b> Kondisi Ionosfer Kupang.....	36
<b>Gambar 3.14</b> Link Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke.....	36
<b>Gambar 3.15</b> Perangkat Keras Penerima .....	39
<b>Gambar 3.16</b> Tampilan Panel LabVIEW di Penerima.....	40
<b>Gambar 3.17</b> Konfigurasi USRP .....	41
<b>Gambar 3.18</b> Pemasangan Antena Pemancar .....	42
<b>Gambar 3.19</b> Pemasangan Antena Penerima (a) Ternate (b) Merauke	43
<b>Gambar 3.20</b> Pemodelan Subsistem Penerima .....	44
<b>Gambar 3.21</b> Blok Diagram Pengaturan Perangkat USRP RX .....	44
<b>Gambar 3.22</b> Tampilan Panel Rx .....	45
<b>Gambar 3.23</b> Blok Diagram Pengolahan Sinyal Terima menjadi data IQ .....	45

<b>Gambar 4.1</b> Sistem Transmisi Pengukuran .....	49
<b>Gambar 4.2</b> Blok Diagram USRP N210 .....	50
<b>Gambar 4.3</b> Sinyal Baseband pada Penerima Ternate 16 November 2017 .....	51
<b>Gambar 4.4</b> Sinyal Baseband pada Penerima Merauke 16 November 2017 .....	51
<b>Gambar 4.6</b> Sinyal Baseband di Penerima Merauke 17 November 2017 .....	52
<b>Gambar 4.5</b> Sinyal Baseband di Penerima Ternate 17 November 2017 .....	52
<b>Gambar 4.7</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) tanggal 16 November 2017 .....	56
<b>Gambar 4.8</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) tanggal 17 November 2017 .....	57
<b>Gambar 4.9</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) pada siang hari.....	58
<b>Gambar 4.10</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) pada malam hari .....	59
<b>Gambar 4.11</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) secara keseluruhan.....	60
<b>Gambar 4.12</b> Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) dengan simulasi secara keseluruhan .....	61
<b>Gambar 4.13</b> Propagasi Link Pengukuran.....	62

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Pembagian Band Frekuensi[2] .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Jenis Redaman[4] .....	11
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengelompokan Kuat Sinyal .....	53
<b>Tabel D.1</b> Link Budget Surabaya-Merauke .....	77

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan yang terdiri sekitar 13.466 pulau besar dan kecil yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Banyaknya pulau tersebut membuat masih adanya daerah yang kesulitan dalam mengakses informasi. Hal ini mengakibatkan daerah tersebut menjadi terpencil atau terisolasi dibandingkan daerah di pulau-pulau lainnya sehingga diperlukan konsep dan perencanaan dalam pembangunan wilayah kepulauan yang terpencil. Untuk itu diperlukan sistem komunikasi dalam menunjang pembangunan daerah di pulau tersebut. Salah satu alternatif yang memungkinkan untuk dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah sistem komunikasi *High Frequency* (HF).

Sistem komunikasi HF merupakan sistem komunikasi jarak jauh yang berkerja pada frekuensi 3-30 MHz. Sistem komunikasi HF mempunyai kelebihan karena menggunakan peralatan yang relatif murah dan mudah untuk diimplementasikan. Cara kerja sistem komunikasi ini adalah dengan mengirimkan sinyal yang akan dipantulkan satu kali atau lebih di lapisan ionosfer, yakni 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan *repeater*. Gelombang radio yang dikirimkan bergantung pada kondisi lapisan ionosfer sebagai media untuk mengirimkan sinyal hingga sampai di tujuan. Faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi ionosfer adalah ketinggian lapisan ionosfer, letak geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Namun pada lapisan ionosfer di daerah ekuatorial seperti di Indonesia terdapat fenomena yang disebut dengan *Equatorial Spread F (ESF)* yaitu penyebaran lapisan F yang berpotensi menyebabkan *delay spread* dan *time variant* sehingga ketersediaan terhadap kanal HF menjadi rendah. Kemudian di daerah khatulistiwa juga sering terjadi anomali pada pagi hari menjelang matahari terbit dan juga sore hari menjelang matahari terbenam dimana anomali tersebut meningkat ketika adanya peningkatan aktifitas matahari dan equinoxes yaitu ketika matahari melintasi daerah khatulistiwa yang membuat ketinggian lapisan ionosfer menjadi rendah. Selain itu adanya karakteristik lapisan ionosfer yang tidak ideal dapat mengganggu sistem komunikasi HF seperti terjadinya distorsi, adanya efek propagasi yang dinamis, tingkat interferensi yang tinggi, dan fading yang menyebabkan

redaman. Adanya perbedaan kondisi ionosfer yang terjadi maka diperlukan suatu teknik sistem komunikasi kooperatif yaitu sistem komunikasi dimana pemancar memanfaatkan relay untuk mengirimkan informasi ke penerima selain antara pemancar dan penerima itu sendiri. Komunikasi kooperatif ini bermanfaat ketika link antara pemancar dan penerima mengalami gangguan maka informasi dapat dikirimkan melalui relay selanjutnya relay yang akan meneruskan informasi tersebut ke penerima. Syarat sistem komunikasi kooperatif berjalan baik jika jalur antara link satu dengan lainnya tidak saling berkorelasi atau berkorelasi rendah. Oleh karena itu korelasi spasial kanal HF antara link utama dengan link-link relay berbasis pengukuran perlu dilakukan agar dapat mengetahui letak relay yang tepat untuk membangun sistem komunikasi kooperatif. Spasial kanal merupakan media transmisi antara pemancar dengan satu atau lebih penerima pada jarak yang berbeda dalam waktu yang bersamaan.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis korelasi spasial kanal HF terhadap sistem komunikasi HF Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke sehingga didapatkan hasil korelasi antara komunikasi Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke.

## **1.2. Permasalahan**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana korelasi kuat sinyal spasial kanal pada pengukuran komunikasi HF Surabaya-Ternate dan Surabaya - Merauke?

## **1.3. Batasan Masalah**

Hal-hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kanal yang akan dianalisis adalah kanal HF antara Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke tanggal 13-17 November 2017.
2. Antena yang digunakan adalah vertikal monopole.
3. Rentang frekuensi yang digunakan untuk pengukuran adalah 9-10.15 MHz.
4. Pengukuran kanal HF dilakukan dengan menggunakan perangkat Universal Software Radio Peripherals(USRP) dan software LabVIEW

## **1.4. Tujuan**

Berikut tujuan tugas akhir ini diantaranya:

1. Untuk mendapatkan data hasil pengukuran pada sistem komunikasi HF antara Surabaya-Ternate, Ternate-Merauke dan Surabaya-Merauke sebagai bahan untuk evaluasi propagasi kanal HF di Indonesia.
2. Medapatkan hasil analisa korelasi spasial kanal HF antara Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke.
3. Sebagai salah satu kontribusi untuk menunjang penelitaian yang berkelanjutan mengenai alternatif sistem telekomunikasi yang handal dengan kompleksitas yang rendah dan murah.

## **1.5. Metodologi**

Penelitian dilakukan dengan lima tahap yaitu: studi literatur, perancangan simulasi sistem, pengujian dan implementasi, pengolahan data, analisa data dan penarikan kesimpulan dari penelitian.

### **1. Studi Literatur**

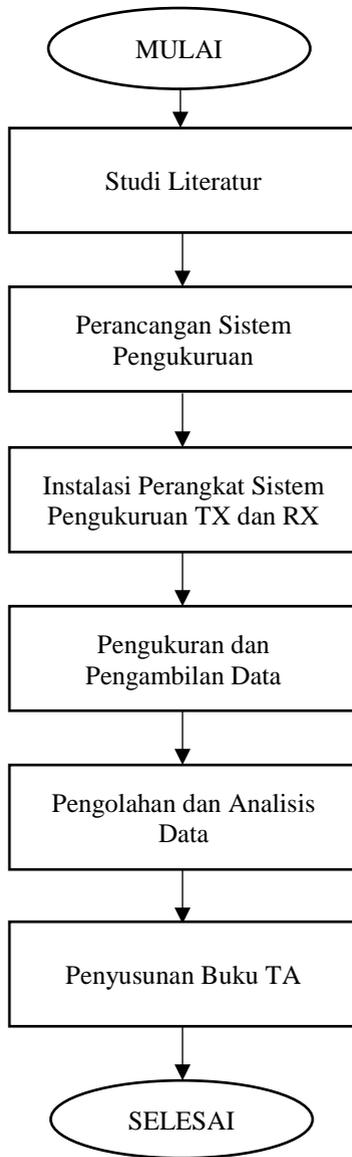
Studi Literatur dilakukan untuk mencari dan mempelajari beberapa buku, paper, dan jurnal baik skala nasional maupun internasional yang sekiranya dapat menunjang tugas akhir ini. Pada tahap ini akan dipelajari dasar-dasar sistem komunikasi HF, perancangan dan simulasi komunikasi, juga bagaimana mengolah data pengukuran yang telah didapatkan.

### **2. Perancangan Sistem Komunikasi**

Pada tahap ini dilakukan skema perancangan simulasi komunikasi HF menggunakan perangkat USRP dan computer dengan software labVIEW. Sebelum dilakukan pengukuran, akan diterapkan simulasi terlebih dahulu menggunakan USRP dan software labVIEW skala lab agar penjadwalan pengukuran sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

### **3. Pengukuran dan Implementasi**

Setelah melakukan simulasi sistem, maka akan dilakukan pengukuran yang terletak pada tiga tempat, yakni Surabaya, Ternate dan Merauke. Pengukuran yang telah dilakukan akan diuji coba dan data yang didapatkan akan diolah nantinya.



**Gambar 1.1** Metodologi Penelitian

4. Pengolahan dan Analisis Data  
Data yang telah didapatkan akan diolah dengan software Matlab lalu didapatkan hasil yang akan dianalisis apakah saling berkorelasi atau tidak. Hasil korelasi yang diperoleh dari pengukuran akan diverifikasikan dengan perbandingan terhadap korelasi dari hasil simulasi Proplab. Penyusunan Laporan Tugas Akhir
5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

## **1.6. Sistematika Pembahasan**

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

- Bab 1 : Pendahuluan  
Pada bab ini dibahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- Bab 2 : Tinjauan Pustaka  
Pada bab ini dibahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini seperti lapisan ionosfer, sistem komunikasi HF, antena monopole, perangkat yang digunakan, teori statistik koefisien korelasi serta teori regresi
- Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan  
Pada bab ini dibahas mengenai perancangan sistem komunikasi HF yang meliputi perancangan sistem desain pengukuran dan skenario pengukuran.
- Bab 4 : Simulasi dan Analisis  
Pada bab ini dibahas hasil pengukuran dan pengolahan data pengukuran. Hasil tersebut akan dianalisa untuk mendapatkan korelasi spasial kanal HF dan koefisien korelasinya. Setelah itu hasil tersebut akan diverifikasi dengan hasil simulasi proplab.
- Bab 5 : Penutup  
Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa yang telah dilakukan.

## **1.7. Relevansi**

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

### **1. Bagi Perusahaan Telekomunikasi**

Dapat dijadikan rekomendasi untuk penerapan sistem komunikasi kooperatif dan penggunaan kanal HF di daerah equatorial.

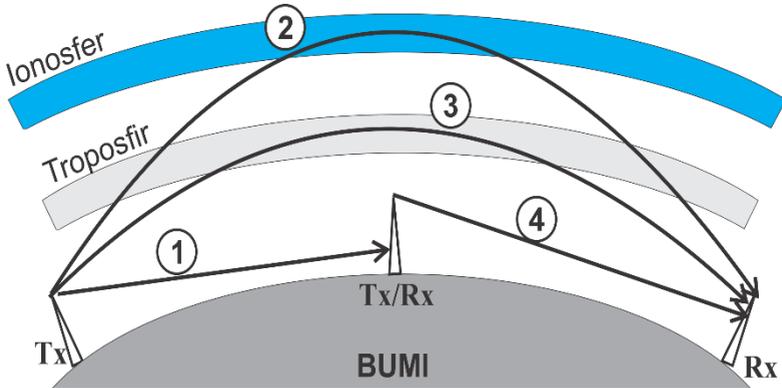
### **2. Bagi Masyarakat**

Sebagai rekomendasi komunikasi alternatif untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh alat komunikasi komersil dan sebagai komunikasi darurat untuk daerah yang sering terkena bencana agar tetap dapat berkomunikasi.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pengiriman sinyal informasi dari suatu tempat ke tempat yang lain dapat dikelompokkan kedalam dua jenis berdasarkan media transmisinya, yaitu memakai kabel (*wire*) dan tanpa kabel (*wireless*). Pada transmisi *wireless*, gelombang radio merambat melalui udara dengan spectrum frekuensi 3 KHz - 300 GHz dari pemancar sampai ke penerima yang jaraknya bisa mencapai ratusan kilometer[1].

Dalam propagasi gelombang radio, terdapat empat jalur rambatan untuk mengirimkan sinyal dari pemancar ke penerima. Empat jalur tersebut adalah melalui permukaan tanah yang disebut dengan *groundwave*, melalui pantulan ionosfer yang disebut dengan *skywave*, melalui lapisan troposfer, dan lintasan langsung yang dikenal dengan *direct wave (Line of Sight)*. Gelombang yang merambat melalui keempat jalur tersebut mempunyai frekuensi yang berbeda. Berdasarkan kesepakatan internasional, spectrum frekuensi terbagi menjadi band-band yang tercantum pada table 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme Propagasi Gelombang[1]

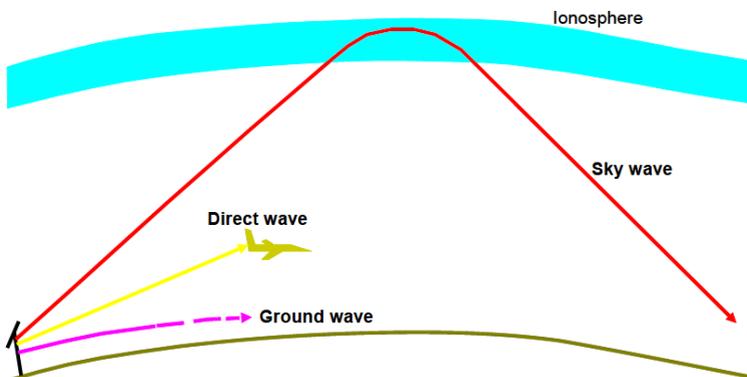
### 2.1. Sistem Komunikasi HF

Sistem komunikasi HF adalah sistem komunikasi yang berada pada rentang frekuensi 3-30 MHz. Komunikasi HF biasanya digunakan untuk komunikasi jarak jauh (*long distance*) antar pulau. Hal itu terjadi

**Tabel 2.1** Pembagian Band Frekuensi[2]

Frequency Band	Frequency Range
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

karena dengan karakteristik gelombang HF yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer pada atmosfer bumi. Ionosfer merupakan lapisan permukaan bumi yang terletak pada ketinggian 50 km sampai 500 km dari permukaan air laut. Ionosfer terbentuk ketika cahaya EUV dari matahari melepaskan elektron dari atom netral di atmosfer bumi. Gelombang yang berpropagasi melalui lapisan ionosfer disebut dengan gelombang langit (*sky wave*). Gelombang yang melewati lapisan ionosfer inilah yang akan dipantulkan oleh partikel yang terionisasi[1]. Kondisi partikel yang terionisasi pada lapisan ionosfer yang menyebabkan gelombang yang sampai di sisi penerima berubah-ubah. Jika kondisi itu baik maka gelombang yang dikirimkan dapat dipantulkan kembali ke bumi pada jarak tertentu dan tidak tembus ke luar angkasa.

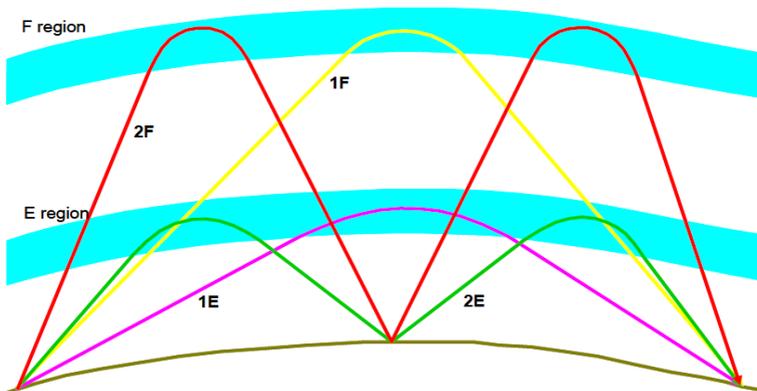


**Gambar 2.2** Propagasi Gelombang HF[3]

Gelombang HF mempunyai tiga tipe propagasi yakni propagasi dengan *groundwave*, propagasi dengan menggunakan *skywave*, dan *direct wave* (*Line of Sight*)[3]. Pada *groundwave*, gelombang radio HF merambat dari sisi pengirim ke penerima melalui pemantulan objek-objek yang ada di permukaan tanah. Jarak tempuh pada propagasi *groundwave* tersebut bergantung pada konduktivitas, permeabilitas, tinggi antenna, polarisasi antena dan topografi permukaan bumi yang dirambatinya[3]. Jika gelombang merambat melalui permukaan datar yang kering maka jarak jangkauannya hanya mencapai puluhan kilometer namun lain halnya jika merambat melalui permukaan lautan maka jarak jangkauan bisa mencapai ratusan kilometer.

Pada tipe propagasi *skywave*, gelombang radio HF mengalami proses pemantulan pada lapisan ionosfer dan dapat menjangkau jarak hingga ribuan kilometer. Pada tipe propagasi ini, dapat menjelaskan mengenai berapa kali pantulan yang terjadi di ionosfer terhadap gelombang radio yang disebut dengan hop. Mode *single* hop akan terjadi pada jarak yang ditempuh gelombang antara 300-2300 Km sedangkan untuk mode *double* hop terjadi pada jarak tempuh antara 2300-4500 Km dan >4500 Km memiliki mode *multi* hop yang lebih dari *double* hop[1].

Ketiga adalah tipe propagasi *direct wave* (*Line of Sight*). Tipe propagasi ini menjangkau jarak lebih jauh daripada tipe propagasi *groundwave*. Gelombang pada tipe propagasi ini berinteraksi dengan gelombang pantul bumi tergantung pada pelepasan terminal, frekuensi, polarisasi, dan daerah yang dirambatinya[3].

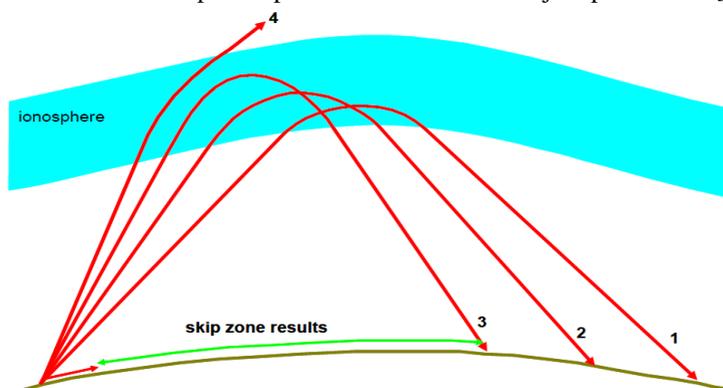


**Gambar 2.3** Mode Propagasi Skywave Gelombang HF[3]

Dalam komunikasi HF, terdapat kuantitas paling penting yaitu *Maximum Usable Frequency* (MUF). MUF adalah frekuensi tertinggi yang bisa dipantulkan oleh ionosfer pada jarak tertentu[4]. Besarnya MUF ini bergantung pada frekuensi kritis pada titik refleksi ionosfer dan sudut incidence. Gelombang radio HF menggunakan frekuensi tertinggi yang sesuai untuk dipantulkan ke bumi. Oleh karena itu, komunikasi HF memerlukan frekuensi kerja yang optimal agar sistem pengukuran dapat berjalan optimum. Apabila frekuensi yang digunakan melebihi nilai MUF, maka sinyal akan menembus lapisan ionosfer dan tidak memantul kembali ke bumi.

Umumnya, frekuensi pada gelombang HF mengalami peningkatan pada siang hari dan akan menurun pada malam hari. Hal ini terjadi karena pengaruh radiasi matahari dimana produksi elektron di ionosfer pada siang hari akan meningkat dan menurun pada malam hari. Oleh karena itu nilai frekuensi kritis pada siang hari lebih besar daripada malam hari yang mengakibatkan MUF pada siang lebih besar daripada saat malam hari[5].

Selain MUF, hal lain yang perlu diperhatikan adalah *skip zone*. *Skip zone* adalah daerah dimana yang tidak mendapatkan sinyal dari pemancar komunikasi HF yang dipantulkan oleh ionosfer. *Skip zone* terjadi ketika frekuensi yang dipakai dalam pengoperasian lebih besar daripada frekuensi kritis. Komunikasi yang terjadi di *skip zone* masih bisa digunakan jika menggunakan propagasi *groundwave* namun jangkauannya terbatas pada jarak 50-100 Km. Besaran *skip zone* dari suatu pemancar akan bergantung dari nilai frekuensi yang digunakan dan nilai frekuensi kritis pada lapisan ionosfer dimana terjadi pemantulan[4].



**Gambar 2.4** Skip Zone [3]

Salah satu parameter dalam melakukan propagasi gelombang radio HF dengan menggunakan gelombang skywave adalah attenuation (redaman). Redaman merupakan selisih dari daya pancar dengan daya terima yang disebabkan oleh adanya perubahan kondisi kanal propagasi selama proses komunikasi[6]. Jika daya minimum yang dapat diterima oleh penerima adalah  $P_R$  (watt), daya pancar adalah  $P_T$  (watt), dan  $L_S$  (dB) adalah jumlah rugi sistem pada komunikasi HF maka redaman total  $A_T$  (dB) dapat ditulis :

$$A_T = P_T + P_R + L_T \quad (2.1)$$

Ada 4 faktor agar kita dapat memastikan sinyal bisa diterima dengan daya yang cukup di penerima agar dapat terbaca yaitu gain antenna pemancar pada frekuensi dan sudut elevasi tertentu, daya pemancar, gain antenna penerima, dan atenuasi sinyal antara antena pemancar dan penerima. Namun yang menjadi perhatian dari keempat factor tersebut adalah *pathloss* yakni besarnya redaman lintasan antara antena pemancar dengan antena penerima. Ada 6 hal yang mempengaruhi besarnya *pathloss*.

**Tabel 2.2** Jenis Redaman[4]

Simbol	Jenis Redaman	Nilai (dB)
$L_a$	<i>Absorption Loss</i>	0 – 20 per hop
$L_p$	<i>Free Space Loss</i>	5 – 20
$L_g$	<i>Ground Reflection Loss</i>	1 – 3 per pantulan
$L_p$	<i>Polarization Loss</i>	3 – 6
$L_g$	<i>Sporadic E Loss</i>	0 - 1

Redaman *absorption* ( $L_a$ ) adalah redaman yang terjadi karena adanya penyerapan daya pada lapisan E sehingga daya tidak bisa diteruskan ke lapisan F[1]. Redaman ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_a = \frac{1}{f^2} \quad (2.2)$$

Dimana:

f = frekuensi kerja dalam MHz

$L_a$  = Redaman propagasi di Ionosfer (dB)

Redaman *free space loss* adalah redaman yang tidak terpengaruh oleh *obstacle* ketika sinyal tersebut diterima oleh antena penerima[6]. Besarnya redaman *free space* dapat dihitung dengan melihat persamaan 2.3.

$$L_a(\text{dB}) = 20 \log \frac{4\pi D}{\lambda} \quad (2.3)$$

Dimana:

$\pi$  = Jari – jari lingkaran

D = Panjang lintasan

$\lambda$  = Panjang gelombang

Redaman *ground reflection* adalah redaman yang disebabkan oleh konduktivitas dan dielektrik dari pemantulan permukaan bumi[6]. Umumnya redaman untuk pemantulan di permukaan bumi yang kering lebih besar daripada redaman untuk pemantulan yang terjadi di permukaan air laut[6].

Redaman polarisasi adalah redaman yang disebabkan karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang datang dengan antena penerima[6]. Terakhir adalah redaman *sporadic E* yakni redaman yang terjadi karena nilai *critical frequency* di lapisan E[6].

Maka didapatkan total redaman pada lintasan komunikasi HF adalah sebagai berikut:

$$A_T(\text{dB}) = L_a(\text{dB}) + L_b(\text{dB}) + L_g(\text{dB}) + L_p(\text{dB}) + L_q(\text{dB}) \quad (2.4)$$

Adanya perhitungan *link budget* dimaksudkan agar dapat merencanakan atau menghitung kebutuhan daya sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang diinginkan. Persamaan *link budget* tersebut adalah sebagai berikut:

$$P_R = P_T + G_T + G_R + A_T \quad (2.5)$$

Dimana:

$P_R$  = Daya penerima (dBm)

$P_T$  = Daya pemancar (dBm)

$G_T$  = *Gain* antena pemancar (dB)

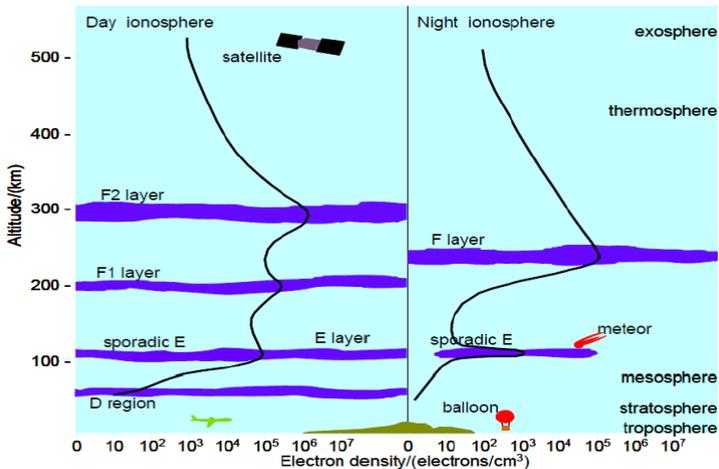
$G_R$  = *Gain* antena penerima (dB)

$A_T$  = *Loss* total (dB)

## 2.2. Ionosfer

Lapisan ionosfer adalah lapisan yang terletak pada ketinggian 50-500 km dari permukaan bumi[7]. Lapisan ini dipengaruhi oleh radiasi matahari yang menyebabkan terjadinya pemisahan elektron bebas di atmosfer dan struktur ionosfer berubah secara terus menerus sesuai perubahan waktu. Proses yang terjadi di ionosfer adalah dimana elektron yang bermuatan negatif dikeluarkan dari atom netral atau molekul untuk meninggalkan ion bermuatan positif[3]. Ion itulah yang menjadi cikal bakal nama ionosfer namun elektron yang bergerak lebih ringan dan lebih bebas yang berperan penting dalam hal propagasi radio HF. Elektron yang bebas di ionosfer yang menyebabkan gelombang radio HF dibiaskan dan akhirnya dipantulkan ke bumi. Semakin besar densitas elektron maka semakin besar peluang gelombang tersebut dipantulkan.

Lapisan ionosfer terbagi menjadi lapisan D, E, dan F. Pada siang hari lapisan F terbagi menjadi dua yakni F1 dan F2 karena radiasi dari matahari akan mencapai nilai maksimum namun pada malam hari kedua lapisan itu menyatu menjadi lapisan F karena radiasi matahari akan mencapai nilai minimumnya[1]. Lapisan F inilah yang akan mempengaruhi gelombang HF. Selain itu, posisi matahari yang selalu berubah pada titik-titik tertentu di bumi dimana perubahan itu bisa terjadi harian, bulanan, dan tahunan bisa menyebabkan karakteristik dari lapisan tersebut tidak bisa ditentukan secara pasti[1].



Gambar 2.5 Jenis Lapisan Ionosfer[3]

### **2.2.1. Lapisan D**

Lapisan D merupakan lapisan terbawah dari ionosfer yang terletak pada ketinggian 50 – 90 km dengan kepadatan elektron  $10 \text{ per } cm^3$  [4]. Lapisan D muncul pada siang karena intensitasnya tergantung oleh kedudukan matahari yakni mencapai titik maksimum pada siang hari dan hilang pada malam hari karena ion-ionnya bergabung kembali menjadi molekul. Lapisan D dapat memantulkan gelombang dengan frekuensi sekitar 500 KHz. Propagasi gelombang radio pada frekuensi tinggi (HF) tidak dipantulkan oleh lapisan D tetapi kuat medan HF terganggu atau diperlemah oleh lapisan ini saat mencapai intensitasnya mencapai titik puncak pada siang hari sehingga frekuensi tinggi (HF) lebih kuat diterima pada malam hari. Selain itu pada musim panas, penyerapan yang dilakukan radio HF lebih tinggi daripada musim dingin dan jika berdasarkan derajat garis lintang bumi, di wilayah ekuator bumi lebih tinggi mengalami penyerapan daripada daerah yang mendekati kutub.

### **2.2.2. Lapisan E**

Lapisan ini terletak pada ketinggian antara 90 – 110 km dengan kepadatan electron  $10^2 - 5.10^4 \text{ per } cm^3$  [4]. Pada lapisan E, suatu sinyal dapat dibiarkan ataupun diteruskan ke lapisan F (tergantung dari kekuatan frekuensi dan ketebalan lapisan E). Kadar ionisasi pada lapisan ini lebih padat dari lapisan D dan dapat memantulkan gelombang radio dengan frekuensi sekitar 20 MHz. Lapisan ini menebal pada siang hari dan akan menyusut (menipis) bahkan hilang pada malam hari sehingga sinyal gelombang radio frekuensi HF dengan kekuatan tertentu dapat melewati lapisan ini dan menuju lapisan di atasnya (lapisan F).

### **2.2.3. Lapisan F**

Lapisan F adalah lapisan terluar dari lapisan ionosfer. Pada siang hari lapisan F terbagi dalam dua lapisan, yaitu lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian 110-200 km dengan kepadatan elektron  $2,5.10^5 \text{ per } cm^3$  dan F2 pada ketinggian 200-300 km dengan kepadatan electron  $10^6 \text{ per } cm^3$  [4]. Pada malam hari kedua lapisan ini melebur menjadi satu dengan ketinggian sekitar 275 Km. Pada lapisan ini ionisasi sangat padat, tebal dan potensial untuk memantulkan gelombang radio frekuensi tinggi (HF) mulai 3 MHz – 30 MHz. Pemanfaatan lapisan F sebagai pemantul gelombang sangat tergantung oleh lapisan D karena lapisan D ada pada siang hari dan hilang pada malam hari, maka propagasi gelombang radio pada lapisan F akan membuka pada malam hari saja, biasanya dimulai menjelang malam sampai mulai fajar keesokan harinya.

#### 2.2.4. Variasi ionosfer

Ionosfer bukanlah media stabil yang memungkinkan penggunaan frekuensi yang sama sepanjang tahun, atau bahkan lebih dari 24 jam. Oleh karena itu terdapat variasi yang terjadi pada ionosfer bukan karena pergantian siang dan malam saja namun juga ada beberapa faktor.

##### ➤ *Diurnal Variations*

Merupakan variasi secara keseluruhan hari. Variasi ini terjadi karena frekuensi maksimal yang bisa dipantulkan oleh lapisan ionosfer (frekuensi kritis) dan sudut zenith[4]. Sudut zenith adalah sudut antara garis dari posisi atas pengamat dengan garis dari posisi pengamat melihat matahari. Pergantian siang dan malam membuat frekuensi menjadi lebih tinggi pada siang hari dan lebih rendah pada malam hari[3]. Setelah fajar, radiasi matahari menyebabkan elektron diproduksi di ionosfer dan frekuensi meningkat dengan cepat hingga maksimum sekitar tengah hari[8]. Pada siang hari, frekuensi mulai turun karena kehilangan elektron dan dengan kegelapan, daerah D, E dan F1 hilang. Komunikasi pada malam hari hanya oleh wilayah F2 (atau hanya F) dan redaman sangat rendah. Sepanjang malam, frekuensi maksimum berangsur-angsur turun, mencapai minimum sesaat sebelum fajar[3].

##### ➤ *Seasonal Variations*

Merupakan variasi ionosfer secara musiman. Variasi ini juga dipengaruhi oleh sudut zenith dan variasi diurnal. Biasanya pada musim dingin sudut zenith lebih besar sehingga menyebabkan frekuensi kritis pada lapisan D, E, F1 lebih besar namun berbeda pada lapisan F2 dimana terjadi *mid latitude seasonal anomaly*[4]. *Mid latitude seasonal anomaly* adalah naiknya frekuensi kritis pada lapisan F2 yang terjadi pada daerah lintang tengah pada waktu musim dingin melebihi frekuensi kritis yang terjadi pada musim panas[4].

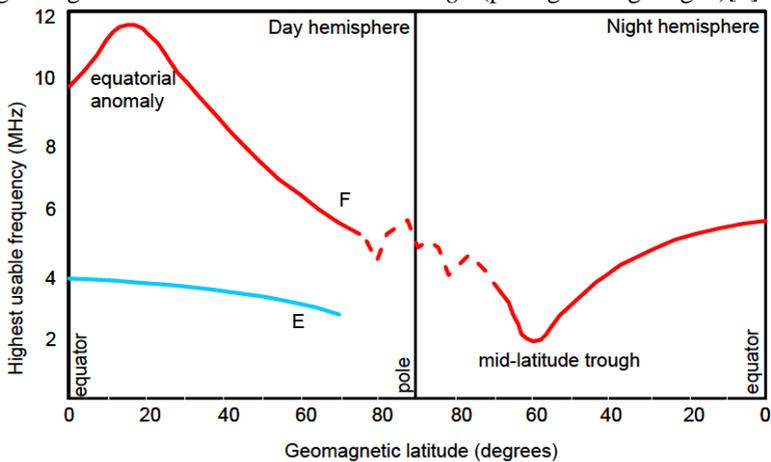
##### ➤ *Solar activity*

Merupakan variasi ionosfer yang terjadi karena adanya aktifitas matahari yakni bintik hitam pada matahari tersebut. Bintik hitam pada matahari tersebut diikuti oleh badai matahari dimana badai matahari itu adalah siklus kegiatan peledakan dahsyat dari masa puncak kegiatan bintik hitam tiap 11 tahun. Semakin banyak bintik hitam yang muncul maka pengaruh terhadap ionosfer semakin besar. Matahari yang memancarkan radiasi yang mengionisasi daerah D, menyebabkan peningkatan penyerapan gelombang HF karena daerah D hadir hanya di siang hari, hanya jalur komunikasi yang melewati siang hari yang akan terpengaruh[3]. Penyerapan gelombang HF yang berjalan melalui

ionosfer setelah terjadi suar disebut *fade-out* gelombang pendek[3]. *Fade-out* terjadi seketika dan mempengaruhi frekuensi yang paling rendah. Jika dicurigai atau dikonfirmasi bahwa telah terjadi *fade-out*, disarankan untuk mencoba menggunakan frekuensi yang lebih tinggi. Durasi *fade-out* bisa bervariasi antara sekitar 10 menit sampai beberapa jam, tergantung durasi dan intensitas suar[3].

➤ *Latitudinal Variations*

Merupakan variasi ionosfer yang terjadi karena pengaruh dari diurnal variations, zenith angle, *mid latitudinal seasonal anomaly*, dan letak geografis suatu daerah[4]. Pada gambar 2.6 menunjukkan variasi frekuensi maksimum pada wilayah E dan F pada pertengahan hari dan pertengahan malam dari daerah kutub ke khatulistiwa. Pada siang hari, dengan meningkatnya garis lintang, radiasi matahari menyerang atmosfer lebih miring, sehingga intensitas radiasi dan produksi harian electron bebas menurun seiring dengan meningkatnya derajat lintang[3]. Di wilayah F variasi lintang ini tetap ada sepanjang malam karena aksi arus angin atmosfer atas dari siang hari hingga hemisfer sisi malam hari[3]. Penyimpangan dari penurunan rendah ke lintang tinggi juga terlihat. Frekuensi wilayah F siang hari mencapai puncak tidak hanya pada ekuator geomagnetik, namun juga pada 15-20° utara dan selatannya. Ini disebut anomali khatulistiwa[3]. Malam harinya, frekuensi mencapai minimum sekitar 60° lintang utara dan selatan pada khatulistiwa geomagnetik. Ini disebut *mid latitude trough* (palang lintang tengah)[3].



**Gambar 2.6** *Latitudinal variations*[3]

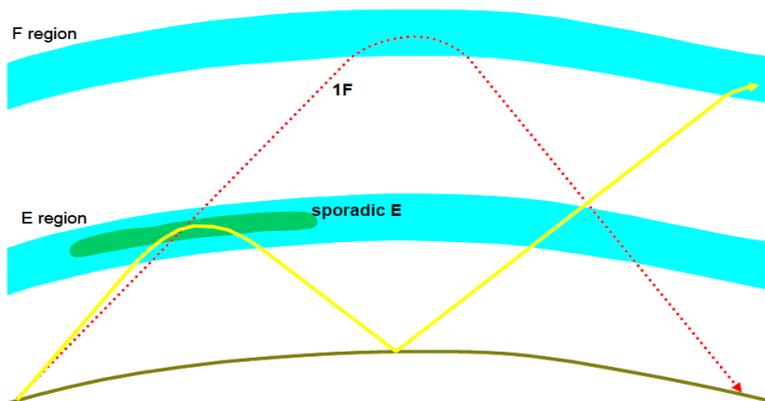
## 2.3. Gangguan pada Komunikasi HF

Pada komunikasi HF terdapat fenomena dari lapisan ionosfer yang dapat mengganggu propagasi gelombang radio tersebut yaitu diantaranya.

### 2.3.1. Sporadic E

Lapisan E sporadik merupakan lapisan di ionosfer yang mempunyai kerapatan elektron cukup besar di sekitar lapisan E dimana kemunculannya tanpa bisa diduga. Sporadis E dapat terbentuk kapan saja baik siang hari maupun malam pada ketinggian 90-140 km di lapisan E[3]. Sporadis E dapat memiliki kerapatan elektron sebanding ke wilayah F yang berarti bisa mencerminkan bahwa jenis frekuensi tinggi yang ditujukan untuk komunikasi wilayah F bisa dipantulkan oleh sporadic E itu sendiri yang menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar tidak mencapai penerima yang seharusnya di pantulkan pada lapisan F karena jarak jangkauan yang berubah[3].

Walaupun kerapatan sporadis E hampir sama dengan lapisan F yang bisa memantulkan gelombang, terkadang bisa juga lapisan sporadis E bersifat transparan, dan melewatkan sinyal menuju lapisan F. Namun bagaimanapun, pada saat lapisan sporadic E menutupi lapisan F sepenuhnya, maka sinyal tidak dapat mencapai lapisan F samasekali, sehingga sinyal juga tidak dapat mencapai titik penerima yang ditentukan[3]. Hal inilah yang menyebabkan kemunculan lapisan sporadic E akan menjadi gangguan yang cukup serius bagi propagasi gelombang radio HF.



Gambar 2.7 Sporadic E [3]

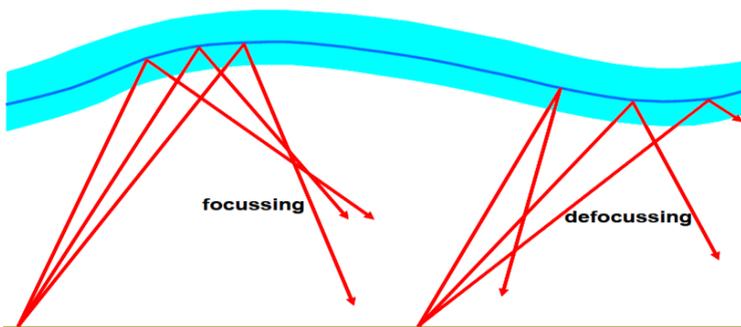
### 2.3.2. *Equatorial Spread F (ESF)*

Fenomena ini terjadi saat terbenamnya matahari di ionosfer di daerah khatulistiwa dan lintang rendah karena adanya penebalan pada lapisan F dikarenakan efek *delay spread* sehingga menyebabkan *inter-symbol interference (ISI)* pada penerima digital[9]. *Spread F* ini menimbulkan sintilasi dan *fading* yang mengganggu komunikasi radio HF dan satelit[10]. Peningkatan ESF bergantung pada aktifitas matahari dimana akan maksimal saat *equinox* dan minimum saat matahari menjauhi ekuator.

### 2.3.3. *Fading*

*Fading* merupakan suatu kondisi dimana adanya interferensi antara dua atau lebih sinyal yang diterima dari pemancar yang sama pada waktu yang sedikit berbeda dengan level sinyal yang berbeda pula. *Fading* pada komunikasi HF disebabkan karena *multipath* yakni sinyal berpropagasi melalui berapa jalur secara simultan yang dapat saling menginterferensi[6].

Fading dikenal dengan istilah Travelling Ionosphere Disturbance (TID). TID dapat menyebabkan variasi fase, amplitudo, polarisasi dan sudut kedatangan gelombang radio[4]. Ada 4 faktor yang menyebabkan terjadinya fading yaitu pergerakan lapisan ionosfer dan perubahan panjang lintasan propagasi, perputaran polarisasi gelombang, variasi penyerapan yang dilakukan lapisan ionosfer, dan menghilangnya sinyal karena besarnya penurunan MUF dibawah frekuensi operasinya[3]. Keempat faktor *fading* tersebut bisa dicegah dalam komunikasi HF yaitu dengan cara menggunakan frekuensi yang cukup tinggi, lebih tinggi dari nilai MUF mode lain, selain mode terendah dan memilih antenna yang memungkinkan hanya satu mode propagasi.



**Gambar 2.8** Efek dari TID [3]

#### 2.3.4. Noise

Noise atau derau adalah gangguan yang selalu muncul hampir di semua propagasi yang senantiasa ada dalam kehidupan. *Noise* pada propagasi gelombang radio dapat berasal dari berbagai sumber baik itu dari internal maupun eksternal[11]. Internal *noise* merupakan noise yang berasal dari dalam sistem itu sendiri. Contoh dari internal *noise* adalah *thermal noise*. *Thermal noise* yaitu *noise* yang diakibatkan oleh temperatur dalam sistem dan perangkat pada penerima[1]. Eksternal *noise* adalah *noise* yang berasal dari luar sistem dan perangkat itu sendiri. Umumnya eksternal *noise* dikarenakan kondisi alam seperti *galactic noise*, *atmospheric noise*, *man-made noise*, dan interferensi frekuensi[1]. *Galactic noise* adalah *noise* yang disebabkan oleh gugusan galaksi dalam tata surya dan sinar kosmik[1]. Karena galaksi berada di luar bumi, maka *noise* ini muncul pada komunikasi yang menggunakan frekuensi tinggi[7]. *Atmospheric noise* adalah *noise* yang disebabkan oleh atmosfer yang merupakan kontributor dalam propagasi gelombang radio. Nilai dari *noise* ini meningkat ketika berada di daerah lintang rendah dan menurun seiring bertambahnya derajat lintang. *Noise* ini akan menjadi masalah ketika radiasi matahari mulai rendah atau malam hari karena pada saat itu frekuensi rendah sering digunakan dan efeknya akan lebih besar pada saat penggunaan frekuensi tersebut[3].

*Man-made noise* atau *noise* buatan manusia merupakan *noise* yang muncul karena aktifitas yang dilakukan manusia[7]. Umumnya *noise* ini disebabkan oleh arus dan tegangan yang tinggi. Nilai dari *noise* ini sangat bervariasi tergantung dari penggunaan teknologi pada daerah tersebut[1]. Interferensi frekuensi adalah *noise* yang muncul akibat adanya jamming yaitu interferensi yang tidak disengaja[1]. Intererensi ini terjadi karena karakteristik dari propagasi maupun penggunaan frekuensi yang sama[1].

Pada pengukuran noise bisa saja terjadi untuk itu diperlukan perhitungan daya noise untuk memastikan daya yang kita terima adalah daya yang dipancarkan bukan daya noise. Perhitungan daya noise dapat ditentukan dengan persamaan

$$P_n = kTB \quad (2.6)$$

Dimana: k = konstanta Boltzman ( $1.379 \times 10^{-23} \text{ WHz}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )  
T = Suhu (K)  
B = Bandwidth (Hz)

## 2.4. Antena

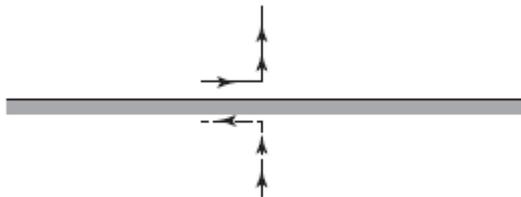
Antena adalah bagian penting dalam komunikasi radio. Antena merupakan sebuah perangkat yang berfungsi sebagai transmitter yang memancarkan gelombang radio dan juga dapat berfungsi sebagai penampung gelombang listrik untuk diteruskan ke receiver[12].

Antena monopole adalah antena radio yang terdiri dari konduktor berbentuk batang lurus yang sering dipasang tegak lurus ke atas dari permukaan konduktif seperti permukaan bumi. Pada antena monopole, bagian sisi feedline antena melekat pada ujung bawah antena dan sisi lainnya melekat di permukaan tanah[13]. Hal ini berbeda dengan antena dipole yang terdiri dari dua konduktor batang yang identik dengan sinyal dari pemancar yang diaplikasikan diantara dua bagian antena.

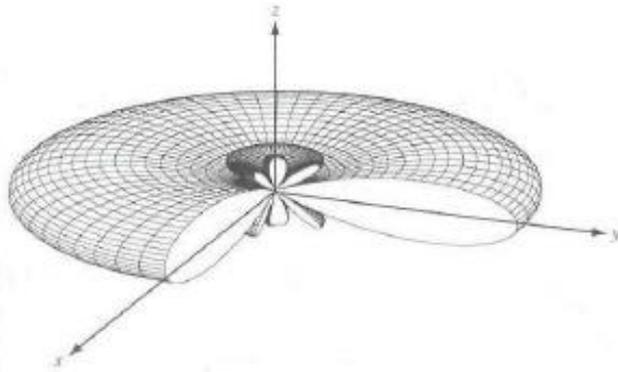
Monopole adalah antena resonan yang mana batangnya berfungsi sebagai resonator terbuka untuk gelombang radio dan beresilasi dengan gelombang arus dan tegangan yang berdiri sepanjang lintasannya. Oleh karena itu panjang antena ditentukan oleh panjang gelombang radio yang digunakan.

Monopole adalah dipole yang telah terbagi dua pada bagian pusatnya dan di bagian bidang tanahnya[13]. Arus dan muatan pada monopole sama seperti setengah bagian atas dari dipole namun tegangan terminal hanya setengah dari dipole[13]. Hal itu terjadi karena lebar celah terminal input setengah dari dipole dan medan listrik yang sama diatas setengah jarak memberikan setengah tegangan[13]. Impedansi input untuk monopole adalah setengah dari pasangan dipole

$$Z_{mono} = \frac{V_{mono}}{I_{mono}} = \frac{\frac{1}{2}V_{dipole}}{I_{dipole}} = \frac{1}{2}Z_{dipole} \quad (2.7)$$



**Gambar 2.9** Ilustrasi Antena Monopole[13]



**Gambar 2.10** Pola Radiasi Antena Monopole [14]

Antena monopole merupakan antena *omnidirectional* yakni antena yang memancarkan pola radiasi ke segala arah sehingga pola radiasinya berbentuk seperti *single lobe*[14]. Pola radiasi ini cocok untuk diimplementasikan pada komunikasi HF. Akibat dari pola radiasi ini, penerima HF akan mendapat daya terima yang sama pada umumnya sesuai dengan kondisi ionosfer yang memantulkan gelombang tersebut.

Pola radiasi antena monopole diatas permukaan tanah sama dengan dipole yang diletakkan di dalam ruang bebas. Oleh karena itu, monopole yang ditegakkan di tanah memancarkan setengah kekuatan total dari dipole yang sama dalam ruang bebas karena kekuatan didistribusikan dengan cara yang sama tetapi hanya lebih dari setengah ruang[13]. Akibatnya, sudut solid beam dari monopole diatas bidang tanah adalah setengah dari dipol yang sama dalam ruang bebas yang mengarah ke penggandaan *directivity*

$$D_{mono} = \frac{4\pi}{\Omega_{mono}} = \frac{4\pi}{\frac{1}{2}\Omega_{dipole}} = 2D_{dipole} \quad (2.8)$$

Meningkatnya *directivity* bukan berasal dari peningkatan intensitas radiasi namun dari penurunan intensitas radiasi rata-rata. Ini terjadi karena hanya setengah kekuatan pancaran dipole yang dipancarkan oleh monopole[13]. Pada pita frekuensi di bawah VHF, monopole seperempat gelombang akan secara fisik besar contohnya dalam pita siaran radio standar AM, sebuah antena monopole vertikal dengan seperempat panjang gelombang akan menjadi tinggi 75 m pada 1

MHz[13]. Tinggi menara dapat dikurangi dibawah seperempat panjang gelombang dengan menggunakan *guy wire*. *Guy wire* ditambahkan dengan maksud untuk dukungan mekanis dengan isolator yang ditempatkan di sepanjang *guy wire*. Arus pada antenna monopole yang dialiri sementara ini terus dari puncak menara ke arah orang-orang, mengarah ke arus yang lebih seragam di menara dan dengan demikian meningkatkan ketahanan radiasi namun, arus pada orang-orang memperkenalkan efek pembatalan parsial pada arus menara[13].

## 2.5. Universal Software Radio Peripheral (USRP)

USRP merupakan salah satu perangkat SDR yang banyak digunakan dalam komunikasi radio. Alat ini dapat diprogram melalui LabVIEW di komputer agar dapat memancarkan gelombang radio yang diinginkan.

Pada pengukuran yang dilakukan adalah dengan menggunakan USRP tipe N210 produk dari Ettus Reserch. Di dalam perangkat USRP terdapat sistem ADC/DAC yang berfungsi untuk melakukan konversi sinyal analog ke digital atau digital ke analog, *motherboard*, lalu *daughterboard* yang sebagai pemancar atau penerima gelombang radio, *chip* FPGA yang melakukan proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, dan *port* untuk koneksi dengan PC dengan menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*.

Gambar 2.12 merupakan USRP tipe N210 yang digunakan pada pengukuran baik sebagai transmitter maupun receiver dimana terdiri dari *motherboard* dan *daughterboard* yang berperan sebagai sebagai akuisi data.



**Gambar 2.11** USRP Tipe N210



**Gambar 2.12** Daughterboard LFTX/RX

Ada beberapa jenis dari *daughterboard* yang dapat digunakan pada USRP N210 yaitu *daughterboard* LFTX/RX dan SBX. Perbedaan dari masing-masing *daughterboard* ini terletak pada frekuensi kerjanya. *Daughterboard* LFTX/RX bekerja pada frekuensi 0 – 30 MHz dan SBX bekerja pada frekuensi 400 – 4400 MHz. Penilitan yang dilakukan pada sistem komunikasi ini adalah frekuensi 9 – 10 MHz sehingga *daughterboard* yang digunakan adalah jenis LFTX/RX.

## 2.6. In-Phase dan Quadrature (I/Q)

I/Q adalah modulasi dua buah sinyal sinusoida yang memiliki perbedaan phase sebesar seperempat lingkaran ( $\pi/2$ ) dengan frekuensi kerja yang sama[1]. Perbedaan phase antara dua sinyal tersebut dapat dinotasikan dengan persamaan

$$e^{j\omega_0 t} = \cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t \quad (2.9)$$

Pada persamaan diatas,  $e^{j\omega_0 t}$  terdiri dari dua bagian yakni  $\cos \omega_0 t$  sebagai *inphase* (bilangan real) dan  $j \sin \omega_0 t$  sebagai *quadrature* (bilangan imajiner) dimana keduanya saling orthogonal.

Sebeum sinyal bercampur dengan sinyal *carrier*, sinyal sinusoida masih dalam bentuk polar sebagai satuan vektor atau perputaran fasa  $\omega_0$  radian/s namun saat sinyal telah dimodulasi dengan sinyal *carrier*[15] maka diagram IQ dapat ditentukan perubahan fasanya saat terjadi dari sistem modulasinya.

Sinyal sinusoida yang mengalami perubahan fasa dapat dituliskan dalam persamaan:

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f_c t + \theta(t)) \quad (2.10)$$

Dimana:  $A$  = Amplitudo  
 $f_c$  = Frekuensi carrier  
 $\varphi$  = Perubahan fasa

Amplitudo dan fasa dari sinyal IQ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$A(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (2.11)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{I^2(t)}{Q^2(t)} \quad (2.12)$$

Dimana:  $A$  = Amplitudo (volt)  
 $I$  = Nilai real (*inphase*)  
 $Q$  = Nilai imajiner (*quadrature*)

## 2.7. Menentukan Jarak Titik Jatuh Sinyal

Sinyal yang dikirimkan dari pemancar pada pengukuran akan terlihat mendekati titik penerima atau bahkan tepat mengenai titik penerima. Untuk mengetahui seberapa jauh jarak sinyal tersebut berpropagasi adalah harus mengetahui titik koordinat pemancar dan penerima[16]. Setelah mengetahui titik koordinat lokasi pengukuran pemancar dan penerima maka digunakan rumus untuk menentukan seberapa jauh jarak antar lokasi pemancar penerima tersebut dengan menggunakan rumus

$$X = R_{bumi} \left( 2 \sin \sqrt{\frac{\sin(Lat_1 - Lat_2)}{2}} \right)^2 + \left( \cos Lat_1 \cos Lat_2 \left( \sin \frac{Lon_1 - Lon_2}{2} \right)^2 \right) \quad (2.13)$$

Dimana:  $X$  = Jarak antara pemancar dan penerima (km)  
 $R_{bumi}$  = Jari-jari bumi (6371 km)  
 $Lat_1$  = Latitude Pengirim (rad)  
 $Lat_2$  = Latitude Penerima (rad)  
 $Lon_1$  = Longitude Pengirim (rad)  
 $Lon_{21}$  = Longitude Pengirim (rad)

## 2.8. Koefisien Korelasi

Korelasi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel atau lebih yang bersifat kuantitatif[17]. Hubungan antara variabel tersebut biasa disebut dengan koefisien korelasi yang dinyatakan dalam bentuk 'r'. Koefisien korelasi adalah taksiran dari korelasi populasi dengan kondisi sample normal (acak)[18].

Tingkat keeratan hubungan koefisien korelasi antara variabel bergerak dari 0-1. Jika koefisien korelasi mendekati 1 berarti dapat dikatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat erat dan sebaliknya jika mendekati 0 berarti hubungan yang sangat rendah.

Koefisien korelasi mempunyai nilai -1 hingga +1 dimana angka -1 menunjukkan adanya hubungan yang linear bersifat negatif dan +1 menunjukkan adanya hubungan yang linear bersifat positif[18]. Koefisien korelasi didapatkan dari persamaan sebagai berikut

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (2.14)$$

$$S_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{n-1} \quad (2.15)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (2.16)$$

Dimana: r = Koefisien Korelasi  
S<sub>x</sub> = Standar deviasi sampel x  
S<sub>y</sub> = Standar deviasi sampel y  
S<sub>xy</sub> = Standar deviasi sampel x dan y

## 2.9. Regresi Linear

Regresi adalah salah satu teknik statistik yang biasa digunakan dalam ilmu sosial dan perilaku serta ilmu fisika yang melibatkan pengidentifikasian dan evaluasi hubungan antara variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen yang juga disebut dengan variabel penjelas. Variabel independen adalah variabel yang dapat diukur

secara langsung yang digunakan untuk memprediksi atau menjelaskan perilaku variabel dependen. Variabel dependen adalah variabel yang nilainya bergantung pada nilai variabel independen[19].

Regresi linear menggali hubungan yang bisa dideskripsikan dengan garis lurus. Banyaknya jumlah masalah secara mengejutkan dapat diselesaikan dengan regresi linear dan bahkan lebih banyak lagi dengan cara transformasi variabel asli yang dihasilkan dalam hubungan linear antara variabel yang telah ditransformasikan[19].

Analisis regresi digunakan untuk menjelaskan banyaknya variabel dependen yang berubah-ubah dengan cara satu atau lebih variabel independen untuk menganalisis hubungan antara variabel tersebut yakni seberapa besar variabel dependen yang berubah dengan adanya perubahan masing-masing variabel independen dan menentukan seberapa nilai variabel dependen berdasarkan nilai dari variabel independen. Jadi tujuan utama dari regresi yaitu untuk mengetahui hubungan linear antara variabel tersebut. Secara matematis, untuk mendapatkan model regresi adalah dengan persamaan sebagai berikut

$$y = \beta_0 \pm \beta_1 x_1 \quad (2.17)$$

Dimana:  $x$  = variabel independen  
 $y$  = variabel dependen  
 $\beta_0$  = *intercept point* dari garis regresi linear  $x$  dan  $y$  axis  
 $\beta_1$  = gradien dari garis regresi

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

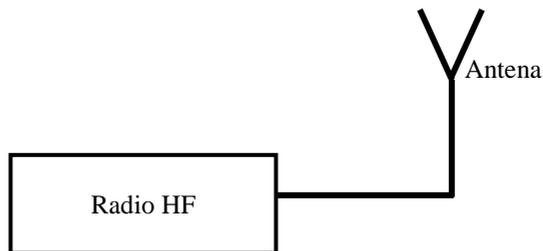
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan sistem pada penelitian tugas akhir. Secara garis besar perancangan sistem pada komunikasi HF terdiri dari tiga subsistem yaitu subsistem pemancar (transmitter), subsistem penerima (receiver), dan akuisisi data (data acquisition). Pada penelitian ini subsistem pemancar berada di Surabaya, subsistem penerima berada di Ternate dan Merauke.

### 3.1. Perancangan Sistem

#### 3.1.1. Subsistem Pemancar

Subsistem pemancar dirancang agar dapat mengirimkan sinyal carrier radio HF dengan rentang frekuensi sebesar 9-10 MHz. Dalam membangun subsistem pemancar ini dibutuhkan perangkat berupa antena monopole, kabel coaxial, dan radio HF.

Pembuatan subsistem ini diawali dengan pengecekan daya dan *vswr* antena monopole di lantai empat gedung B apakah dayanya sudah sesuai dengan perhitungan *link budget*. Sebelumnya antena monopole tersebut telah terpasang hingga kabel coaxialnya sudah bisa dipasangkan ke perangkat HF di lab B306. Kabel coaxial tersebut dipasangkan ke *power meter* lalu dihubungkan dengan radio untuk pengecekan daya dan *vswr* antena. Setelah daya pancar sesuai dengan perhitungan *link budget* maka kita mencoba memancarkan dan menerima sinyal dengan kanal frekuensi radio amatir melalui radio dan mencoba untuk mencari kanal mana yang masih kosong yang akan digunakan untuk pengukuran di hari selanjutnya. Blok diagram pemancar dapat diilustrasikan sebagai berikut



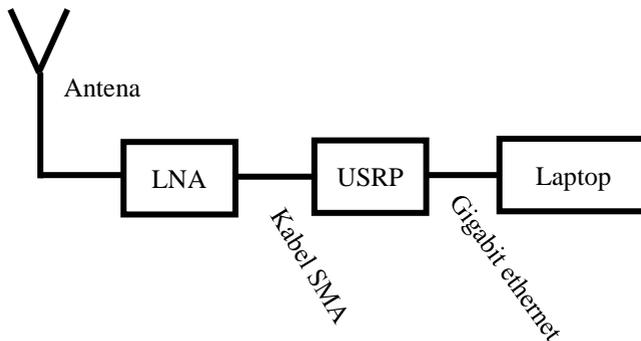
**Gambar 3.1** Blok diagram subsistem pemancar

### 3.1.2. Subsistem Penerima

Subsistem penerima dirancang agar dapat menerima sinyal carrier yang telah dikirimkan oleh pemancar. Perangkat yang digunakan untuk merancang subsistem penerima adalah antena monopole, laptop, kabel coaxial, kabel SMA, USRP, LNA, Gigabit ethernet, antena gps, dan octoclock.

Pembuatan subsistem penerima diawali dengan memasang antena monopole di tempat yang tinggi sehingga tidak terhalang oleh bangunan lain. Hal ini dilakukan agar sinyal dapat diterima dengan baik tanpa adanya gangguan oleh bangunan. Kabel coaxial dipasang pada antena monopole lalu ditarik sampai ke tempat kita melakukan proses akuisisi data. Kabel coaxial yang telah terpasang tersebut lalu dihubungkan dengan LNA port input dengan bantuan konektor coaxial to SMA dan bagian port output dihubungkan dengan USRP bagian Rx dengan menggunakan kabel SMA. Setelah itu menghubungkan USRP dengan laptop yang telah terinstall LabView menggunakan kabel Gigabit ethernet. Dari Labview itu kita bisa melihat kuat sinyal carrier yang telah dikirimkan oleh pemancar. Kemudian USRP port pps in dihubungkan ke pps out pada octoclock dengan kabel SMA dan port antena gps pada octoclock dihubungkan ke antena gps.

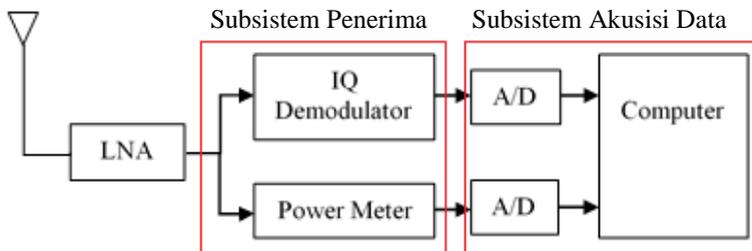
Pada subsistem penerima, sinyal yang diterima oleh antena berupa sinyal *bandpass*. Antena dihubungkan oleh LNA (*Low Noise Amplifier*) agar level sinyal *bandpass* yang telah diterima dikuatkan untuk memudahkan proses akuisisi data. Setelah itu sinyal didemodulasi menggunakan IQ demodulator yang terdapat pada USRP untuk memisahkan *in phase* dan *quadrature*.



Gambar 3.2 Blok diagram subsistem penerima

### 3.1.3. Akuisisi data

Sinyal yang sampai ke subsistem penerima akan diterima dalam bentuk sinyal baseband oleh antenna kemudian akan dikuatkan oleh LNA. Hal ini bertujuan agar level sinyal dapat diperbesar untuk memudahkan proses akuisisi data. Setelah itu, sinyal akan didemodulasi menggunakan IQ demodulator agar sinyal inphase dan quadrature dapat dibedakan. Untuk dapat melihat kuat sinyal, maka dibutuhkan sub sistem akuisisi data. Subsistem ini didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan data, serta memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Pada tugas akhir ini, hasil demodulasi yang berupa sinyal inphase dan quadrature akan diakuisisi untuk disimpan datanya. Pada tahap selanjutnya, data I dan Q yang didapat akan diolah dengan Matlab yakni dengan menampilkan spektrum sinyal baseband. Spektrum sinyal baseband tersebut diubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi dengan cara metode FFT (Fast Fourier Transform). Setelah di FFT, direkap semua kuat sinyal yang didapat dan dilakukan perhitungan koefisien korelasi antara kuat sinyal yang diterima agar dapat mengetahui korelasi antara link tersebut



Gambar 3.3 Blok Diagram Subsistem Penerima dan Akuisisi Data

## 3.2. Parameter Sistem Komunikasi

Perancangan sistem komunikasi HF meliputi penentuan parameter-parameter yang diperlukan pada saat pelaksanaan pengukuran. Parameter yang diperlukan itu antara lain frekuensi kerja yang digunakan selama pengukuran dan spesifikasi alat yang digunakan saat pengukuran.

### 3.2.1. Pemilihan Frekuensi Pengukuran

Berdasarkan peraturan menteri komunikasi dan informatika Republik Indonesia nomor 25 tahun 2014 tentang alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia maka penelitian tugas akhir ini menggunakan frekuensi 10.145 MHz untuk pemancar namun jika frekuensi tersebut

telah terisi orang lain yang memakainya maka dari itu kita mencoba rentang frekuensi 9-10.2 MHz yang tidak terisi orang yang memakainya.

### 3.2.2. Spesifikasi Sistem Perangkat Komunikasi HF

Sebelum melakukan pengukuran pada sistem komunikasi HF maka sebaiknya diperlukan pemilihan perangkat baik itu perangkat lunak maupun perangkat keras yang akan digunakan berdasarkan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran. Pengecekan dilakukan di Lab B306 terlebih dahulu untuk mengetahui apakah perangkat masih baik digunakan untuk pengukuran dan setelah pengecekan, akan dibuat daftar perangkat yang akan dibawa ke penerima demi menghindari kelupaan dalam membawa barang dan mengembalikannya setelah digunakan. Perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada pengukuran sistem komunikasi HF adalah sebagai berikut:

1. Antena

Antena merupakan sebuah perangkat yang berfungsi sebagai transmitter yang memancarkan gelombang radio dan juga dapat berfungsi sebagai penampung gelombang listrik untuk diteruskan ke receiver. Antena yang digunakan dalam penelitian sistem komunikasi HF ini adalah antena monopole shakespeare 393 ssb. Antena monopole terbuat dari ferr kuningan berlapis krom yang berbentuk batang lurus yang sering dipasang tegak lurus ke atas dari permukaan konduktif seperti permukaan bumi yang



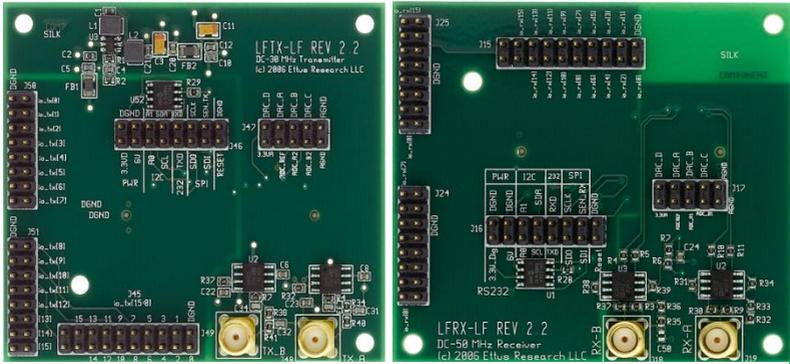
**Gambar 3.4** Antena Monopole

terdiri dari tiga bagian yaitu basis 92 inchi, pusat 92 inchi, dan tip 92 inchi. Pola radiasi antenna ini bersifat omnidirectional yakni ke segala arah. Daya input maksimal pada antenna ini adalah 1000 Watt.



**Gambar 3.5** USRP N210

2. *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*  
USRP merupakan perangkat SDR yang digunakan dalam penelitian sistem komunikasi HF. USRP yang digunakan adalah tipe N210 yang merupakan produk dari Ettus Research. USRP tipe N210 menggunakan ADC/DAC (*Analog Digital Converter/Digital Analog Converter*), komponen RF Front End atau biasa disebut *daughterboard* yang berkerja pada frekuensi tertentu dan berfungsi sebagai penerima, chip FPGA yang melakukan proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi serta koneksi dengan host laptop menggunakan kabel Gigabit Ethernet. Saat menjalankan pengukuran, USRP membutuhkan sebuah embedded system yang dikenal dengan *daughterboard* sebagai penerima(LFRX) yang akan berkerja pada frekuensi 3-30 MHz saat diintegrasikan dengan USRP

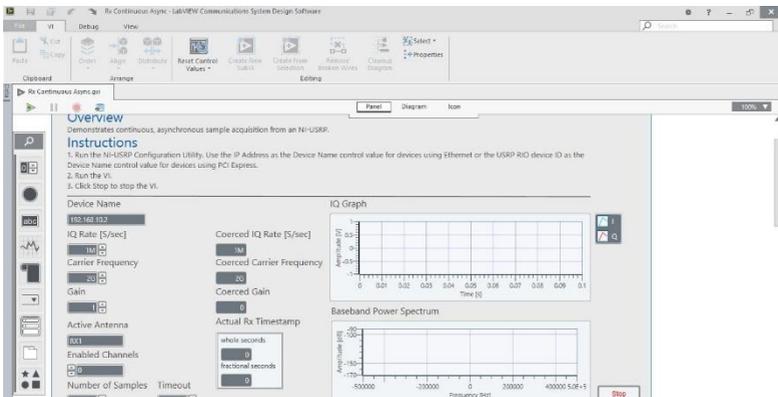


**Gambar 3.6** Daughterboard LFTX dan LFRX

### 3. LabVIEW Communication 1.1

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) adalah perangkat lunak dengan bahas pemrograman berbasis grafis dan blok diagram yang digunakan untuk menjalankan USRP. Perangkat keras USRP diintegrasikan dan disinkronkan dengan LabVIEW menggunakan kabel *Gigabit Ethernet* sehingga pengoperasian USRP bisa menggunakan LabVIEW.

### 4. *Low Noise Amplifier (LNA)*



**Gambar 3.7** Tampilan LabVIEW

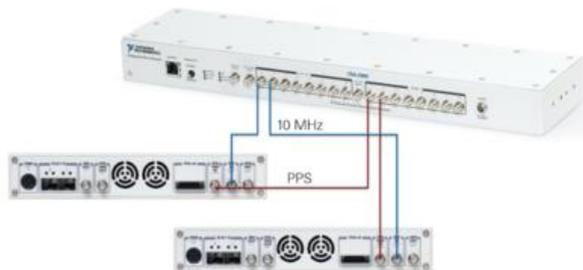
LNA merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk menguatkan sinyal yang diterima pada penerima. Dalam penelitian sistem komunikasi HF ini, LNA yang digunakan adalah LNA produksi Mini Circuit dengan tipe ZFL -1000LN. LNA dapat berkerja pada frekuensi 0.1 hingga 1000 MHz dan memiliki penguatan sebesar 20 dB. Untuk menggunakannya, LNA diletakkan diantara USRP dan antena penerima agar sinyal yang dikuatkan memiliki sinyal noise yang cukup rendah dan LNA harus di catudaya dengan *power supply* DC sebesar 15 V.



**Gambar 3.8** LNA ZFL-1000LN

5. Octoclock

Octoclock adalah perangkat yang digunakan sebagai sinkronisasi USRP. Octoclock menyediakan input 10



**Gambar 3.9** Octoclock CDA 2990

MHz dan PPS pada panel depan perangkat yang didistribusikan ke masing-masing 8 buah port keluaran 10 MHz dan keluaran SMA PPS.

6. Antena GPS

Antena GPS (Global Positioning System) merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan oleh departemen Amerika yang didukung oleh 27 satelit. Antena GPS dipasangkan pada port GPS Ant pada perangkat octoclock disisi penerima. Perangkat ini berfungsi untuk mendapatkan sinkronisasi berupa waktu yang sama untuk proses pengukuran.



**Gambar 3.10** Antena GPS

7. Personal Computer

Personal Computer dapat berupa laptop yang tersedia port *Gigabit Ethernet* karena laptop ini akan



**Gambar 3.11** Gigabit Ethernet

disambungkan dengan USRP agar bisa mengatur proses penerimaan sinyal dengan LabVIEW.

8. Gigabit Ethernet

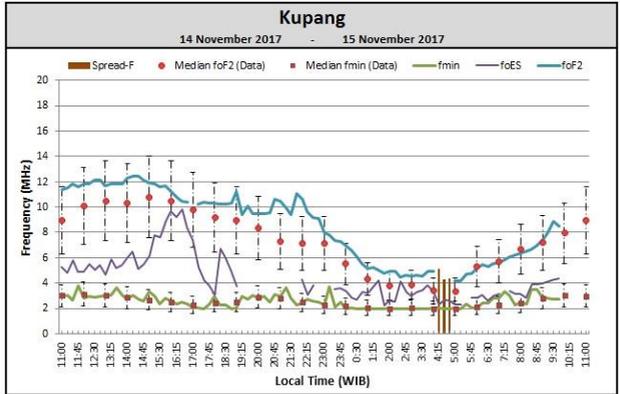
Gigabit Ethernet berfungsi sebagai penghubung antara laptop dengan USRP. Proses integrasi antara laptop dengan USRP dengan menggunakan IP Address pada USRP sedangkan IP Address untuk PC harus diatur dengan subnet mask yang sama agar kedua perangkat dapat saling terhubung.

9. Kabel Coaxial

Kabel coaxial adalah kabel yang digunakan sebagai media transmisi yang menghubungkan antara antena penerima dengan sistem penerima. Kabel coaxial yang digunakan pada pemancar adalah tipe RG8 yang memiliki redaman  $\pm 1,641$  dB/100 meter sedangkan pada penerima menggunakan kabel coaxial tipe RG58 dengan attenuasi 3,6091 dB/100 meter pada frekuensi 10 MHz.



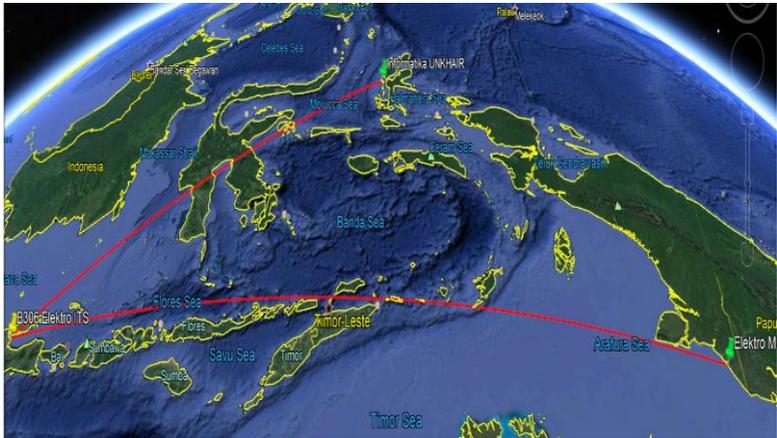
**Gambar 3.12** Kabel Coaxial



Gambar 3.13 Kondisi Ionosfer Kupang

**3.2.3. Penentuan Waktu Pengukuran**

Pengukuran kanal radio HF dipengaruhi oleh keadaan ionosfer sehingga perubahan waktu siang, sore, dan malam akan mempengaruhi hasil pengukuran. Pada siang hari lapisan F sebagai media pemantul gelombang skywave terbagi menjadi dua bagian yaitu F1 dan F2 dengan ketinggian yang berbeda. Pada pengukuran ini dilakukan pada tanggal 13-17 November 2017 pada waktu siang hingga malam hari. Namun tanggal 13-15 November 2017 pengukuran tidak terukur dengan baik karena mendapat laporan dari LAPAN bahwa adanya sporadic E pada



Gambar 3.14 Link Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke

bagian ionosfer Kupang yang mengganggu propagasi gelombang radio sehingga pengukuran data yang didapat tidak bisa terbaca di LabVIEW

### 3.2.4. Pemilihan Lokasi Pengukuran

Pengukuran kali ini diimplementasikan pada link Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke dimana kota Surabaya tepatnya di Gedung B306 Departemen Teknik Elektro ITS sebagai pemancar dengan garis lintang  $7^{\circ}17'7.12''S$  dan garis bujur  $112^{\circ}47'47.78''T$  lalu Ternate tepatnya di Teknik Informatika UNKHAIR dengan garis lintang  $0^{\circ}45'44.74''U$  dan garis bujur  $127^{\circ}20'10.69''T$  dan Merauke tepatnya di Universitas Musamus sebagai penerima dengan garis lintang  $8^{\circ}31'55.21''S$  dan garis bujur  $140^{\circ}25'1.58''T$ . Sesuai dengan perhitungan dari persamaan 2.13 didapat jarak link Surabaya-Ternate adalah 1.844 Km dan jarak Surabaya-Merauke adalah 3.048 Km

### 3.2.5. Perhitungan Link Budget

Link budget merupakan metode untuk merencanakan daya yang dibutuhkan dengan cara menghitungnya sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang digunakan. Perhitungan link budget sistem komunikasi radio HF link Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke adalah dengan persamaan 2.5

Untuk redaman lintasan propagasi terdiri dari *absorption loss*, *FSL*, *ground reflection loss*, *polarization loss*, *sporadic E loss*. *Absorption loss* merupakan redaman yang terjadi pada lapisan E karena adanya penyerapan daya sehingga tidak dapat diteruskan ke lapisan F. Perhitungan *absorption loss* diasumsikan dengan mengalami dua kali pemantulan di lapisan ionosfer. *FSL* adalah redaman yang terjadi ketika sinyal yang dipancarkan langsung diterima oleh penerima tanpa adanya rugi obstacle. Perhitungan redaman *FSL* dapat diketahui dengan persamaan 2.3.

*Ground reflection loss* merupakan redaman berasal dari pantulan gelombang di permukaan bumi yang dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan dielektrik. Biasanya untuk pantulan yang terjadi di permukaan air laut jauh lebih kecil daripada pantulan yang terjadi di permukaan bumi yang kering. Kemudian redaman polarisasi yakni redaman yang terjadi karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang diterima dengan antena penerima sedangkan redaman *sporadic E* adalah redaman yang dipengaruhi nilai *critical frequency* di

lapisan E sporadik. Jadi total redaman lintasan propagasi komunikasi HF adalah dengan persamaan 2.4

Dari hasil perhitungan link budget dapat diketahui bahwa daya pancar yang dibutuhkan untuk sistem komunikasi HF link Surabaya-Merauke adalah 45.983 dBm. Untuk perhitungan *link budget* ini diambil link Surabaya-Merauke karena lintasan yang jauh dari Ternate sehingga daya minimal yang dipancarkan harus lebih besar agar sampai di kedua penerima.

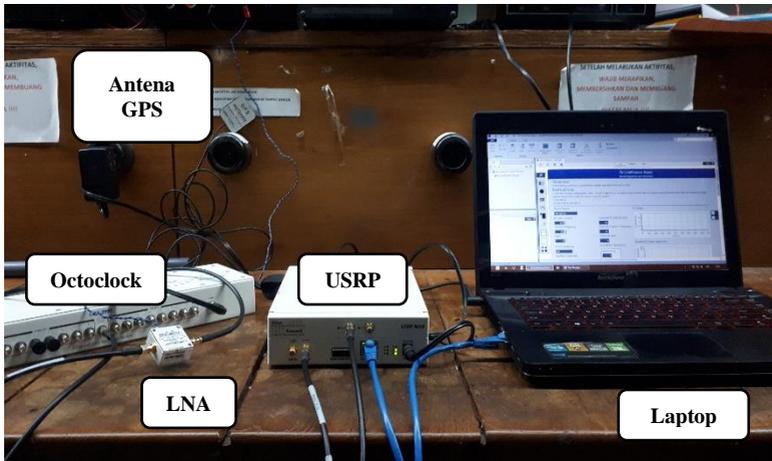
Berdasarkan perhitungan link budget tersebut menunjukkan bahwa perancangan sistem pengukuran memiliki perhitungan link budget yang berbeda untuk setiap frekuensi sehingga link budget menjadi pertimbangan dalam implementasi sistem pengukuran agar memiliki daya transmisi sesuai dengan yang dibutuhkan.

### **3.3. Instalasi Perangkat**

Sebelum melakukan pengukuran sistem komunikasi HF, diperlukan instalasi perangkat agar sistem bekerja dengan baik saat pengukuran dan fungsinya sesuai yang diharapkan. Instalasi perangkat sistem komunikasi HF ini meliputi instalasi perangkat keras, instalasi perangkat lunak LabVIEW, dan integrasi USRP dengan LabVIEW.

#### **3.3.1. Instalasi Perangkat Keras**

Instalasi perangkat keras ini meliputi antenna, kabel coaxial, LNA, USRP, octoclock, antenna GPS, dan laptop. Langkah awalnya adalah dengan memasang antenna monopole pada penerima ditempat yang tinggi. Pemasangan dimulai dengan menggabungkan tiga batang konduktor secara tegak lurus dari permukaan bumi lalu kabel konduktornya dibentangkan lebar sampai menyentuh permukaan bumi dan kabel coaxial dipasang pada antenna tersebut untuk menghubungkan antara antenna dengan sistem di penerima untuk mengakuisi data. Alasan digunakannya antenna vertikal monopole adalah karena jarak antara pengirim dan penerima yang jauh sehingga dibutuhkan sudut elevasi yang kecil. Pola radiasi antenna monopole yang diatas permukaan tanah menyebabkan propagasi hampir mendekati ground wave dan sudut pantulan propagasi di lapisan ionosfer besar dan bisa menjangkau jarak penerima yang jauh tersebut. Kemudian kabel coaxial antenna dipasang ke LNA. Menghubungkan antara kabel coaxial dengan LNA, membutuhkan

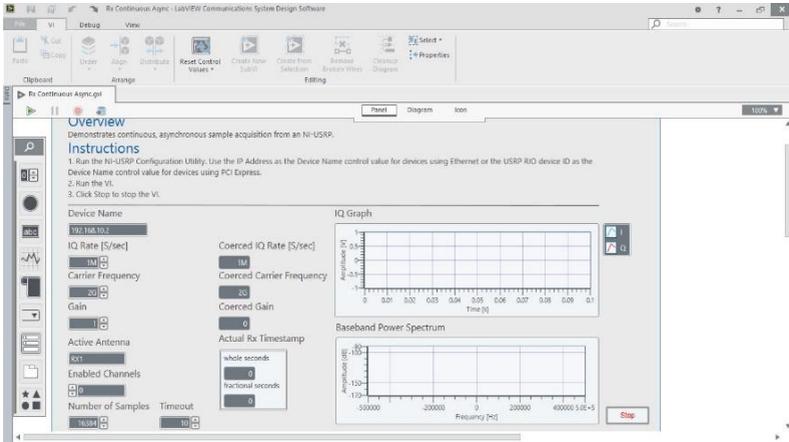


**Gambar 3.15** Perangkat Keras Penerima

konektor *male to female* agar bisa menghubungkan antara kabel coaxial dengan kabel SMA yang telah terhubung dengan LNA. Agar berfungsi, LNA membutuhkan catu daya DC sendiri sebesar 15 V. Setelah itu LNA dihubungkan dengan USRP dengan kabel SMA. Di USRP terdapat 3 port yang digunakan yakni port RF yang berfungsi untuk menghubungkan LNA dengan USRP dengan menggunakan kabel SMA sehingga sinyal yang keluar melalui LNA bisa diproses oleh daughterboard yang ada di dalam USRP, port ethernet yang berfungsi untuk menghubungkan USRP ke laptop dengan kabel Gigabit Ethernet agar sinyal yang diterima oleh USRP bisa terlihat di laptop melalui LabVIEW Communication 1.1 yang telah diprogram, dan port pps in yang menghubungkan USRP dengan octoclock port bagian pps out dengan kabel SMA yang berguna untuk mensinkronisasikan waktu pengiriman dan penerimaan sinyal. Di bagian octoclock terdapat banyak port namun yang dibutuhkan adalah port antena gps input yang berguna untuk menghubungkan antena gps dengan octoclock agar sinkronisasi waktu berjalan dengan semestinya. Untuk keseluruhan desain pengukuran bisa dilihat pada lampiran G.

### 3.3.2. Instalasi Perangkat Lunak LabVIEW

Software LabVIEW yang digunakan adalah LabVIEW Communication 1.1. Program yang diinginkan adalah program yang dapat menerima sinyal yang dipancarkan oleh radio HF. Frekuensi

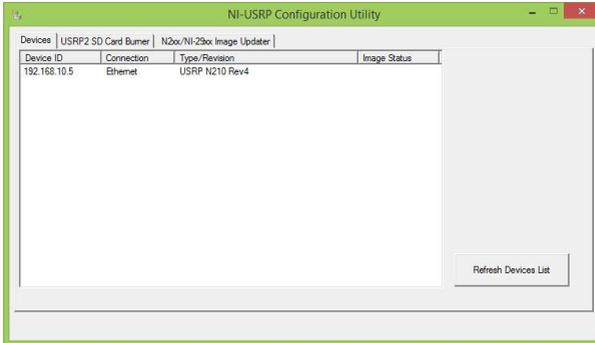


**Gambar 3.16** Tampilan Panel LabVIEW di Penerima

osilator yang digunakan pada penerima tergantung dari frekuensi sinyal *carier* yang dipancarkan radio dengan selisih 0.02 MHz dibawahnya agar sinyal bisa terlihat di LabVIEW bagian spektrum sinyal baseband sebelah kanan.

Langkah-langkah penggunaan pada program LabVIEW adalah pertama membuka aplikasi LabVIEW Communication 1.1 di laptop lalu pilih menu examples. Di bagian examples terdiri dari banyak menu namun yang digunakan pada pengukuran ini adalah menu hardware input and output yang terletak di bagian paling bawah. Setelah itu lanjut dengan klik ke menu NI USRP host dan memilih menu single device dengan kategori single channel. Bagian single channel yang dipilih adalah continuous dan kemudian memilih bagian Rx continuous asynchronous sebagai program untuk penerima sinyal yang dikirimkan pemancar. Setelah itu buatlah nama file program sehingga mudah untuk mencari saat dibutuhkan waktu pengukuran.

Setelah selesai dalam pembukaan LabVIEW Communication 1.1, maka akan muncul panel dimana harus diisi sesuai dengan program yang akan kita jalankan. Bagian yang harus diisi adalah *Device Name*, *IQ Rate*, *Carrier Frequency*, *Gain*, dan *Number of Samples*. Pada bagian *Device Name*, itu merupakan *IP Address* dari perangkat USRP yang akan kita gunakan. Lalu bagian *IQ Rate* adalah lebar frekuensi yang terlihat pada *Baseband Power Spectrum* dimana jika diisi dengan 200k maka sebelah kiri berakhir dengan frekuensi -100000 Hz dan sebelah kanan



**Gambar 3.17** Konfigurasi USRP

berakhir dengan frekuensi 100000 Hz. Bagian Gain diisi dengan angka 1 dan bagian *Number of Samples* diisi dengan 16000 yang merupakan banyaknya sampel yang diakuisisi pada tampilan *IQ Graph* yang akan terlihat di aplikasi Microsoft Excel.

### 3.3.3. Integrasi USRP dengan LabVIEW

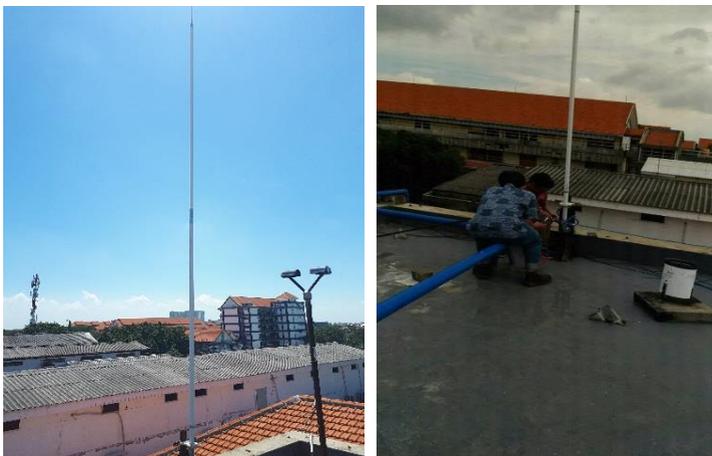
Labview yang digunakan pada penerima berfungsi untuk mengontrol USRP. Melalui LabVIEW, USRP dapat membangkitkan sinyal pada pemancar dan dapat menerima sinyal pada penerima. Untuk menghubungkan USRP dengan PC agar dapat terkoneksi adalah dengan menggunakan kabel Gigabit Ethernet.

Untuk proses integrasi kedua perangkat tersebut, *IP address* yang digunakan adalah default USRP yang akan digunakan sedangkan *IP Address* PC harus diatur dengan *subnet mask* yang sama atau satu jaringan. Untuk mengetahui apakah USRP telah terhubung dengan LabVIEW adalah dengan melihat *IP Address* USRP di NI-USRP Configuration Utility. Jika *IP Address* USRP muncul maka LabVIEW telah terhubung dengan USRP dan sebaliknya.

Pada driver USRP menunjukkan IP address dan tipe USRP yang digunakan. Jika tampilan informasi tipe USRP tidak sama dengan tipe USRP yang digunakan, maka N2xx/NI-292x image updater pada NI-USRP Configuration Utility akan meng-update firmware image dan FPGA image agar sesuai dengan tipe USRP yang digunakan.

## 3.4. Implementasi Sistem

Setelah selesai dalam instalasi perangkat maka lanjut ke tahap berikutnya yaitu implementasi sistem komunikasi HF. Implementasi yang dilakukan yakni dari segi pemancar dan penerima. Pemancar terletak di



**Gambar 3.18** Pemasangan Antena Pemancar

Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B306 Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penerima ada dua lokasi yaitu Ternate tepatnya di Gedung Informatika Universitas Khairun dan Merauke tepatnya di Teknik Elektro Universitas MUSAMUS.

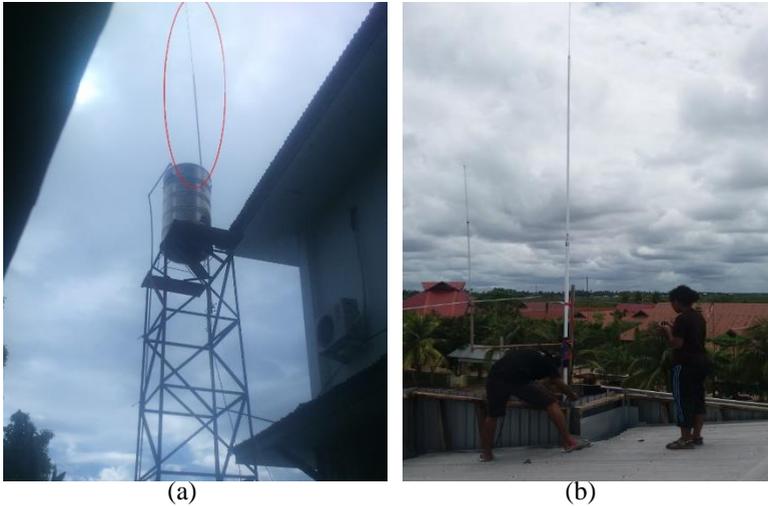
#### **3.4.1. Implementasi Sisi Pemancar**

Pada sisi pemancar, antena terletak di atas Gedung B lantai 4 Departemen Teknik Elektro sudut kanan dekat ruang B406. Ketinggian antena pemancar ini  $\pm 14$  meter dari atas permukaan tanah. Daya pancar antena adalah 33 Watt dengan dengan VSWR 1.5.

Peralatan yang diimplementasikan pada pemancar adalah radio HF Alinco dan *power supply* DC 15 V. Kabel coaxial yang telah dipasang di antena dihubungkan ke radio dan radio diberi catu daya 15 V agar bisa digunakan. Frekuensi yang digunakan sesuai dengan peraturan menteri komunikasi dan informatika Republik Indonesia nomor 25 tahun 2014 tentang alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia yaitu frekuensi radio amatir. Jika frekuensi tersebut telah terisi maka harus mencari frekuensi yang kosong yang tidak terisi dan tidak mengganggu alokasi frekuensi yang telah terpakai. Untuk desain sistem penerima dapat dilihat pada lampiran G.2.

#### **3.4.2. Implementasi Sisi Penerima**

Pada lokasi penerima, untuk Ternate antena penerima dipasang berdampingan dengan tandon air sebelah Gedung Teknik Informatika

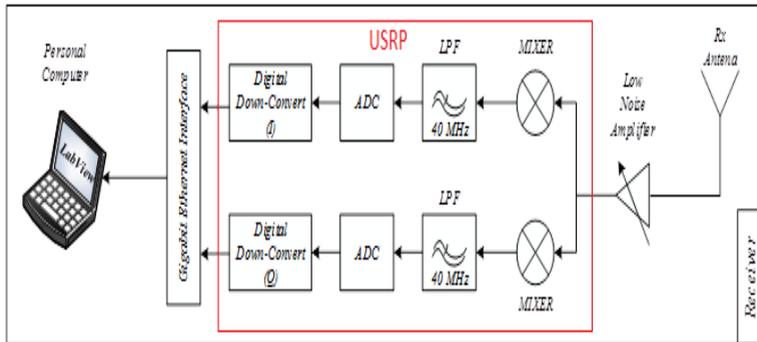


**Gambar 3.19** Pemasangan Antena Penerima (a) Ternate (b) Merauke

UNKHAIR. Ketinggian antena penerima di Ternate  $\pm 8$  meter. Untuk Merauke antena penerima dipasang diatas gedung Teknik Elektro Universitas MUSAMUS. Ketinggian antena penerima di Merauke  $\pm 10$  meter. Kedua antena tersebut memiliki VSWR 1.6.

Implementasi penerima diawali dengan pemasangan perangkat keras seperti antena monopole, LNA, USRP N210, PC, kabel coaxial, Gigabit Ethernet, octoclock, 2 buah power supply DC, kabel SMA, dan antena GPS maupun perangkat lunak yang sudah terinstalasi seperti LabVIEW agar diintegrasikan untuk diimplementasikan saat pengukuran. USRP dihubungkan dengan tiga perangkat yakni PC dengan menggunakan Gigabit Ethernet, octoclock dengan menggunakan kabel SMA dari port pps in ke port pps out, dan LNA dengan menggunakan kabel SMA dari port RF ke LNA. Dari port GPS perangkat octoclock dihubungkan dengan antena GPS dan jika telah terpasang semua maka selanjutnya membuka LabVIEW Communications 1.1 dan siap menerima sinyal. Untuk desain sistem penerima dapat dilihat pada lampiran G.1.

Dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW, subsistem penerima dirancang agar dapat menerima sinyal *carier* yang ditransmisikan lalu didemodulasikan dengan IQ demodulator. Ilustrasi pemodelan sub sistem penerima dapat dilihat pada gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Pemodelan Subsystem Penerima

Pada proses implementasi blok diagram USRP pada labVIEW, sistem ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

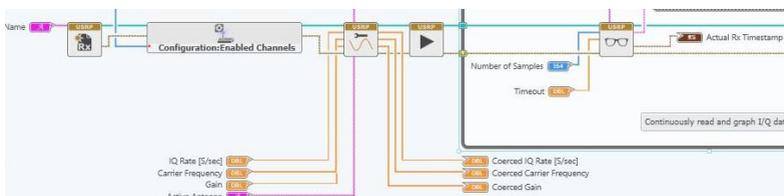
1. Sub program USRP

Pada gambar 3.21 menunjukkan blok-blok diagram dari USRP untuk memasukkan parameter yang dibutuhkan pada sistem pengukuran seperti: frekuensi osilator, IQ sampling rate, dan penguatan.

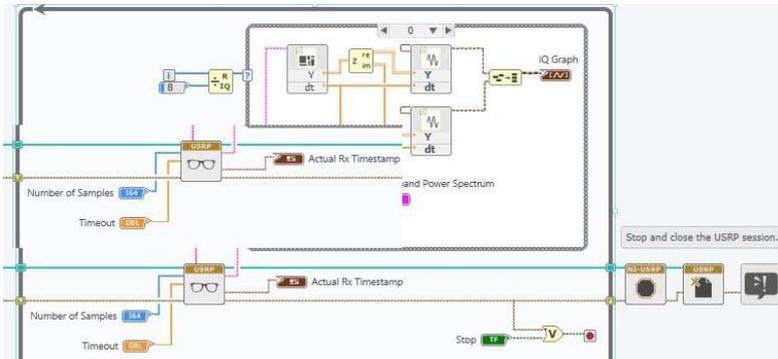
2. Sub Program Tampilan Diagram

Pada gambar 3.22 menunjukkan blok blok untuk sistem tampilan diagram. Pada program ini dapat menampilkan diagram sinyal IQ setelah demodulasi dan sinyal baseband yang terlihat pada labVIEW.

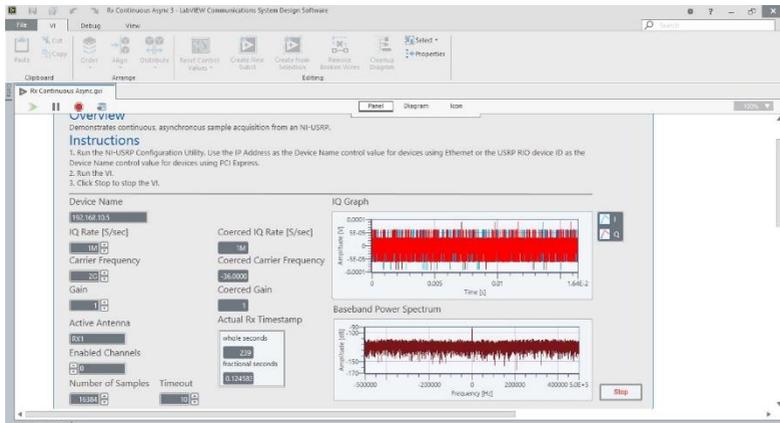
Tampilan GUI (Graphical User Interface) pada software labVIEW sangat memudahkan para pengguna dalam proses pengambilan data. Pada tampilan tersebut pengguna bisa melihat bagan spektrum baseband dan IQ graph untuk memudahkan dalam mengetahui sinyal carier yang diterima dengan cara klik kanan pada bagan tersebut lalu pilih *capture data* untuk mendapatkan data IQ dari sinyal carier yang diterima.



**Gambar 3.21** Blok Diagram Pengaturan Perangkat USRP RX



**Gambar 3.23** Blok Diagram Pengolahan Sinyal Terima menjadi data IQ



**Gambar 3.22** Tampilan Panel Rx

### 3.5. Skenario Pengambilan Data dan Lokasi Pengukuran

Untuk melakukan pengukuran kuat sinyal, langkah awal yang dilakukan adalah mengimplementasikan sistem komunikasi HF yang telah disimulasikan di penerima secara langsung pada lintasan Surabaya-Ternate dengan jarak lintasan 1844 km dan lintasan Surabaya-Merauke dengan jarak lintasan 3048 km dimana Surabaya tepatnya di Laboratorium Antena dan Propagasi di B306 sebagai transmitter dan Ternate di Gedung informatika UNKHAIR dan Merauke di Gedung Teknik Elektro Universitas MUSAMUS sebagai receiver. Prosedur

sistem pengukuran dilakukan dengan beberapa persiapan, diantaranya sebagai berikut:

1. Membuat susunan jadwal pengukuran selama rentang waktu yang telah ditentukan yakni mulai Senin 13 Nopember 2017 hingga Jumat 17 Nopember 2017 yang dimulai pukul 12.00 WIB hingga 23.00 WIB.
2. Persiapan konfigurasi perangkat pada sistem pemancar di Laboratorium Antena dan Propagasi B306 ITS Surabaya.
3. Persiapan konfigurasi perangkat pada sistem penerima di Gedung Informatika UNKHAIR Ternate dan di Universitas Musamus Merauke.
4. Sinkronisasi waktu antara Surabaya dengan Ternate dan Merauke dengan menggunakan GPS dan octoclock sehingga waktu kirim dan terima tidak mengalami perbedaan dan data IQ yang diterima dapat terekam utuh.
5. Persiapan penyimpanan folder khusus untuk data hasil pengukuran
6. Masing-masing USRP di penerima terkoneksi dengan laptop melalui Gigabit Ethernet dan operasi sistem pemancar dan penerima pada posisi siap.
7. Pengirim akan mengirimkan sinyal setiap 15 menit sekali dengan setiap pengiriman selama 5 menit.
8. Penerima akan menerima sinyal setiap 15 menit sekali dengan setiap penerimaan selama 5 menit dan 5 menit berikutnya untuk menyimpan data. Setiap percobaan dilakukan sebanyak 5 kali.
9. Jika sinyal carrier dari USRP tidak dapat diterima di penerima, diganti dengan pengiriman sinyal dengan radio HF pada mode AM.
10. Data yang dikeluarkan oleh pemancar berupa data IQ
11. Data yang diterima oleh penerima berupa data IQ
12. Data yang akan digunakan untuk pengolahan data adalah data IQ
13. Proses pengolahan data diawali dengan melakukan proses FFT di MATLAB terhadap IQ sehingga menghasilkan baseband channel
14. Selanjutnya tandai kuat sinyal yang diterima lalu direkap dalam Microsoft Excel dengan mengurutkan hari dan jam nya.
15. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan koefisien korelasi antar kanal dan bandingkan dengan simulasi Proplab.

### 3.6. Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data diawali dengan pemasangan sistem pengukuran di pemancar. Pada sistem penerima, dilakukan integrasi antara laptop dengan USRP melalui aplikasi labVIEW. Untuk proses integrasi kedua perangkat tersebut harus menggunakan kabel ethernet, *IP Address* USRP yang digunakan adalah *IP Address* dari USRP tersebut dan *IP Address* laptop diatur dengan subnet mask yang sama agar satu jaringan dan terkoneksi. Untuk mengetahui apakah USRP telah terhubung dengan laptop adalah dengan melihat *IP Address* USRP muncul di NI-USRP Configuration Utility.

Setelah laptop dan USRP terkoneksi, dilakukan pengukuran langsung dengan koordinasi terlebih dahulu antara pemancar dengan penerima melalui aplikasi sosial media agar mengetahui frekuensi sinyal *carier* yang dikirimkan. Pada sistem penerima, dilakukan penentuan parameter seperti frekuensi osilator sebesar 0.02 MHz kurang dari frekuensi sinyal *carier* yang bertujuan untuk mengetahui kuat sinyal *carier* yang dipancarkan oleh pengirim dan banyak sampel yakni 16000 dari data yang didapat. Setelah parameter penerima ditentukan, maka ketika sinyal itu dikirimkan akan terlihat kuat sinyal di bagan spektrum baseband dan pada bagan IQ *graph* dilakukan captured data sehingga data yang didapat berupa data I dan Q yang disusun dalam bentuk file .csv dimana masing-masing file berisi 16000 sampel yang kita tentukan pada labview.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA

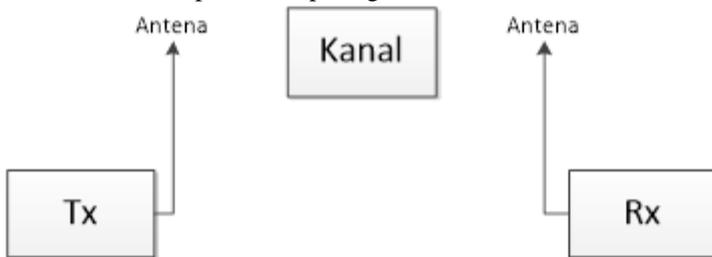
### 4.1. Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan mengambil data dari sinyal yang diterima oleh penerima. Sinyal yang diterima adalah sinyal yang melewati LNA lalu masuk kedalam USRP yang sudah terhubung dengan laptop melalui *gigabit ethernet*. Data yang telah diterima berupa IQ yang didapatkan dengan melakukan capture data pada IQ graph di program LabVIEW Communication 1.1 pada penerima. IQ yang didapatkan akan diolah dengan menggunakan *software* Matlab lalu akan dianalisis nilai korelasi dan diverifikasi dengan hasil simulasi.

Pengukuran dilakukan selama 5 hari yakni tanggal 13-17 November 2017 dengan waktu pengukuran jam 12.00 WIB sampai 23.00 WIB setiap harinya. Adanya laporan dari LAPAN bahwa 13-15 November 2017 munculnya sporadic E pada lapisan ionosfer oleh karena itu pengukuran yang dilakukan tidak mendapatkan hasil di penerima. Data yang terekam dikelompokkan berdasarkan hari pengukuran dengan frekuensi yang dikirim dan frekuensi tengah di penerima telah dicatat untuk mengetahui letak saat frekuensi diterima. Data-data ini akan diolah untuk menghasilkan kuat sinyal yang diterima dan nilai-nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung koefisien korelasi spasial kanal HF link Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke dan diverifikasi dengan hasil simulasi Proplab.

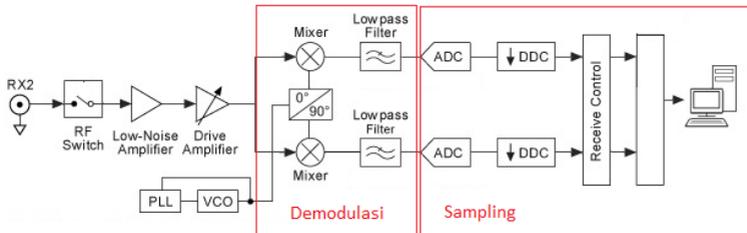
#### 4.1.1. Pengolahan Data Terekam

Sinyal carier yang dikirimkan dari pemancar, akan berpropagasi melalui media udara di ionosfer hingga sampai pada sistem penerima. Propagasi melalui media udara ini dapat disebut dengan kanal. Ilustrasi transmisi dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Sistem Transmisi Pengukuran

Di penerima terdapat satu buah antenna yang menerima sinyal dari pengirim. Sinyal yang diterima dari antenna akan didemodulasikan dengan memisahkan sinyal I dan Q. Proses ini terdapat dalam perangkat USRP.

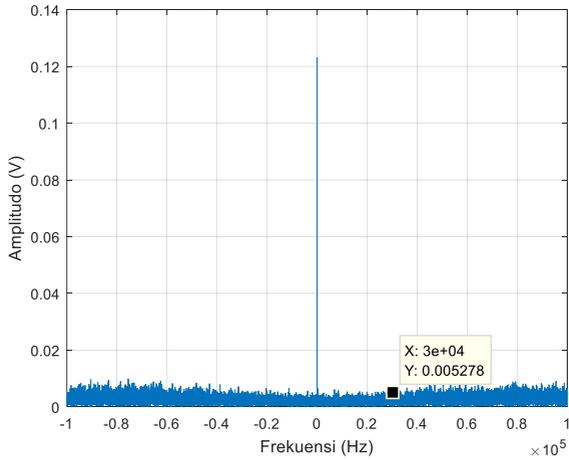


**Gambar 4.2** Blok Diagram USRP N210

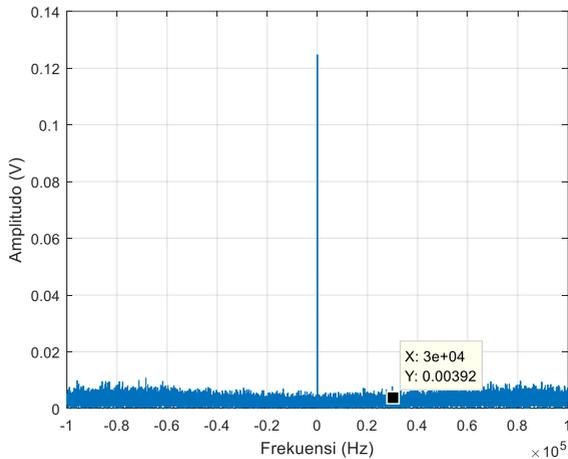
Pada gambar 4.1 memperlihatkan proses IQ demodulator pada USRP. Sistem ini menggunakan 2 mixer untuk memproses sinyal RF analog menjadi sinyal baseband I dan Q dalam domain waktu. Fungsi mixer ini menggabungkan sinyal input dengan sinyal referensi yang dibangun oleh PLL. PLL akan memberikan *trigger* ke *local oscillator* untuk membedakan fase yang diterima dengan yang dibangkitkan.

Pada USRP, frekuensi osilator diatur di labVIEW dengan selisih 0.02 MHz untuk melihat frekuensi sinyal carier yang dikirimkan oleh pemancar sehingga terlihat pada bagan spektrum baseband. Semua data I dan Q yang didapat pada pengukuran diimport satu per satu kedalam Matlab sebanyak 16000 sampel per file .csv dan setelah itu dibentuk ulang ke bentuk bilangan kompleks dengan mengkalikan bilangan imajiner dengan quadrature. Lalu data IQ tersebut di FFT agar mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi dan ditampilkan dalam bentuk sinyal baseband dengan rentang frekuensi 200 kHz sesuai dengan IQ rate yang diatur pada tampilan GUI penerima labVIEW. Setelah spektrum muncul, lalu tandai selisih antara frekuensi sinyal carier dengan frekuensi osilator untuk menentukan kuat sinyal yang diterima dengan satuan Volt pada masing-masing data di Ternate dan Merauke. Semua data I dan Q pada pengukuran yang telah diolah di Matlab, direkap semua kuat sinyal yang telah didapat dan dikelompokkan berdasarkan waktu pengukuran yang sama.

Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menunjukkan contoh bentuk sinyal baseband yang diterima oleh masing-masing penerima di Ternate dan

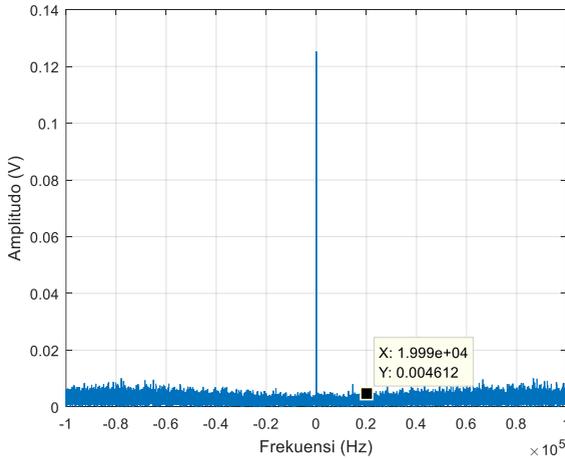


**Gambar 4.3** Sinyal Baseband pada Penerima Ternate 16 November 2017

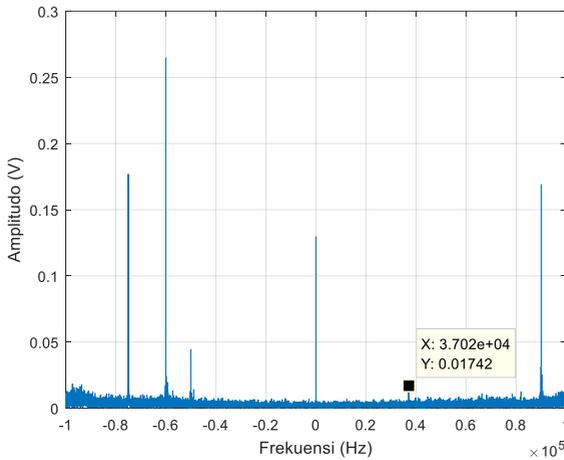


**Gambar 4.4** Sinyal Baseband pada Penerima Merauke 16 November 2017

Merauke pada waktu pengukuran hari Kamis tanggal 16 November 2017 pukul 20.00 WIB selama 5 detik. Frekuensi osilator yang digunakan pada sisi penerima adalah 9 MHz sedangkan pada sisi pemancar mengirim sinyal dengan frekuensi 9.03 MHz. Saat data IQ diolah dengan program Matlab dan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan lebar *bandwidth*



**Gambar 4.6** Sinyal Baseband di Penerima Ternate 17 November 2017



**Gambar 4.5** Sinyal Baseband di Penerima Merauke 17 November 2017

200.000 Hz maka sinyal yang diterima oleh masing-masing penerima akan bergeser sebesar 30.000 Hz. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa penerima Ternate dan penerima Merauke menerima sinyal yang kecil pada frekuensi 30.000 Hz dari pengirim yang sama yakni Surabaya.

Pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan contoh sinyal baseband yang diterima oleh penerima Ternate dan penerima Merauke pada waktu pengukuran hari Jumat tanggal 17 November 2017 pukul 20.30 WIB selama 5 detik. Frekuensi osilator yang digunakan pada sisi penerima Ternate adalah 10.067 MHz dan di sisi penerima Merauke adalah 10.05 MHz sedangkan pada sisi pemancar Surabaya mengirim sinyal carier dengan frekuensi 10.087 MHz. Setelah data IQ diolah dengan menggunakan program Matlab dan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan lebar *bandwidth* 200.000 Hz maka selisih sinyal yang diterima oleh masing-masing penerima adalah 20.000 Hz di sisi Ternate dan 37.000 Hz di sisi Merauke. Setelah mengetahui letak frekuensi di bagian *x-axis*, pada bagian *y-axis* terdapat kuat sinyal yang diterima dengan satuan volt. Kuat sinyal tersebut akan dikumpulkan sebanyak percobaan yang dilakukan lalu dikelompokkan berdasarkan jam dan hari dan dilakukan perhitungan koefisien korelasi dengan persamaan 2.15 sampai 2.17.

Untuk memastikan kuat sinyal yang diterima merupakan kuat sinyal yang dikirimkan dan bukan kuat sinyal noise adalah dengan menggunakan perhitungan daya noise sebagai threshold. Dari persamaan 2.6 didapatkan bahwa daya noise yang diterima adalah  $8.27 \times 10^{-16} \text{ W}$  dimana suhu sebesar 300 K dan bandwidth sebesar 200 kHz . Setelah didapatkan daya noise, kuat sinyal paling kecil yang diterima diubah ke daya dan dibandingkan dengan daya noise untuk memastikan sinyal tersebut bukan sinyal noise. Daya dari sinyal yang diterima paling kecil adalah  $6.4 \times 10^{-7} \text{ W}$  sehingga dapat dikatakan bahwa sinyal yang diterima adalah sinyal carier yang dipancarkan oleh pemancar dan bukan sinyal noise.

**Tabel 4.1** Hasil Pengelompokan Kuat Sinyal

Tanggal	Ternate (V)	Merauke (V)
16 November 2017	0.003002	0.001361
	0.002629	0.00392
	0.005278	0.0008
	0.002095	0.002985
	0.000864	0.001512
	0.003194	0.002767
	0.004393	0.003588
	0.004665	0.003369

	0.003855	0.002898
	0.001078	0.001659
	0.003339	0.005139
	0.001787	0.004813
	0.005742	0.00776
	0.00257	0.006683
	0.006391	0.009463
	0.00438	0.001067
	0.001681	0.00629
	0.002005	0.004602
	0.00154	0.002437
	0.001346	0.005076
	0.00371	0.005604
	0.003039	0.004026
	0.002568	0.007038
	0.003389	0.003618
	0.003443	0.003514
	0.001908	0.004777
	0.00343	0.002064
	0.002494	0.001109
	0.001971	0.008392
	0.002115	0.005678
	0.003261	0.01392
	0.001775	0.01416
	0.002345	0.01742
	0.002065	0.0222
	0.004612	0.01881
	0.003861	0.0072
	0.004948	0.009211
	0.001933	0.007763
	0.002206	0.004101
	0.003505	0.005829
	0.00438	0.001067
	0.001681	0.00629
	0.002005	0.004602
	0.00154	0.002437
	0.001346	0.005076
17 November 2017		

	0.00371	0.005604
	0.003039	0.004026
	0.002568	0.007038
	0.003389	0.003618
	0.003443	0.003514
	0.001908	0.004777
	0.00343	0.002064
	0.002494	0.001109
	0.001971	0.008392
	0.002115	0.005678
	0.003261	0.01392
	0.001775	0.01416
	0.002345	0.01742
	0.002065	0.0222
	0.004612	0.01881
	0.003861	0.0072
	0.004948	0.009211
	0.001933	0.007763
	0.002206	0.004101
	0.003505	0.005829
	0.01042	0.01445
	0.01415	0.009073
	0.009719	0.004321
	0.009646	0.008657
	0.002144	0.003132

Tabel 4.1 merupakan nilai dari kuat sinyal yang diterima oleh masing-masing penerima pada saat pengukuran. Tabel kuat sinyal secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Nilai kuat sinyal tersebut merupakan nilai *magnitude* dari bilangan kompleks dimana nilai tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai korelasi antar link.

#### 4.2. Perhitungan Koefisien Korelasi

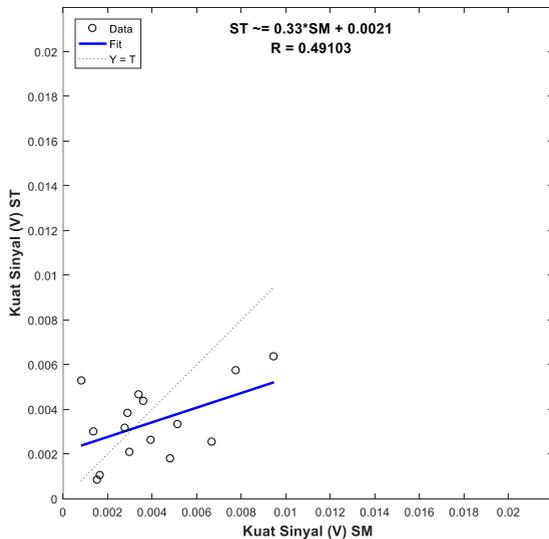
Setelah mendapatkan nilai kuat sinyal, maka langkah selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi antar link. Nilai dari koefisien korelasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah antar link mengalami korelasi atau tidak. Ada 6 buah koefisien korelasi yang akan didapatkan dari data kuat sinyal satuan volt tanggal 16 dan 17 November

2017 yaitu koefisien korelasi link pengukuran dalam bentuk variasi harian, lalu koefisien korelasi pengukuran dalam bentuk variasi waktu, koefisien korelasi link pengukuran secara keseluruhan, dan verifikasi koefisien korelasi pengukuran dengan simulasi.

Koefisien korelasi link ini memiliki nilai berkisar antara -1 sampai +1 dimana angka -1 menunjukkan link tersebut mempunyai hubungan linear yang bersifat negatif, angka 0 menunjukkan link tersebut tidak mempunyai hubungan sama sekali, dan angka +1 menunjukkan link tersebut mempunyai hubungan linear yang bersifat positif. Perhitungan koefisien korelasi link ini menggunakan persamaan 2.14. Untuk mendapatkan  $S_{xy}$  (standar deviasi data x dan y) dan  $S_x$  (standar deviasi data x) perhitungannya adalah menggunakan persamaan 2.15, dan 2.16. Kurva regresi linear yang digunakan untuk menunjukkan nilai koefisien korelasi link dan menampilkan persamaan garis dari plot persebaran data hubungan kedua link tersebut.

#### 4.2.1. Hasil Regresi Linear terhadap Variasi Harian

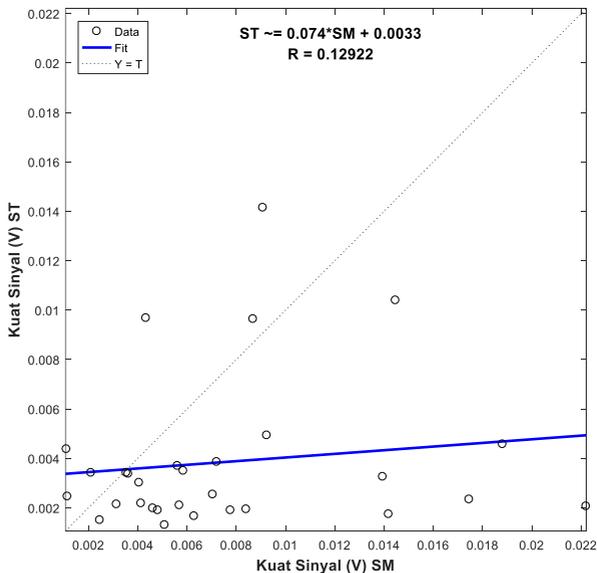
Langkah mencari koefisien korelasi adalah diawali dengan menampilkan kurva regresi linear hubungan antara link Ternate dengan



**Gambar 4.7** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) tanggal 16 November 2017

link Merauke dengan variasi harian. Kurva regresi linear yang ditampilkan adalah hubungan kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dan link Surabaya-Merauke. Data yang dimasukkan kedalam kurva adalah data yang dipisah antara data tanggal 16 November 2017 sebanyak 30 buah dengan tanggal 17 November 2017 sebanyak 60 buah.

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya-Merauke pada tanggal 16 November 2017 adalah 0.49103. Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi yang rendah dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Nilai koefisien korelasi yang positif dapat diketahui dari garis regresi linear yang naik dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate naik, kuat sinyal yang diterima di Merauke juga naik. Pada grafik tersebut menunjukkan erima di Merauke juga naik. Pada grafik tersebut menunjukkan hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = 0.33 \times SM + 0.0021$ .

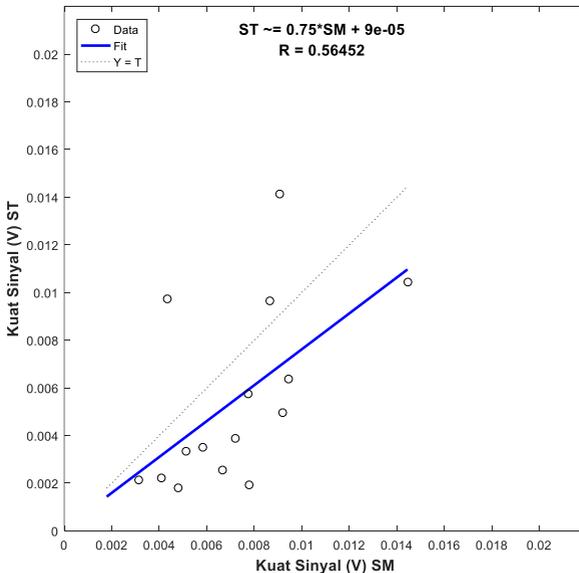


**Gambar 4.8** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) tanggal 17 November 2017

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya Merauke pada tanggal 17 November 2017 adalah 0.12922. Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi yang sangat kecil dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Nilai koefisien korelasi yang positif dapat diketahui dari garis regresi linear yang naik dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate besar, kuat sinyal yang diterima di Merauke juga besar. Hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = 0.074 \times SM + 0.0033$ .

#### 4.2.2. Hasil Regresi Linear terhadap Variasi Waktu

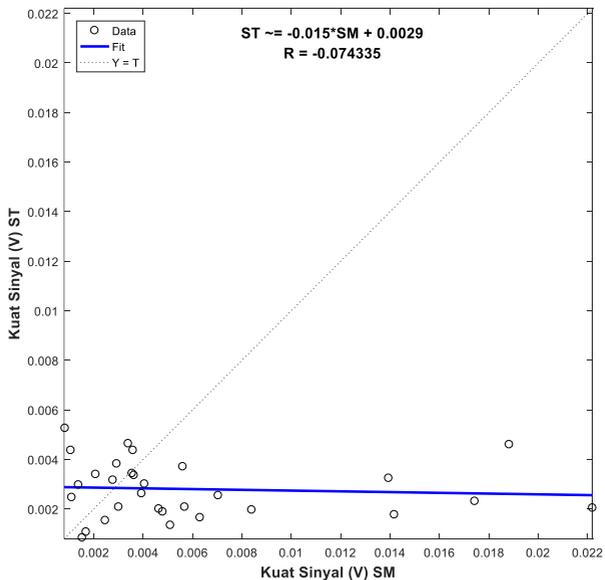
Setelah mencari koefisien korelasi terhadap variasi harian, langkah selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi terhadap variasi waktu dengan menampilkan kurva regresi linear. Data yang dimasukkan ke dalam kurva regresi adalah data yang dipisah antara data yang didapat pada siang hari dengan data yang didapat pada malam hari. Data yang



**Gambar 4.9** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) pada siang hari

didapat pada siang hari dimulai dari jam 12.00 WIB sampai jam 17.00 WIB sebanyak 30 buah dan data yang didapat pada malam hari dimulai dari jam 18.00 WIB sampai jam 24.00 WIB sebanyak 60 buah.

Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya Merauke pada siang hari adalah 0.56452. Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi sedang dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Ini menunjukkan bahwa mode propagasi gelombang dari Surabaya ke Ternate dan ke Merauke itu hampir sama karena ketinggian ionosfer antara kedua link tersebut sama. Nilai koefisien korelasi yang positif dapat diketahui dari garis regresi linear yang naik dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate besar, kuat sinyal yang diterima di Merauke juga besar. Hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = 0.75 \times SM + 9.10^{-5}$ .

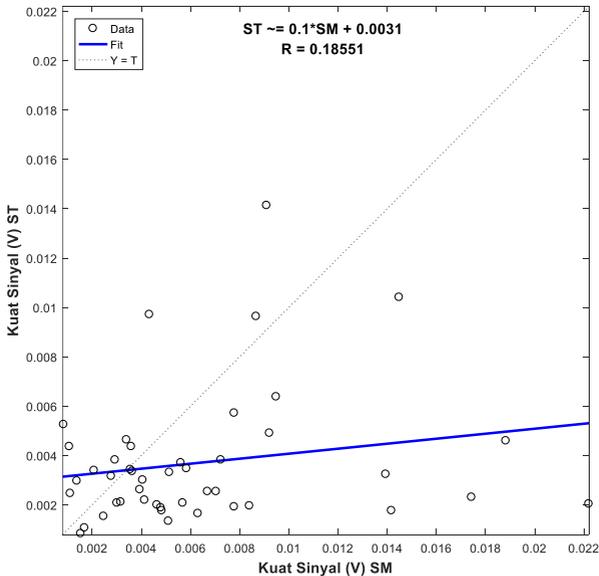


**Gambar 4.10** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) pada malam hari

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya Merauke pada malam hari adalah  $-0.074335$ . Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi yang sangat kecil dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Hal ini menunjukkan bahwa mode propagasi antara kedua link tersebut tidak sama karena ketinggian ionosfer kedua link tersebut berbeda yang dipengaruhi oleh variasi harian. Tanda negatif pada nilai koefisien korelasi dapat diketahui dari garis regresi linear yang turun dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate tidak sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate besar sedangkan kuat sinyal yang diterima di Merauke kecil. Hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = -0.015 \times SM + 0.0029$ .

### 4.2.3. Hasil Regresi Linear secara Keseluruhan

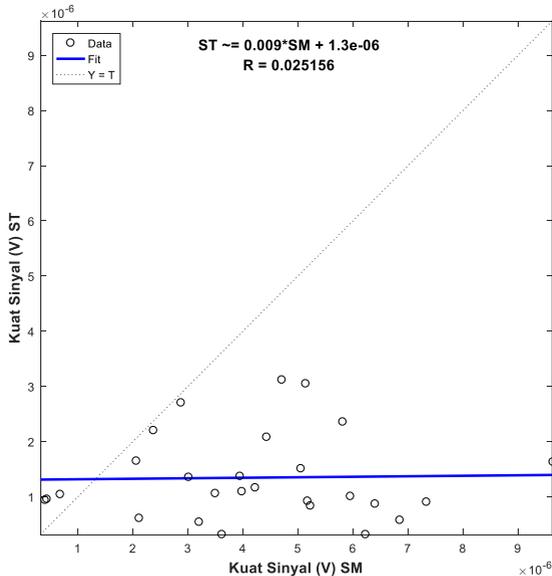
Setelah mencari koefisien korelasi terhadap variasi harian dan variasi waktu, langkah selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi link



**Gambar 4.11** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) secara keseluruhan

Ternate dengan link Merauke dengan memasukkan semua data hasil percobaan yang telah dilakukan. Data yang didapat sewaktu pengukuran ada 45 buah di masing-masing penerima. Mencari koefisien korelasi adalah dengan menampilkan kurva regresi linear untuk mengetahui hubungan korelasi linear kuat sinyal antar link Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke.

Pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya Merauke secara keseluruhan data adalah 0.18551. Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi yang sangat kecil dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Nilai koefisien korelasi yang positif dapat diketahui dari garis regresi linear yang naik dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate besar, kuat sinyal yang diterima di Merauke juga besar. Hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = 0.1 \times SM + 0.0031$



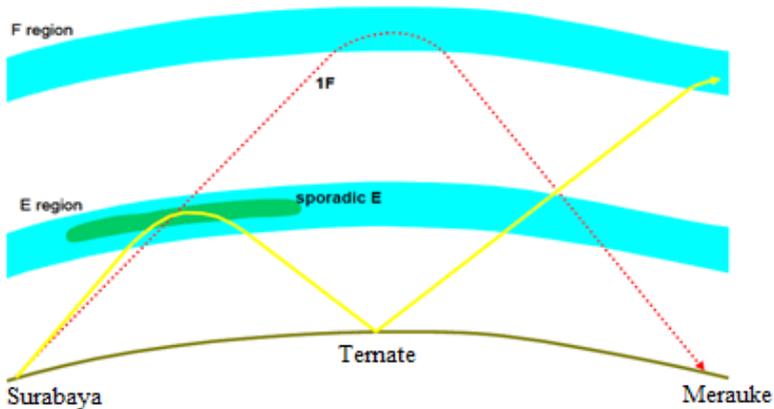
**Gambar 4.12** Plot Persebaran Data Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (SM) dengan Surabaya-Ternate (ST) dengan simulasi secara keseluruhan

### 4.3. Verifikasi dengan Hasil Simulasi

Tahap selanjutnya adalah membandingkan hasil yang didapat saat pengukuran dengan hasil simulasi Proplab. Hasil yang dibandingkan adalah hasil koefisien korelasi link Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke secara keseluruhan dengan menampilkan kurva regresi linear. Data yang ditampilkan di simulasi adalah korelasi campuran data multimode link Surabaya-Ternate yakni 2 hop, 3 hop, dan 4 hop dengan data multimode link Surabaya-Merauke 2 hop dan 3 hop.

Pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara link Surabaya-Ternate dengan link Surabaya Merauke pada simulasi adalah 0.025156. Ini berarti bahwa kuat sinyal antara link Ternate dengan link Merauke mempunyai nilai korelasi yang sangat kecil dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Nilai koefisien korelasi yang positif dapat diketahui dari garis regresi linear yang naik dan menunjukkan bahwa kuat sinyal yang diterima di Ternate sebanding dengan di Merauke dimana ketika kuat sinyal yang diterima di Ternate besar, kuat sinyal yang diterima di Merauke juga besar. Hubungan kuat sinyal link Ternate dengan link Merauke dapat diketahui dengan persamaan  $ST = 0.009 \times SM + 1.3 \cdot 10^{-6}$

Dengan membandingkan hasil pengukuran dan simulasi dapat diketahui bahwa tidak adanya perbedaan koefisien korelasi yang jauh dimana koefisien korelasi antara pengukuran dan simulasi sama-sama



Gambar 4.13 Propagasi Link Pengukuran

mempunyai nilai korelasi yang kecil dan tidak ada hubungan linear antara link tersebut karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0.

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, korelasi link antara Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke adalah tidak berkorelasi karena sesuai dengan teori statistik yakni koefisien korelasi yang mendekati 0 menunjukkan bahwa link tersebut tidak berkorelasi sehingga sistem komunikasi kooperatif bisa diterapkan dimana Surabaya sebagai pemancar, Merauke sebagai penerima, dan Ternate sebagai relay.

Saat link Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke tidak berkorelasi, itu berarti kuat sinyal yang dipancarkan dalam waktu yang bersamaan oleh Surabaya dapat diterima oleh Merauke namun tidak diterima oleh Ternate dan begitu juga sebaliknya sehingga kanal ionosfer yang tersedia untuk Ternate dan Merauke juga berbeda dan mode propagasi gelombang untuk kedua penerima tersebut juga berbeda yang dipengaruhi oleh ketinggian ionosfer dan variasi diurnal seperti pada gambar 4.13.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan pengukuran dan analisis data maka kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Nilai koefisien korelasi bervariasi terhadap perbedaan waktu disebabkan karena variasi kondisi dan ketinggian ionosfer yang berubah per harinya.
2. Nilai koefisien korelasi yang rendah yakni mendekati 0 pada pengukuran menunjukkan bahwa link Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke tidak berkorelasi
3. Tidak berkorelasinya antara link Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Merauke menunjukkan bahwa link tersebut bisa diterapkan sistem komunikasi kooperatif dimana Merauke sebagai penerima dan Ternate sebagai relay

#### **5.2. Saran**

Saran untuk pengembangan penelitian analisis korelasi spasial kanal radio HF untuk selanjutnya adalah:

1. Seharusnya lama waktu pengukuran ditambah hingga malam agar data yang didapatkan lebih banyak.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Aryaditya, *Pengukuran dan Karakterisasi Interferensi Radio pada Pita Frekuensi High Frequency (HF)*. Elektro ITS, Surabaya, 2016.
- [2] S. R. Saunders and A. Aragón-Zavala, *Antennas and propagation for wireless communication systems*, 2nd ed. Chichester, England ; Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2007.
- [3] G. Australian, "IPS Radio and Space Services Introduction to HF Radio Propagation." 2007.
- [4] L. F. McNamara, *The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding*, Original ed. Malabar, Fla: Krieger Pub. Co, 1991.
- [5] Jiyo, "Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio dan Sudut Elevasi Antena," 2009.
- [6] I. Choiriyah, *Analisis Korelasi Kanal dan Kapasitas HF MIMO NVIS*. Elektro ITS, Surabaya, 2017.
- [7] A. I. Prady, *Analisis Efek Near Far terhadap Interferensi pada Sistem Komunikasi HF TRDMA*. Elektro ITS, Surabaya, 2015.
- [8] I. Kurniawati, P. H. Mukti, R. Corputty, and G. Hendranto, "Preliminary study on HF channel complex impulse response and power delay profile characteristics in low latitude region," 2014, pp. 1–4.
- [9] P. E. W. Lestari, I. Kurniawati, Jiyo, and G. Hendranto, "Preliminary study on spatial correlation model of virtual height of ionospheric F-Layer for HF communication system design in equatorial region," 2014, pp. 1–4.
- [10] S. Suhartini, "Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat," *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, vol. 6, Mar. 2011.
- [11] N. Rachmadina, *Sub Sistem Pemancar pada Sistem Pengukuran Kanal HF pada Lintasan Merauke-Surabaya*. Elektro ITS, Surabaya, 2014.
- [12] A. D. Adhitya, *Sub Sistem Penerima pada Sistem Pengukuran Kanal HF pada Lintasan Merauke-Surabaya*. Elektro ITS, Surabaya, 2014.
- [13] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
- [14] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1997.

- [15] J. G. Proakis and M. Salehi, *Digital communications*, 5th ed. Boston: McGraw-Hill, 2008.
- [16] E. William, "Aviation Formulary V1.43." 2007.
- [17] P. E. W. Lestari, *Karakteristik Spasial Ionosfer pada Sistem Komunikasi HF di Daerah Equatorial*. Elektro ITS, Surabaya, 2015.
- [18] W. Mendenhall, R. J. Beaver, and B. M. Beaver, *Introduction to probability and statistics*, 14th ed./Student edition. Boston, MA, USA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2013.
- [19] M. A. Zaid, *Correlation and Regression Analysis*. Ankara, Turkey, 2015.

# LAMPIRAN A

## PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Wahyu Darma  
Nomor Pokok : 0711144000012  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2017/2018  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D  
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
Judul Tugas Akhir : Analisis Korelasi Spasial Kanal Radio HF berbasis Pengukuran di Daerah Lintang Rendah  
(HF Radio Channel Spatial Correlation Analysis based on Measurement in Low Latitude Area)

09 FEB 2018

### Uraian Tugas Akhir :

Sistem Komunikasi High Frequency (HF) adalah sistem komunikasi jarak jauh yang bekerja pada spektrum frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 1-10 m yang memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang radionya. Sistem komunikasi ini bisa mencapai jarak yang jauh yakni 80 sampai 600 km tanpa menggunakan repeater sehingga cocok digunakan di Indonesia yang merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Sistem komunikasi HF mempunyai kelebihan karena menggunakan peralatan yang relatif murah dan mudah untuk diimplementasikan. Komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer seperti ketinggian lapisan ionosfer, letak geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Karena adanya perbedaan kondisi ionosfer yang terjadi, maka analisis korelasi spasial kanal HF berbasis pengukuran perlu dilakukan.

Pengukuran dilakukan dari Surabaya-Ternate dan Surabaya-Merauke, dimana pengukuran ini akan dilakukan secara bersamaan yakni Surabaya sebagai transmitter lalu Ternate dan Merauke sebagai receiver. Dari pengukuran tersebut, akan didapatkan dua output yaitu I dan Q yang akan dicari magnitudo untuk mengetahui level daya yang diterima. Setelah itu dicari koefisien korelasinya untuk menunjukkan hasil korelasi spasial kanal radio HF antara Surabaya Ternate dengan Surabaya-Merauke.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197011111993031002

  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
NIP. 196109031989031001

  
Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi

  
Dedet C. Riawan ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP.197311192000031001

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
NIP.197011111993031002

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN B

### DATASHEET PERANGKAT



#### FEATURES:

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- DDC/DUC with 25 mHz Resolution
- Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
- Fully-Coherent MIMO Capability
- Gigabit Ethernet Interface to Host
- 2 Gbps Expansion Interface
- Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
- Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
- 1 MB High-Speed SRAM
- Auxiliary Analog and Digital I/O
- 2.5 ppm TCXO Frequency Reference
- 0.01 ppm w/ GPSDO Option

#### N200/N210 PRODUCT OVERVIEW:

The Ettus Research™ USRP™ N200 and N210 are the highest performing class of hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The N200 and N210 hardware is ideally suited for applications requiring high RF performance and great bandwidth. Such applications include physical layer prototyping, dynamic spectrum access and cognitive radio, spectrum monitoring, record and playback, and even networked sensor deployment.

The Networked Series products offers MIMO capability with high bandwidth and dynamic range. The Gigabit Ethernet interface serves as the connection between the N200/N210 and the host computer. This enables the user to realize 50 MS/s of real-time bandwidth in the receive and transmit directions, simultaneously (full duplex).

The Networked Series MIMO connection is located on the front panel of each unit. Two Networked Series units may be connected to realize a complete 2x2 MIMO configuration using the optional MIMO cable. External PPS and reference inputs can also be used to create larger multi-channel systems. The N200 and N210 are largely the same, except that the N210 features a larger FPGA for customers that intend to integrate custom FPGA functionality.

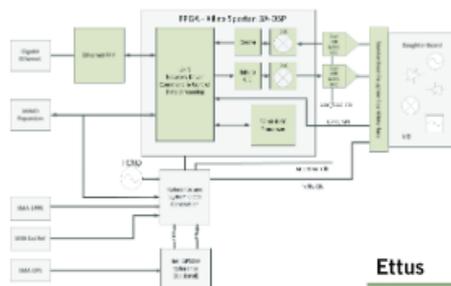
The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OSX, Windows.

## USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES

### SPECIFICATIONS

Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
<b>POWER</b>			<b>RF PERFORMANCE (W/ WBX)</b>		
DC Input	6	V	SSB/LD Suppression	25/50	dBc
Current Consumption	1.3	A	Phase Noise (1.8 GHz)		
w/ WBX Daughterboard	2.3	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
<b>CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS</b>			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	100	MS/s	1 MHz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	14	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	88	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	400	MS/s	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	16	bits	<b>PHYSICAL</b>		
DAC Wideband SFDR	80	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Host Sample Rate (Bb/16b)	50/25	MS/s	Dimensions (l x w x h)	22x16x5	cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm	Weight	1.2	kg
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm			

\* All applications are subject to change without notice.



### ABOUT ETTUS RESEARCH:

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.



1043 North Shoreline Blvd  
Suite 100  
Mountain View, CA 94063  
P 650.967.2870 www.ettus.com  
F 866.807.9801

## LAMPIRAN C PROGRAM MATLAB

### C.1 Program MATLAB membangkitkan sinyal baseband

```
%% Olah data pengukuran untuk 1 USRP %%

clear all;
close all;
clc;

%% Import Data yang akan diolah

%data_Rx = xlsread('D:\TA\Pengukuran
Kooperatif\17112017\MKQ\10.13 MHz_15.50
p.m\1\IQ.csv', 'IQ', 'B4:B16003'); % In phase
%data_Rx1 = xlsread('D:\TA\Pengukuran
Kooperatif\17112017\MKQ\10.13 MHz_15.50
p.m\1\IQ.csv', 'IQ', 'D4:D16003'); % Quadratur

%data_Rx = xlsread('D:\TA\pengukuran
merauke(1)\17-11-2017\Surabaya\FP = 10.087 Mhz
TX RX Monopole jam 20.34 wib\test 3.csv', 'test
3', 'B4:B16387'); % In phase
%data_Rx1 = xlsread('D:\TA\pengukuran
merauke(1)\17-11-2017\Surabaya\FP = 10.087 Mhz
TX RX Monopole jam 20.34 wib\test 3.csv', 'test
3', 'D4:D16387'); % Quadratur

data_Rx = xlsread('D:\TA\pengukuran
merauke(1)\16-11-2017\Surabaya\FP = 9,03 MHz Tx
Rx monopole
AM\16112017_20(2)WIB.csv', '16112017_20(2)WIB', 'B
4:B16387'); % In phase
data_Rx1 = xlsread('D:\TA\pengukuran
merauke(1)\16-11-2017\Surabaya\FP = 9,03 MHz Tx
Rx monopole
```

```
AM\16112017_20(2)WIB.csv', '16112017_20(2)WIB', 'D4:D16387'); % Quadratur
```

```
%data_Rx = xlsread('D:\TA\REKAP HASIL PENGUKURAN TTE\DATA PENGUKURAN HARI JUMAT\Surabaya Transmit\AM\10.087 m\22.32 WIT\IQ\5.csv', '5', 'B4:B16003'); % In phase %data_Rx1 = xlsread('D:\TA\REKAP HASIL PENGUKURAN TTE\DATA PENGUKURAN HARI JUMAT\Surabaya Transmit\AM\10.087 m\22.32 WIT\IQ\5.csv', '5', 'D4:D16003'); % Quadratur
```

```
%data_Rx = xlsread('D:\TA\REKAP HASIL PENGUKURAN TTE\DATA PENGUKURAN HARI KAMIS (TTE)\Hasil Surabaya transmit Malam\9.03-19.55 WIB\iq\3.csv', '3', 'B4:B16003'); % In phase %data_Rx1 = xlsread('D:\TA\REKAP HASIL PENGUKURAN TTE\DATA PENGUKURAN HARI KAMIS (TTE)\Hasil Surabaya transmit Malam\9.03-19.55 WIB\iq\3.csv', '3', 'D4:D16003'); % Quadratur
```

```
r1 = (reshape(data_Rx + 1i*data_Rx1,1, []));
```

```
% figure sinyal baseband figure(1) plot(linspace(-100000,100000,length(r1)),abs(fftshift(fft(r1))))); grid on title('Sinyal Baseband');
```

## C.2 Program MATLAB Regresi Linear

```
clear all;
close all;
clc;

%-----Import Data Excel-----%
data_Rx0 = xlsread('D:\TA\MATLAB
TA\DataPengukuran.csv', 'DataPengukuran', 'A3:B17'
);
data_Rx1 = xlsread('D:\TA\MATLAB
TA\DataPengukuran.csv', 'DataPengukuran', 'C3:D32'
);
data_Rx2 = xlsread('D:\TA\MATLAB
TA\DataPengukuran.csv', 'DataPengukuran', 'E3:F32'
);
data_Rx3 = xlsread('D:\TA\MATLAB
TA\DataPengukuran.csv', 'DataPengukuran', 'G3:H17'
);
data_Rx4 = xlsread('D:\TA\MATLAB
TA\DataPengukuran.csv', 'DataPengukuran', 'I3:J47'
);

%-----Letak kolom data yang akan
ditampilkan-----%
MKQpeng16=data_Rx0(:,1);
TTEpeng16=data_Rx0(:,2);
MKQpeng17=data_Rx1(:,1);
TTEpeng17=data_Rx1(:,2);

MKQmalam=data_Rx2(:,1);
TTEmalam=data_Rx2(:,2);
MKQsiang=data_Rx3(:,1);
TTEsiang=data_Rx3(:,2);

MKQlinkpeng=data_Rx4(:,1);
TTElinkpeng=data_Rx4(:,2);
```

```
%-----Figure regresi linear-----%  
figure (1)  
plotregression (MKQpeng16, TTEpeng16)  
figure (2)  
plotregression (MKQpeng17, TTEpeng17)  
figure (3)  
plotregression (MKQmalam, TTEmalam)  
figure (4)  
plotregression (MKQsiang, TTEsiang)  
figure (5)  
plotregression (MKQlinkpeng, TTElinkpeng)
```

## LAMPIRAN D PERHITUNGAN LINK BUDGET

**Tabel D.1** Link Budget Surabaya-Merauke

No	Parameter	Total	Satuan
1	Sensitifitas Penerima ( $P_R$ )	-112	dBm
2	Gain Antena Pemancar ( $G_T$ )	0.3	dB
3	Gain Antena Penerima ( $G_R$ )	0.3	dB
4	Redaman Kabel Pemancar ( $L_T$ )	0.82	dB
5	Redaman Kabel Penerima ( $L_R$ )	1.82	dB
6	Redaman Absorption ( $L_a$ )	20.83	dB
7	Redaman <i>Free Space Loss</i> ( $L_{fsl}$ )	120.113	dB
8	Redaman <i>Ground Reflection</i> ( $L_g$ )	0	dB
9	Redaman Polarisasi ( $L_p$ )	4	dB
10	Redaman <i>Sporadic</i> ( $L_q$ )	1	dB
11	Redaman Fading ( $L_f$ )	10	dB
12	Redaman Lintasan Propagasi ( $A_T$ )	155.943	dB
13	Daya Transmisi ( $P_T$ )	45.983	dBm

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN E DATA PENGUKURAN

**Tabel E.1** Data Pengukuran Surabaya-Ternate

No	Tanggal	jam	frekuensi (MHz)	frekuensi center (MHz)	letak frekuensi	level daya
1	15-11-2017	18.20	9.06	9	60020	0.0505
2					59980	0.05666
3					59980	0.05001
4					60020	0.06721
1	16-11-2017	20.50	9.02		20010	0.04275
2					19999	0.05186
1		18.21	9.03		29930	0.06242
2					30100	0.04488
1		21.00			29980	0.0338
1		19.55			30000	0.003002
2					30000	0.002629
3					30000	0.005278
4					30000	0.002095
5					30000	0.0008636
1		20.10	9.03		30000	0.003194
2					30000	0.004393
3				30000	0.004665	
4				30000	0.003855	
5				30000	0.001078	
1		20.50	9.03	30000	0.03308	
2	30000			0.04773		
1	21.37	9.03	30000	0.001454		

2					30000	0.003463
3					30000	0.0008351
4					30000	0.003398
5					30000	0.003102
1					20100	0.003339
2					20010	0.001787
3		14.22	10.08	10.06	20010	0.005742
4					20010	0.00257
5					20010	0.006391
1					19990	0.003186
2					19990	0.001214
3		17.05			20010	0.002144
4					20010	0.002142
5					20010	0.002797
1					19990	0.002589
2					19990	0.002283
3		17.21			20010	0.00177
4					20010	0.002374
5					19990	0.001199
1	17-11-2017		9.17	9.15	19990	0.00438
2					20010	0.001681
3		18.20			19990	0.002005
4					20010	0.00154
5					19990	0.001346
1					19990	0.00371
2					20010	0.003039
3		18.30			20010	0.002568
4					19990	0.003389
5					20010	0.003443

1				1990	0.003861
2				20010	0.004948
3	14.40	10.13		1990	0.001933
4				20010	0.002206
5				20010	0.003505
1			10.11	1990	0.002246
2				1990	0.002207
3	12.24	10.13		20010	0.002133
4				1990	0.00139
5				20010	0.001726
1				1990	0.001908
2				20010	0.00343
3	19.19			1990	0.002494
4				1990	0.001971
5				20010	0.002115
1				1990	0.001743
2				1990	0.002391
3	19.32	10.087	10.067	1990	0.002741
4				1990	0.001821
5				20010	0.004577
1				1990	0.003261
2				20010	0.001775
3	20.32			20010	0.002345
4				1990	0.002065
5				1990	0.004612
1				10010	0.002619
2				10010	0.001211
3	14.00	10.181	10.171	10010	0.0007755
4				10010	0.003224

5					10010	0.002762
1					30000	0.01042
2					30000	0.01415
3		15.50	10.13	10.1	30000	0.009719
4					30000	0.009646
5					30000	0.002144

**Tabel E.2** Data Pengukuran Surabaya-Merauke

No	Tanggal	Jam	Frekuensi (MHz)	Frekuensi Center (MHz)	Letak Frekuensi	Kuat Sinyal
1	15-11-2017	15.45	9.08	9	79990	0.006088
2					80000	0.006096
3					80000	0.005101
4					79990	0.002692
5					79990	0.005457
1		15.00	10.099	10	99000	0.006753
2					99000	0.01211
3					99000	0.007492
4					99000	0.002427
5					99000	0.001556
1	16-11-2017	19.00	9.03	9	30000	0.002533
2					30000	0.001872
3					30000	0.001809
4					30000	0.001912
5		30000			0.003249	
1		20.00			30000	0.001361
2					30000	0.00392
3					30000	0.0007998

4					30000	0.002985		
5					30000	0.001512		
1		20.3			30000	0.002767		
2					30000	0.003588		
3					30000	0.003369		
4					30000	0.002898		
5					30000	0.001659		
1		19.3			30000	0.003363		
2					30000	0.003083		
3					30000	0.001456		
4					30000	0.0017		
5					30000	0.004992		
1		16.30	9.06		60000	0.001718		
2						60000	0.001003	
3						60000	0.00337	
4						60000	0.002277	
5						60000	0.003636	
1		14.00	10.08	10.05	30000	0.001798		
2							30000	0.003729
3							30000	0.00295
4							30000	0.00201
5							30010	0.004044
1		14.30	10.08	10.05	30010	0.005139		
2							30000	0.004813
3							30010	0.00776
4							30030	0.006683
5							30010	0.009463
1	17-11-2017	19.17	10.097	10.06	30720	0.008904		
2					30720	0.01831		

3				30720	0.01411
4				30720	0.003603
5				30720	0.01385
1	20.16	10.087	10.05	30720	0.01166
2				30720	0.01022
3				30720	0.005451
4				30720	0.005488
5				30720	0.009431
1	20.34	10.087	10.05	30720	0.01392
2				30720	0.01416
3				30720	0.01742
4				30720	0.0222
5				30720	0.01881
1	14.30	10.13	10.1	30010	0.0072
2				30010	0.009211
3				30010	0.007763
4				30010	0.004101
5				30010	0.005829
1	15.00	10.13	10.1	30010	0.01445
2				30010	0.009073
3				30010	0.004321
4				30010	0.008657
5				30010	0.003132
1	19.25	10.087	10.037	50010	0.004777
2				50010	0.002064
3				50010	0.001109
4				50010	0.008392
5				50000	0.005678
1	19.45		10.03	56990	0.002531

2				57000	0.003329	
3				56990	0.01872	
4				56990	0.03006	
5				56990	0.03221	
1		18.22	9.17	9.1	69990	0.001067
2					70020	0.00629
3					70010	0.004602
4					69990	0.002437
5					70010	0.005076
1		18.30	9.17	9.1	69990	0.005604
2					70010	0.004026
3					70020	0.007038
4					70010	0.003618
5					70010	0.003514

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN F DOKUMENTASI PENGUKURAN

### F.1 Dokumentasi Pengukuran di Penerima




*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*


# LAMPIRAN G

## DESAIN SISTEM PENGUKURAN


G.1 Desain Pengukuran di Penerima



### G.2 Desain Pengukuran di Pemancar



### G.3 Lokasi Pengukuran



## RIWAYAT PENULIS



Wahyu Darma, lahir di Padang pada tanggal 29 Maret 1996. Anak ketiga dari tiga bersaudara, merupakan anak dari pasangan Darmawan yang berprofesi sebagai pegawai negeri dan Marhayati seorang pegawai negeri. Menempuh pendidikan formal dari SD Pertiwi 2 Padang, lalu SMPN 1 Padang, dilanjutkan pada SMAN 1 Padang. Dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama menempuh Pendidikan S1, penulis aktif pada berbagai kegiatan dalam bidang akademik seperti sertifikasi fiber optik dan *operating connector* maupun non-akademik seperti ITS Expo. Pada bulan Juni 2018 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Departemen Teknik Elektro FTE ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*