



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**SINKRONISASI GELOMBANG PEMBAWA UNTUK
SISTEM KOMUNIKASI HF BERBASIS USRP**

Irawan Budiadi Luhur
NRP 07111745000084

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 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**CARRIER SYNCHRONIZATION FOR USRP BASED HF
COMMUNICATION SYSTEM**

Irawan Budiadi Luhur
NRP 07111745000084

Supervisors

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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Sinkronisasi Gelombang Pembawa untuk Sistem Komunikasi HF Berbasis USRP**" 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, Juli 2019

Irawan Budiadi Luhur
07111745000084

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**SINKRONISASI GELOMBANG PEMBAWA UNTUK SISTEM
KOMUNIKASI HF BERBASIS USRP**

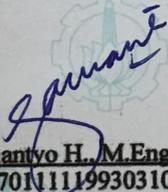
TUGAS AKHIR

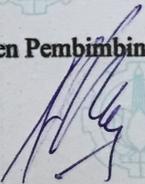
**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Prof. Ir. Gamaniyo H., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197011111993031002


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.
NIP. 196109031989031001



Sinkronisasi Gelombang Pembawa untuk Sistem Komunikasi HF Berbasis USRP

Nama : Irawan Budiadi Luhur
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., PH.D.
Dr.Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Kinerja sistem komunikasi HF pada frekuensi 3-30 MHz akan berkurang dengan berbagai parameter, seperti adanya noise yang mengganggu, panjang lintasan propagasi, dan variasi kanal terhadap waktu. Sistem komunikasi HF memanfaatkan ionosfer sebagai lintasan propagasi gelombang radio, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pendeteksian gelombang pembawa, seperti pergeseran atau perubahan informasi pada sisi penerima. Hal ini terjadi karena adanya efek *multipath* dan *doppler* yang menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi dan fasa saat proses transmisi. Dengan memanfaatkan *Phase-Locked Loop* (PLL) yang merupakan pusat dari metode sinkronisasi gelombang pembawa, pergeseran frekuensi dan fasa saat proses transmisi dapat dikompensasi. Oleh karena itu, pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan perancangan desain PLL pada sistem komunikasi HF menggunakan perangkat keras USRP N210 melalui perangkat lunak LabVIEW. Dengan daya pancar ± 7 Watt, modulasi BPSK, dan beberapa parameter lainnya, telah berhasil diuji untuk komunikasi menggunakan antena dipol untuk pemancar dan penerima yang berjarak ± 35 meter. Dari hasil pengujian sebanyak 25 kali, sistem PLL menghasilkan waktu dengan rata-rata $14,2 \mu\text{s}$ untuk masa *transient* selama proses sinkronisasi.

Kata Kunci: Sinkronisasi Gelombang Pembawa, PLL, HF, LabVIEW, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Carrier Synchronization for USRP Based HF Communication System

Name : Irawan Budiadi Luhur
Advisors : Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., PH.D.
Dr.Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

Performance of the HF communication system at 3-30 MHz frequency will be reduced with various parameters, such as the presence of disturbing noise, the length of the propagation path, and channel variation towards time. HF communication system utilizes the ionosphere as a radio wave propagation path, so it can cause an error at carrier wave detection, such as a shift or change in information on the receiving side. It happens because of the multipath and doppler effects which cause a frequency and phase shift during the transmission process. By utilizing Phase-Locked Loop (PLL) which is the center of the carrier wave synchronizing method, frequency and phase shift can be compensated. Therefore, in this final project, design of the PLL have been done on the for HF communication system using USRP N210 through LabVIEW software. With ± 7 Watt transmit power, BPSK modulation, and other parameters, it has been successfully tested for communication using dipole antennas on the transmitter and receiver within ± 35 meter. From the results of test 25 times, PLL system produces a time with an average of 14,2 μ s for the transient period during synchronization process.

Keywords: Carrier Synchronization, PLL, HF, LabVIEW, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Sinkronisasi Gelombang Pembawa untuk Sistem Komunikasi HF Berbasis USRP**".

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program pendidikan Sarjana Teknik Elektro pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Papa, Mama, Mas Pandu, Mbak Anja, dan Mbak Firdha yang selalu memberi dukungan, baik materil maupun moril kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah mengarahkan dan membantu penulis dalam membantu proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia ITS khususnya, yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan kesempatan bagi penulis.
4. Agung Wicaksono, Mbak Umairah, Ibu Indah, dan Pak Teguh, sebagai rekan *HF Research Team* dari mahasiswa S2 dan S3.
5. Afrizal Noor Karim, Geordano Vincenzo, Vina Amalia Fitrianingrum, Nabilah Saarah Darmawan, yang merupakan rekan *HF Research Team* dari mahasiswa S1.
6. Teman-teman ambisku yang selalu ingin nilai terbaik, Nur Fatiha Sartika Jimmy dan Anisa Mustika.
7. Sahabat tercinta grup LBS (Bocor, Ceklek, Niken, Sari, Odi, Makki, Angga, Xenny) yang menjadi teman setia dalam duka tak pernah suka sejak 2011.
8. Rekan-rekan LJ Elektro ITS Angkatan 2017 atas ilmu dan pengenalan dunia Elektro bagi penulis yang masih awam.
9. Adinda Mauradiva yang selalu menghibur dan mendukung selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari adanya kekurangan karena keterbatasan yang dimiliki. Namun, besar

harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Elektro, khususnya pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
TABLE OF CONTENTS	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Komunikasi Radio HF	7
2.1.1 Mode Propagasi Radio HF	9
2.1.2 Polarisasi	10
2.1.3 <i>Maximum Usable Frequency</i> dan <i>Lowest Usable Frequency</i>	10
2.1.4 <i>Skip Distance</i> dan <i>Skip Zone</i>	11
2.1.5 Sistem Komunikasi Radio HF dengan Teknik NVIS	13
2.2 Modulasi <i>Binary Phase-Shift Keying</i> (BPSK)	14
2.3 <i>Software-Defined Radio</i> (SDR)	16
2.4 <i>Laboratory Visual Instrument Engineering Workbench</i> (LabVIEW)	18
2.5 Akuisisi Data	18
2.6 Antena Dipol	19
2.7 <i>Open System Interconnection</i> (OSI) <i>Layer</i>	22
2.8 Sinkronisasi Gelombang Pembawa	24
2.8.1 <i>Phase-Locked Loop</i> (PLL)	25
2.8.2 <i>Phase Detector</i> (PD)	26
2.8.3 <i>Loop Filter</i> (LF)	26

2.8.4 <i>Voltage-Controlled Oscillator (VCO)</i>	26
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	29
3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem	29
3.2 Kriteria Uji Coba Sistem	29
3.2.1 Pemilihan Lokasi Pengujian Sistem	32
3.2.2 Pemilihan Frekuensi Kerja	32
3.2.3 Penentuan Besar Daya Pancar	33
3.3 Persiapan Perangkat Keras	33
3.3.1 Perangkat USRP	34
3.3.2 <i>Octoclock</i> dan Antena GPS	36
3.3.3 <i>Amplifier HF</i>	37
3.3.4 <i>Low Noise Amplifier (LNA)</i>	37
3.3.5 <i>Gigabit Ethernet</i>	38
3.4 Skema Perancangan Perangkat Keras	39
3.5 <i>Demodulator</i> dengan Sinkronisasi Gelombang Pembawa	40
BAB 4 PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS	43
4.1 Desain Program Sinkronisasi Gelombang Pembawa	43
4.2 Integrasi Desain dengan Sistem <i>Demodulator</i>	45
4.3 Implementasi Uji Coba Sistem Sinkronisasi Gelombang Pembawa	46
4.3.1 Uji Coba Jarak Dekat	50
4.3.2 Uji Coba Jarak Jauh	53
4.4 Sintesis	55
BAB 5 PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63
RIWAYAT PENULIS	71

TABLE OF CONTENTS

STATEMENT ORIGINALITY OF FINAL PROJECT	i
APPROVAL SHEET	iii
ABSTRACT	v
ABSTRACT	vii
FOREWORD	ix
TABLE OF CONTENTS	xi
TABLE OF CONTENTS	xiii
TABLE OF FIGURES	xv
TABLES	xvii
BAB 1 PREFACE	1
1.1 Background	1
1.2 Problem	2
1.3 Limitation	2
1.4 Purpose	2
1.5 Methodology	3
1.6 Systematic Report	4
1.7 Relevance	5
BAB 2 BASIC THEORY	7
2.1 HF Radio Communication System	7
2.1.1 HF Radio Propagation Mode	9
2.1.2 Polarization	10
2.1.3 Maximum Usable Frequency and Lowest Usable Frequency	10
2.1.4 Skip Distance and Skip Zone	11
2.1.5 HF Radio Communication System with NVIS Technique	13
2.2 Binary Phase-Shift Keying (BPSK) Modulation	14
2.3 Software-Defined Radio (SDR)	16
2.4 Laboratory Visual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW)	18
2.5 Data Acquisition	18
2.6 Dipole Antenna	19
2.7 Open System Interconnection (OSI) Layer	22
2.8 Carrier Synchronization	24
2.8.1 Phase-Locked Loop (PLL)	25
2.8.2 Phase Detector (PD)	26
2.8.3 Loop Filter (LF)	26

2.8.4 Voltage-Controlled Oscillator (VCO)	26
BAB 3 SYSTEM DESIGN	29
3.1 System Design Flowchart	29
3.2 System Trials Criteria	29
3.2.1 Selection of System Trials Location	32
3.2.2 Selection of Working Frequency	32
3.2.3 Determination of Transmit Power	33
3.3 Hardware Preparation	33
3.3.1 USRP Device	34
3.3.2 Octoclock and GPS Antenna.....	36
3.3.3 HF Amplifier	37
3.3.4 Low Noise Amplifier (LNA)	37
3.3.5 Gigabit Ethernet	38
3.4 Hardware Design Scheme	39
3.5 Demodulator with Carrier Synchronization	40
BAB 4 SYSTEM MEASUREMENET AND ANALYSIS	43
4.1 Carrier Synchronization Program Design	43
4.2 Integration Design with Demodulator System	45
4.3 Implementation of Trial Carrier Synchronization System	46
4.3.1 Close Range Trial	50
4.3.2 Long-Distance Trial	53
4.4 Synthesis	55
BAB 5 CLOSING	59
5.1 Conclusion	59
5.2 Suggestion	59
REFERENCE	61
APPENDIX	63
BIOGRAPHY	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Metodologi Penelitian	4
Gambar 2.1 Propagasi Gelombang Radio HF	7
Gambar 2.2 Lapisan Ionosfer	8
Gambar 2.3 Mode Propagasi Gelombang HF Sederhana	9
Gambar 2.3 Mode Propagasi Gelombang HF Kompleks	10
Gambar 2.5 Daerah <i>Skip Zone</i>	12
Gambar 2.6 Sudut Elevasi Gelombang Radio HF Teknik NVIS	13
Gambar 2.7 Propagasi Sinyal dengan Teknik NVIS	14
Gambar 2.8 <i>BPSK Modulator</i> dan <i>Waveform</i>	15
Gambar 2.9 <i>BPSK Constellation</i>	16
Gambar 2.10 <i>BPSK Demodulator</i>	16
Gambar 2.11 Struktur Bagan USRP N210	17
Gambar 2.12 Tampilan Blok Diagram Pemrograman LabVIEW	18
Gambar 2.13 <i>Unbalance Transmission Line</i> Terhubung pada Antena Dipol	20
Gambar 2.14 <i>OSI Layer</i>	23
Gambar 2.15 <i>Multipath Effect</i> dan <i>Doppler Shift</i>	25
Gambar 2.16 Skema Dasar PLL	25
Gambar 2.17 Proses Kondisi <i>Steady State</i> Sistem PLL	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem	29
Gambar 3.2 Rancangan Model OSI pada Sistem Komunikasi Digital HF	30
Gambar 3.3 Rancangan Sistem Komunikasi Digital HF	31
Gambar 3.4 <i>Link</i> Pengujian Jarak Jauh	32
Gambar 3.5 USRP N210	34
Gambar 3.6 <i>Daughterboard LFTX</i>	35
Gambar 3.7 <i>Daughterboard LFRX</i>	36
Gambar 3.8 Perangkat <i>Octoclock</i> dan Antena GPS	36
Gambar 3.9 <i>Power Amplifier</i> HF	37
Gambar 3.10 LNA Tipe ZFL-1000	38
Gambar 3.11 Kabel <i>Gigabit Ethernet</i>	38
Gambar 3.12 Desain Sistem Perangkat pada Pemancar	39
Gambar 3.13 Desain Sistem Perangkat pada Penerima	39
Gambar 3.14 <i>BPSK Demodulator</i> dengan PLL	41
Gambar 4.1 Modul MT <i>Phase Locked Loop</i>	43
Gambar 4.2 Blok Diagram Modul PLL LabVIEW	44
Gambar 4.3 Integrasi Desain PLL dengan Sistem	45

Gambar 4.4 Tampilan Modul PLL pada Panel Penerimaan LabVIEW	46
Gambar 4.5 Pengecekan Kanal Melalui Rig HF <i>Transceiver</i>	47
Gambar 4.6 Tampilan Konfigurasi Pemancar pada Panel LabVIEW	48
Gambar 4.7 Konfigurasi Perangkat Pemancar	49
Gambar 4.8 Konfigurasi Perangkat Penerima	49
Gambar 4.9 Lokasi Antena Pemancar dan Penerima Jarak Dekat	50
Gambar 4.10 Keluaran Daya Pemancar	51
Gambar 4.11 Hasil Sinyal Terima pada Domain Frekuensi	51
Gambar 4.12 Hasil <i>Carrier Recovery</i> Uji Coba Jarak Dekat	52
Gambar 4.13 Lokasi Antena Penerima Uji Coba Jarak Jauh	54
Gambar 4.14 Konfigurasi Perangkat Penerima Uji Coba Jarak Jauh	54
Gambar 4.15 Tampilan Penerima LabVIEW Saat Tidak Berhasil Melakukan Komunikasi	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian frekuensi untuk <i>daughterboard</i>	17
Tabel 3.1 Batas penggunaan daya pancar	33
Tabel 3.2 Daftar perangkat keras untuk uji coba sistem	34
Tabel 4.1 Hasil uji coba sistem PLL jarak dekat	53

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi *High Frequency* (HF) menggunakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3 – 30 MHz. Sistem komunikasi ini telah dikembangkan sejak tahun 1950 dan dapat berpropagasi melalui *skywave path* dengan memanfaatkan lapisan ionosfer [1]. Di samping sebagai solusi alternatif yang lebih murah dibanding sistem komunikasi satelit yang mahal, sistem komunikasi HF memiliki kemampuan untuk mengakses daerah terpencil atau pulau - pulau yang sulit dijangkau oleh sistem komunikasi menggunakan kabel [2]. Selain mencakup daerah yang susah dijangkau, sistem *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) dapat memantulkan sinyal dari lapisan ionosfer hingga berjarak ± 300 km dari pemancar [3].

Dalam sebuah komunikasi jarak jauh, kinerja sistem akan berkurang dengan berbagai parameter, seperti adanya *noise* yang mengganggu, panjang lintasan propagasi, variasi kanal terhadap waktu, dan *multipath effect* [4]. Hal ini menyebabkan terjadinya kesalahan pendeteksian gelombang pembawa seperti pergeseran atau perubahan informasi pada sisi penerima. Penerima koheren memerlukan sinkronisasi untuk sinyal yang diterima, agar mencapai karakteristik demodulasi yang lebih baik dari penerima yang tidak koheren [5].

Software-Defined Radio (SDR) merupakan perangkat komunikasi radio yang memungkinkan untuk pembuatan prototipe, pengujian, dan pengembangan modul *Radio Frequency* (RF). Dengan melakukan konfigurasi *Field Programmable Gate Array* (FPGA), beberapa parameter untuk proses *baseband* dapat diubah - ubah, seperti *central frequency*, *channel bandwidth*, *synchronization*, dan lain - lain [6].

Sinkronisasi gelombang pembawa yang bekerja pada proses *baseband*, dirancang melalui perangkat lunak yang terhubung dengan SDR. Sinkronisasi gelombang pembawa bertujuan agar perubahan frekuensi dan fasa saat proses transmisi dapat dikompensasi pada sisi penerima. Pergeseran frekuensi dan fasa dapat dikompensasi menggunakan *Phase-Locked Loop* (PLL) sebagai pusat dari sinkronisasi gelombang pembawa [7].

Berdasarkan uraian tersebut, maka perancangan desain pada sistem komunikasi menjadi bagian penting untuk dipertimbangkan

sebelum melakukan uji coba sistem dan evaluasi tahap lanjut. Desain sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi HF ini diimplementasikan dengan dua tahap, tahap pertama merupakan uji coba jarak dekat, sedangkan tahap kedua merupakan uji coba jarak jauh, yaitu pada link Surabaya - Malang. Penelitian ini menggunakan perangkat SDR berupa *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) dan perangkat lunak LabVIEW.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana rancangan proses sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi HF?
2. Bagaimana menerapkan proses sinkronisasi tersebut pada sistem komunikasi HF berbasis USRP?
3. Bagaimana kinerja sistem komunikasi yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam memahami tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian yang dilakukan adalah sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi digital jarak dekat dengan pemancar dan penerima ± 35 meter, kemudian dengan komunikasi jarak jauh antara Surabaya - Malang.
2. Menggunakan gelombang radio HF pada frekuensi sekitar 7 MHz.
3. Data yang dikirim dari sisi pemancar merupakan sinyal yang membawa teks dengan modulasi BPSK.
4. Sistem ini direalisasikan dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW 14.
5. Sistem komunikasi yang diimplementasikan terdiri dari 1 buah antena pemancar dan 1 buah antena penerima.
6. Perangkat keras untuk SDR yang digunakan adalah perangkat USRP tipe N210 untuk pemancar maupun penerima.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang proses sinkronisasi pada sisi penerima dalam sebuah sistem komunikasi digital HF.

2. Mengetahui penerapan rancangan desain sinkronisasi pada perangkat lunak LabVIEW 14 untuk perangkat USRP N210.
3. Mengetahui kinerja yang dihasilkan oleh desain sinkronisasi gelombang pembawa terhadap sistem komunikasi HF.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap pertama merupakan tahap pengumpulan informasi untuk menjadi bahan referensi dalam penelitian ini. Bahan referensi dapat berupa jurnal maupun penelitian lain yang berhubungan erat dengan gelombang radio HF, sinkronisasi gelombang pembawa, desain sistem komunikasi digital, dan perancangan desain sistem untuk sinkronisasi gelombang pembawa.

2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini akan dilakukan desain PLL untuk sinkronisasi gelombang pembawa pada sistem komunikasi digital.

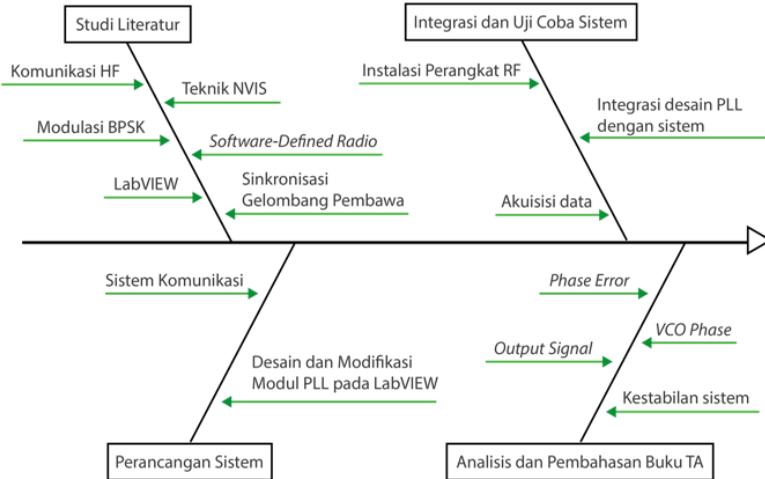
3. Integrasi dan Uji Coba Sistem.

Dalam tahap ini, desain sistem PLL akan diintegrasikan pada sistem komunikasi digital dalam perangkat lunak LabVIEW 14. Setelah diintegrasikan, sistem akan diuji coba dengan melakukan komunikasi dengan dua tahap. Tahap yang pertama yaitu uji coba sistem komunikasi jarak dekat dengan pemancar dan penerima berjarak tidak lebih dari 20 meter. Tahap yang kedua yaitu uji coba sistem komunikasi jarak jauh dengan pemancar dan penerima yang berjarak lebih dari 70 km untuk mengetahui komunikasi HF menggunakan teknik NVIS. Parameter yang akan dievaluasi dari proses implementasi ini adalah sinyal gelombang pembawa yang diterima akan diolah oleh PLL agar menghasilkan beberapa data, yaitu *phase error*, *VCO phase*, *output signal*, dan kestabilan dari sistem.

4. Penyusunan Buku Tugas Akhir

Tahap terakhir pada penelitian ini adalah melakukan analisa dan membuat kesimpulan terhadap uji coba sistem sinkronisasi gelombang pembawa pada sistem komunikasi

HF digital. Hasil analisa dan kesimpulan kemudian disusun menjadi sebuah buku tugas akhir.



Gambar 1.1 Metodologi Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mengawali dengan memberikan gambaran pada permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini, yang mencakup latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan, serta relevansinya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Setelah diawali dengan memberikan gambaran permasalahan pada penelitian ini, bab kedua berisikan tentang tinjauan pustaka mengenai gelombang radio HF, sistem komunikasi digital, sinkronisasi gelombang pembawa, dan instrumen dan perangkat terkait.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Dalam bab ini membahas mengenai perancangan PLL untuk desain sinkronisasi gelombang pembawa dalam sistem komunikasi digital pada sisi penerima.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas mengenai pengujian desain sistem PLL pada LabVIEW menggunakan perangkat keras USRP N210 di sisi penerima.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan berbagai proses yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

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

1. Institusi Pendidikan dan Lembaga Penelitian

Perancangan desain PLL untuk sinkronisasi gelombang pembawa dalam sistem komunikasi digital ini, diharapkan dapat membantu pengembangan penelitian untuk sistem komunikasi digital di kemudian hari.

2. Bagi Masyarakat

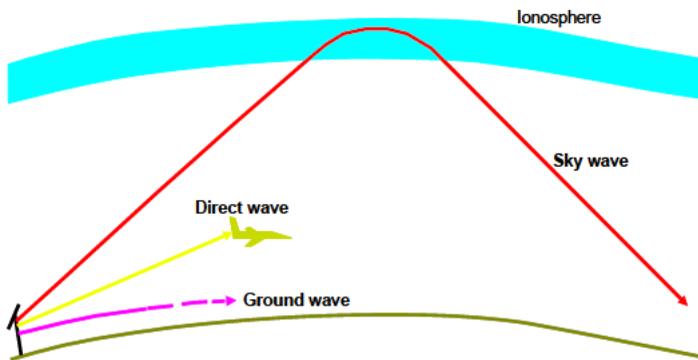
Penggunaan sistem komunikasi HF NVIS ini berguna untuk komunikasi darurat ketika terjadi bencana alam. Dimana sistem komunikasi seperti seluler, satelit, microwave, dan *fiber optic* tidak mampu lagi untuk menangani komunikasi saat terjadi bencana alam.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Radio HF

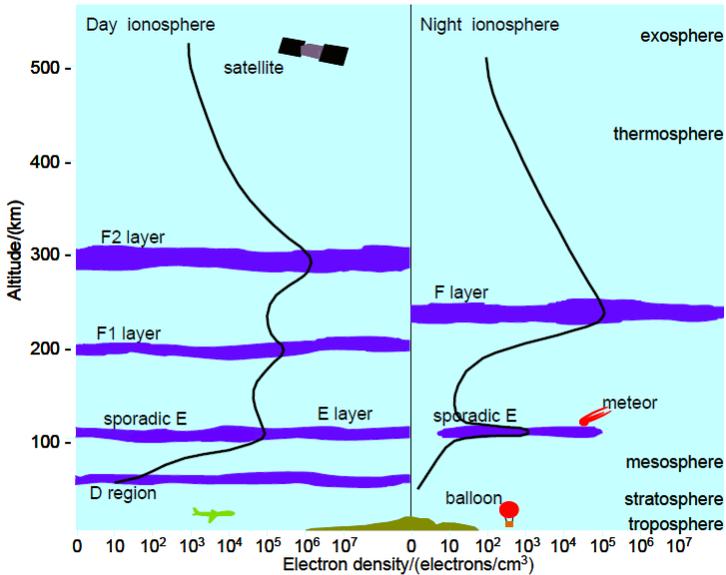
Transmisi sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain yang tanpa menggunakan kabel, membutuhkan media transmisi berupa gelombang radio. Gelombang radio dapat dikirimkan dengan frekuensi yang diklasifikasi dari spektrum frekuensi 3 kHz – 300 GHz, walaupun sebenarnya gelombang radio masih memungkinkan bekerja pada frekuensi dibawah 3 kHz.



Gambar 2.1 Propagasi Gelombang Radio HF [8]

Komunikasi radio HF bekerja pada frekuensi 3-30 MHz dan perambatannya dapat memanfaatkan dua buah lintasan propagasi, yaitu *groundwave* dan *skywave*. Akan tetapi, pancaran sinyal melalui lintasan *groundwave* akan terhenti seiring dengan bentuk permukaan bumi yang melengkung seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Lintasan *groundwave* ini hanya bisa dirasakan untuk komunikasi jarak dekat atau hanya beberapa kilometer saja. Sedangkan *skywave* dapat diandalkan untuk sistem komunikasi HF jarak jauh. Lintasan *skywave* menggunakan gelombang yang dipantulkan oleh kumpulan partikel-partikel yang terionisasi di lapisan ionosfer. Gelombang yang diterima berfluktuasi sebanding dengan kondisi partikel yang ada di lapisan. Kondisi yang baik

memungkinkan gelombang yang dikirimkan dapat dipantulkan kembali ke bumi pada jarak tertentu dengan kondisi gelombang yang tidak tembus ke luar angkasa.



Gambar 2.2 Lapisan Ionosfer [8]

Lapisan ionosfer adalah lapisan yang berada pada ketinggian 50-500 km dari permukaan bumi. Lapisan ini dipengaruhi oleh radiasi matahari yang menyebabkan terjadinya pemisahan elektron bebas di atmosfer, sehingga struktur ionosfer akan berubah secara terus menerus sesuai dengan perubahan waktu. Proses yang terjadi di ionosfer adalah saat atom netral mengeluarkan elektron yang bermuatan negatif meninggalkan ion bermuatan positif. Elektron yang bebas di ionosfer menyebabkan gelombang radio HF dibiaskan dan akhirnya dipantulkan ke bumi. Semakin besar densitas elektron, maka semakin besar peluang gelombang tersebut dipantulkan.

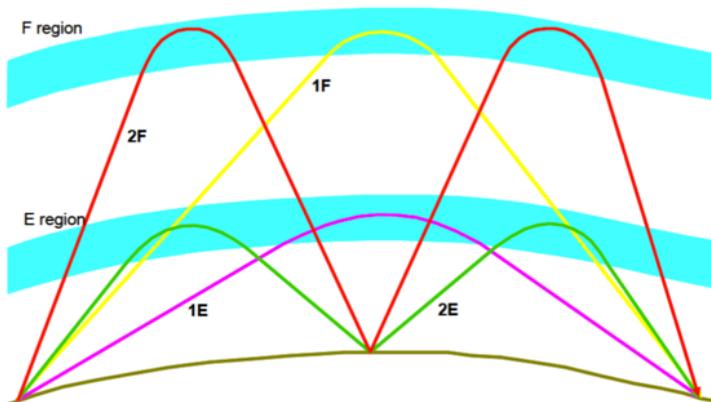
Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan D, E, dan F. Pada siang hari, lapisan F terbagi

menjadi dua, yakni lapisan F1 dan F2. Hal ini terjadi karena radiasi matahari akan mencapai nilai maksimum saat siang hari dan nilai minimum pada malam hari, sehingga pada malam hari lapisan ini akan menjadi satu, yaitu lapisan F. Hal itu dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio HF. Posisi matahari berubah-ubah terhadap titik-titik tertentu di bumi, dimana perubahan itu bisa terjadi harian, bulanan, dan tahunan, maka karakteristik yang pasti dari lapisan-lapisan tersebut sulit ditentukan [8]

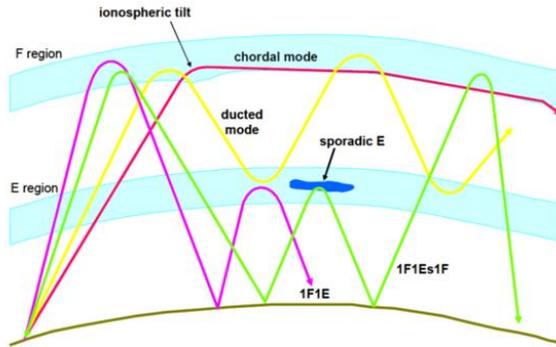
2.1.1 Mode Propagasi Radio HF

Mode propagasi merupakan jalur atau lintasan yang dilalui oleh gelombang radio HF untuk dapat berpropagasi dari antenna pemancar ke antenna penerima. Lintasan ini memiliki banyak variasi bentuknya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, yang mana tiap gelombang radio yang keluar dari sebuah pemancar akan mengambil dan menempati salah satu bentuk lintasan untuk dapat berpropagasi.

Mode propagasi yang memiliki nomor hop paling sedikit, disebut dengan *first order mode*. Sedangkan mode yang membutuhkan hop tambahan biasa, disebut dengan *second order mode*, dan seterusnya [9].



Gambar 2.3 Mode Propagasi Gelombang HF Sederhana [8]



Gambar 2.4 Mode Propagasi Gelombang HF Kompleks [8]

Pada Gambar 2.3 menunjukkan contoh mode propagasi yang sinyalnya melewati lintasan secara satu demi satu lapisan ionosfer atau dapat dikatakan tidak menggunakan kombinasi penggunaan lapisan ionosfer. Sedangkan pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa lintasan yang dilalui oleh gelombang radio HF merupakan kombinasi dari beberapa lapisan ionosfer, yaitu lapisan E, lapisan *sporadic*, dan lapisan F.

2.1.2 Polarisasi

Pada sistem komunikasi HF, terdapat dua buah macam polarisasi antena yang sering digunakan, yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal. Polarisasi vertikal untuk antena vertikal monopol, memiliki medan listrik yang tegak lurus dengan bidang ekuator, sedangkan polarisasi horizontal untuk antena horizontal dipol, memiliki medan listrik yang sejajar dengan bidang ekuator.

Pada lapisan ionosfer, pemantulan gelombang terbagi menjadi dua buah gelombang karakteristik. Kedua gelombang tersebut adalah *ordinary wave* dan *extraordinary waves* yang berpolarisasi secara elips atau *elliptically polarized*.

2.1.3 *Maximum Usable Frequency* dan *Lowest Usable Frequency*

Maximum Usable Frequency (MUF) merupakan frekuensi tertinggi antara dua buah stasiun radio pemancar dan penerima yang

digunakan agar gelombang radio dapat dipantulkan ke lapisan ionosfer. Besar nilai MUF bergantung pada frekuensi kritis dan sudut kedatangan antena yang akan digunakan. Persamaan (2.1) digunakan untuk menghitung nilai MUF [1].

$$\text{MUF} = \frac{f_c}{\cos(i)} \quad (2.1)$$

Dimana:

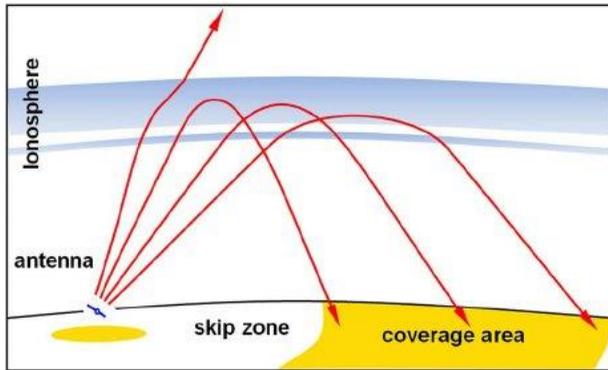
f_c = *frequency critical*

i = *angle of incidence*

Lowest Usable Frequency (LUF) juga dipengaruhi oleh lapisan ionosfer, khususnya oleh penyerapan sinyal *suffer* karena *invers* lapisan D. Penyerapan sinyal yang bergantung pada *invers* dari frekuensi, sehingga frekuensi akan turun, juga menyebabkan meningkatnya penyerapan yang menyebabkan daya sinyal penerima menjadi lemah. Efek propagasi ini sangat tidak efisien, dapat cenderung bersifat memperburuk sinyal di penerima. Karena LUF sangat tergantung secara signifikan dengan jumlah penyerapan sinyal *suffer*. Dengan kata lain, nilai LUF tertinggi terdapat pada siang hari di musim panas, dan pada saat matahari bersinar maksimum.

2.1.4 *Skip Distance dan Skip Zone*

Perambatan propagasi pada gelombang HF dapat memanfaatkan 2 buah lintasan untuk dapat berpropagasi, yaitu *groundwave* dan *skywave*. Akan tetapi, pancaran sinyal melalui lintasan *groundwave* akan terhenti seiring dengan bentuk permukaan bumi yang melengkung. Sehingga, pemanfaatannya hanya bisa dirasakan untuk gelombang yang berpropagasi dengan jarak yang sangat pendek atau hanya beberapa kilometer saja. Sedangkan lintasan *skywave* dapat diandalkan untuk sistem komunikasi HF jarak jauh.



Gambar 2.5 Daerah *Skip Zone* [10]

Skip Zone merupakan istilah yang sering didengar dalam sistem komunikasi radio HF. Istilah ini muncul karena adanya daerah yang tidak mendapatkan sinyal dari pemancar komunikasi HF yang dipantulkan melalui lapisan ionosfer, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. *Skip zone* terjadi ketika frekuensi yang digunakan dalam pengoperasian lebih besar daripada frekuensi kritis. Besaran *skip zone* dari suatu pemancar akan bergantung dari nilai frekuensi yang digunakan dan nilai frekuensi kritis pada lapisan ionosfer yang terjadi pemantulan [1]. Komunikasi yang terjadi pada daerah *skip zone* masih dapat diatasi menggunakan propagasi *groundwave*, namun jangkauannya terbatas pada jarak 50-100 Km.

Penentuan besar *skip zone* dapat dilakukan dengan cara menggunakan rumus pendekatan jarak rambat terdekat (jrd) . Jarak terdekat dapat dihitung jika diketahui besar nilai dari frekuensi yang digunakan (f_o), frekuensi kritis (f_c) dan besar ketinggian lapisan ionosfer (h').

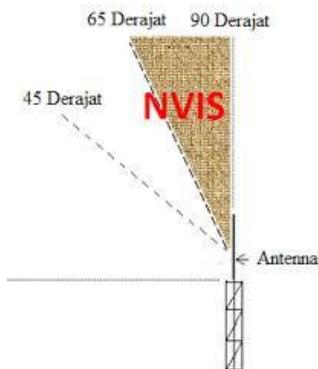
$$jrd = 2h' \frac{\sqrt{f_o^2 - f_c^2}}{f_c} \quad (2.2)$$

Sehingga, jika frekuensi gelombang radio (f_o) lebih besar dari (f_c) maka gelombang radio tersebut memiliki jarak rambat terdekat. Sebaliknya, jika frekuensi gelombang radio lebih kecil atau sama dengan

fc, maka berdasarkan persamaan (2.1), akan didapatkan besar nilai jrd adalah imajiner atau 0, artinya tidak memiliki nilai jrd. Di mana daerah di sekitar pemancar dengan radius sampai jrd inilah yang disebut dengan *skip zone* karena gelombang radio dengan frekuensi tersebut tidak dapat dipantulkan ke lapisan ionosfer. Daerah *skip zone* juga dapat berubah-ubah tergantung pada ketinggian lapisan ionosfer. Sehingga, semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin besar juga jrd atau daerah *skip zone*-nya.

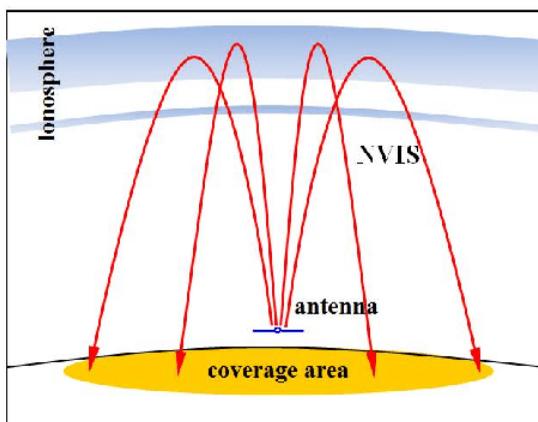
2.1.5 Sistem Komunikasi Radio HF dengan Teknik NVIS

Sistem komunikasi radio HF dengan teknik *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) merupakan sistem komunikasi dengan teknik pemancaran gelombang radio HF hampir tegak lurus ke atas dengan sudut elevasi 65° sampai dengan 90° , seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 [2]. Dengan adanya sudut elevasi antena yang hampir tegak lurus, maka teknik NVIS dapat diimplementasikan dalam sistem radio HF untuk mengatasi dan menangani efek *skip zone*. Keberhasilan dalam mengimplementasikan sistem radio NVIS ini dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu sudut elevasi, pemilihan frekuensi, dan besar keluaran daya pada sisi pemancar.



Gambar 2.6 Sudut Elevasi Gelombang Radio HF Teknik NVIS [2]

Pada umumnya, penggunaan teknik NVIS pada lingkungan radio amatir ini biasanya menggunakan dua buah pita frekuensi, 7 MHz yang digunakan pada siang hari, dan 3,5 MHz yang digunakan pada malam hari [9]. Propagasi sinyal radio HF dengan teknik NVIS dapat mencakup daerah hingga ± 300 Km, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Propagasi Sinyal dengan Teknik NVIS [10]

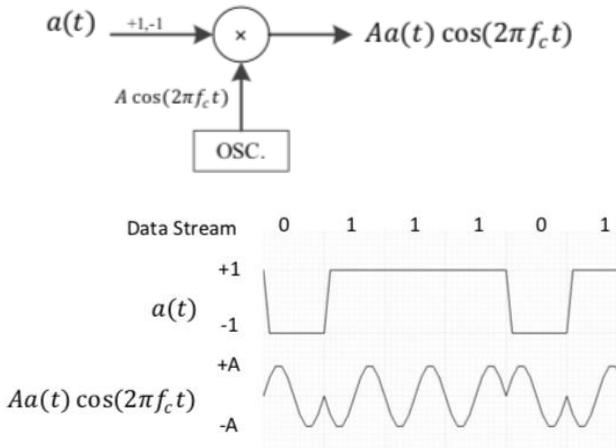
Adapun beberapa kelebihan dari sistem radio HF dengan menggunakan teknik NVIS ialah sebagai berikut:

- Daratan rendah atau lembah tidak menjadi masalah bagi propagasi dengan teknik NVIS.
- Tidak membutuhkan infrastruktur seperti *repeater* karena dua buah stasiun yang menggunakan teknik NVIS sudah dapat membangun sistem komunikasi yang handal tanpa dukungan dari pihak ketiga.
- Propagasi murni NVIS relatif bebas terhadap *fading*.
- Teknik NVIS dapat mengurangi noise dan interferensi, sehingga dapat meningkatkan besar *Signal-to-Noise Ratio* (SNR).

2.2 Modulasi *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK)

Phase-Shift Keying (PSK) merupakan salah satu teknik modulasi digital yang paling efisien dan secara luas digunakan di dalam sistem komunikasi modern seperti *satellite links* dan *wideband microwave radio relay systems* [11]. Contoh penggunaan PSK berdasarkan penggunaan jumlah pergeseran fasanya adalah BPSK dan *Quadrature Phase-Shift Keying* (QPSK).

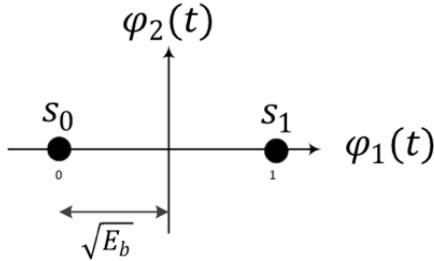
Pada sistem modulasi BPSK, sinyal termulasi merupakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan amplitudo tetap dalam fasanya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8. Jika informasi adalah 0 bit, maka sinyal modulasi akan tetap dalam fasanya, begitu juga sebaliknya. Apabila informasi adalah 1 bit, maka sinyal modulasi akan membalik fasanya sebesar 180° .



Gambar 2.8 BPSK Modulator dan Waveform [11]

BPSK memiliki dua sinyal yang dipilih $S_1(t)$ dan $S_2(t)$ dalam persamaan 2.1 merepresentasikan 1 simbol digital. Kedua sinyal ini berada dalam frekuensi yang sama dan membawa jumlah energi yang sama walaupun memiliki koefisien korelasi sebesar -1 .

$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos(2\pi f_c t), \text{ Simbol} = 1 \\ S_2(t) &= -A \cos(2\pi f_c t), \text{ Simbol} = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$



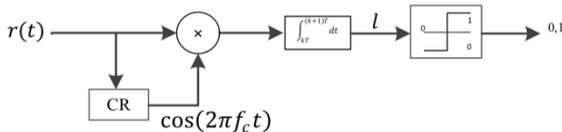
Gambar 2.9 BPSK Constellation [11]

Pada Gambar 2.9 menunjukkan kombinasi linear dari fungsi basis orthonormal $\varphi_1(t)$ dan $\varphi_2(t)$ seperti pada persamaan 2.2. Dalam persamaan ini, $S_1(t)$ dan $S_2(t)$ mewakili sinyal yang memiliki *energy of bit* E_b yang diberikan pada persamaan 2.3 [11].

$$\varphi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \varphi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2.4)$$

$$E_b = \frac{A^2 T_b}{2} \quad (2.5)$$

Untuk menghasilkan sistem demodulator BPSK yang koheren, sinyal referensi harus disinkronkan dengan frekuensi dan fasa dari sinyal yang diterima $r(t)$. Dalam penerapannya, *carrier recovery block* bekerja menghasilkan sinyal referensi seperti pada Gambar 2.10 berikut.



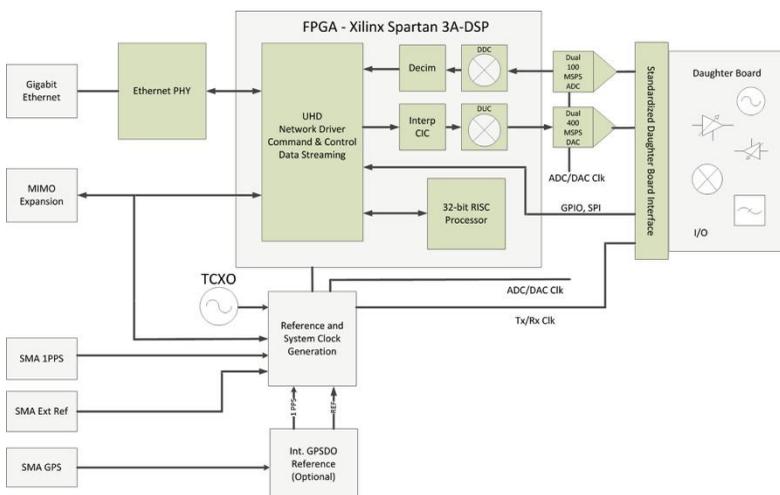
Gambar 2.10 BPSK Demodulator [11]

2.3 Software-Defined Radio (SDR)

SDR merupakan perangkat komunikasi radio yang dapat diatur melalui program dengan menggunakan perangkat lunak. Beberapa fungsi modul yang dapat diatur antara lain, pemilihan frekuensi, modulasi, dan beberapa parameter-parameter lainnya. Salah satu contoh dari SDR yang

digunakan untuk penelitian adalah perangkat *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*.

USRP merupakan suatu perangkat SDR yang diproduksi oleh salah satu perusahaan di Amerika yang fokus pada bidang perangkat instrumentasi, yaitu *National Instruments (NI)*. USRP terdiri dari *motherboard* dan *daughterboard* yang memiliki kegunaan yang berbeda. Untuk diagram blok yang sederhana dari USRP, dapat dilihat pada Gambar 2.11. Sebagai contoh, untuk pemilihan perangkat berdasarkan frekuensi, USRP memiliki beberapa *daughterboard* untuk penggunaannya seperti pada tabel 2.1.



Gambar 2.11 Struktur Bagan USRP N210 [12]

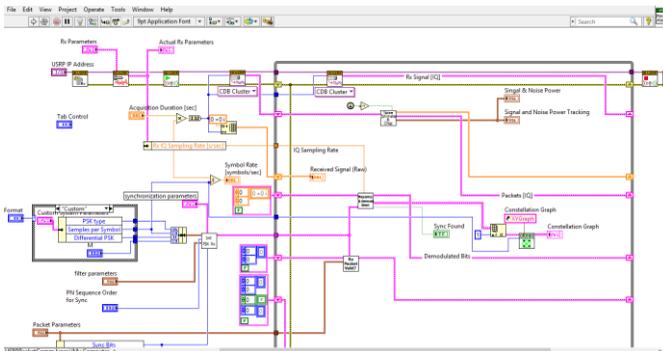
Tabel 2.1 Pembagian frekuensi untuk *daughterboard*

<i>Daughterboard</i>	<i>Frequency Coverage</i>
WBX-120	50 MHz - 2.2 GHz
SBX-120	400 MHz - 4.4 GHz
CBX-120	1.2 GHz - 6 GHz
UBX-120	10 MHz - 6 GHz
WBX	50 MHz - 2.2 GHz
SBX	400 MHz - 4.4 GHz
CBX	1.2 GHz - 6 GHz
UBX-40	10 MHz - 6 GHz

TVRX2	50 MHz - 860 MHz
DSBRX2	800 MHz - 2.3 GHz
BasicRX / BasicTX	1 - 250 MHz
LFRX / LFTX	DC - 30 MHz

2.4 Laboratory Visual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW)

Selain USRP, LabVIEW juga merupakan salah satu produk dalam bentuk perangkat lunak yang diproduksi oleh *National Instruments* (NI). LabVIEW adalah sebuah *graphical programming environment* yang digunakan untuk aplikasi pengujian, pengukuran, otomasi, dan lain-lain. Berbeda dengan bahasa pemrograman lainnya, seperti C++, LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafik atau blok diagram yang terbuka dan fleksibel, sehingga perangkat lunak ini dapat memprogram alat seperti SDR. Untuk tampilan dari lahan blok diagram dari LabVIEW, dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Tampilan Blok Diagram Pemrograman LabVIEW

2.5 Akuisisi Data

Sistem akuisisi data atau yang dikenal dengan sebutan *Data-Acquisition System* (DAS) merupakan sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersama-sama bertujuan untuk mengukur, menyimpan, serta mengolah hasil dari pengukuran. DAS merupakan *interface* antara sinyal analog dengan sinyal digital.

DAS dan proses *Digital to Analog Converter* (DAC) terdapat pada perangkat USRP.

Proses dan kendali akuisisi data ini, dibantu dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Dalam pemrograman menggunakan LabVIEW, terdapat *Virtual Instrument* (VI) yang berisikan program yang berbasis grafis atau blok diagram, yang mana tampilan dan operasinya dapat meniru sebuah instrumen tertentu. VI ini terdiri dari *panel* dan *diagram*. *Panel* berisikan tampilan *Graphical User Interface* (GUI) yang memudahkan pengguna dalam mengisikan parameter-parameter atau masukan dalam pemrograman. Sedangkan *Diagram*, berisikan *terminals*, *subVIs*, *functions*, *constants*, *structures*, dan *wires*, yang dapat melakukan proses transfer pengolahan data dari diagram satu ke diagram lainnya.

2.6 Antena Dipol

Antena adalah perangkat yang berfungsi untuk memindahkan energi gelombang elektromagnetik dari media kabel ke media udara atau sebaliknya, dari media udara menuju ke media kabel. Karena merupakan perangkat perantara antara media kabel dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan media kabel pencatunya. Prinsip ini telah diterangkan dalam saluran transmisi.

Sebuah antena dikatakan baik apabila mampu memancarkan gelombang elektromagnetik yang diterima dari generator ke ruang bebas dengan efisiensi yang tinggi, dan dapat mengarahkan sebagian besar daya radiasinya ke arah yang diinginkan dan menekan radiasi ke arah yang lain.

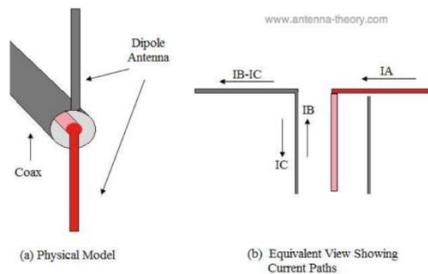
Pancaran gelombang dengan efisiensi yang tinggi, mampu dicapai apabila sebuah antena memiliki tingkat penyesuaian yang baik antara saluran transmisi dan ruang bebas, atau secara lebih spesifik jika impedansi saluran transmisi sistem *transceiver* "*matched*" dengan impedansi radiasi antena tersebut. Dalam hal ini, antena disebut sebagai *matching device*, yang merupakan fungsi yang pertama dari sebuah antena. Sedangkan fungsi antena yang lain adalah sebagai *directional device*, yaitu mengarahkan atau mengkonsentrasikan daya

elektromagnetik ke arah yang diinginkan dan menekan radiasi ke arah lainnya [9].

Antena dipol merupakan antenna yang memiliki panjang antenna yaitu sebesar setengah lamda, sedangkan antenna monopol memiliki panjang antenna sebesar seperempat lamda. Antena monopol terdiri dari batang lurus berbentuk konduktor, sering dipasang tegak lurus di atas beberapa jenis konduktif di permukaan, yang disebut dengan *groundplane*. Antena monopol sebenarnya merupakan antenna dipol ($\lambda/2$), yang mana salah satu monopolnya ($\lambda/4$) diubah menjadi *groundplane*. Pada *groundplane* tidak ada daya yang diradiasikan, sehingga direktivitas antenna monopol adalah 2 kali dari direktivitas antenna dipol.

Antena dipol memiliki impedansi sebesar $(73+j42,5)\ \Omega$ sedangkan *feeder* yang digunakan pada kabel koaksial memiliki impedansi sebesar $50\ \Omega$. Dengan ini, antenna dipol perlu menggunakan balun (*balance to unbalance*) agar impedansi antara antenna dipol dan *feeder* kabel koaksial dapat disamakan, teknik ini disebut dengan *matching impedance*.

Antena dipol dapat bekerja dengan baik apabila kedua lengan atau kawat antenna dicatu dengan arus yang sama. Apabila antenna dipol langsung terhubung dengan kabel koaksial, akan mengakibatkan arus pada kawat kanan tidak sama dengan kawat kiri dari antenna, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.13 *Unbalance Transmission Line* Terhubung pada Antena Dipol [9]

Arus pada pusat konduktor (pusat inti merah / merah muda dari koaksial, diberi label IA) tidak memiliki tempat lain untuk dilalui, jadi kabel ini harus mengalir sepanjang lengan dipol yang terhubung dengannya. Namun, arus yang berjalan di sepanjang sisi dalam konduktor luar (IB) memiliki dua pilihan: kabel dapat melakukan perjalanan menyusuri antena dipol, atau menurun ke sisi luar dari konduktor luar kabel koaksial (IC). Idealnya, arus (IC) saat ini harus bernilai nol. Dalam hal ini, arus sepanjang lengan dipol yang terhubung ke konduktor luar akan sama dengan arus pada lengan dipol lainnya ini merupakan karakteristik antena yang diinginkan. Karena dipol menginginkan arus yang sama atau seimbang di sepanjang lengannya, sehingga antena bersifat *balance*. Namun, berbeda dengan karakteristik pada kabel koaksial, yang mana beberapa arus dapat berjalan di bagian luar atau *outer* koaksial, yang menyebabkan kondisi *unbalance*. Solusi untuk masalah ini adalah menggunakan *balun* yang berfungsi untuk memaksa jalur transmisi yang *unbalance* pada komponen *balance*.

Suatu antena dapat dikatakan baik apabila memiliki parameter antena, seperti VSWR yang bernilai kurang dari 2. VSWR adalah perbandingan antara amplitud gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_o^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_o^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ), yaitu [13]:

$$\Gamma_L = \frac{e_1^+ - Z_1 - Z_m}{e_1^- - Z_1 + Z_m} \quad (2.6)$$

Dengan:

$$\begin{array}{ll} e^-_L = \text{tegangan pantul} & Z_L = \text{impedansi beban} \\ e^+_L = \text{tegangan datang} & Z_{in} = \text{impedansi input} \end{array}$$

Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner, maka:

- a. $\Gamma = -1$; refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat
- b. $\Gamma = 0$; tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.
- c. $\Gamma = +1$; refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Sedangkan VSWR, dinyatakan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.7)$$

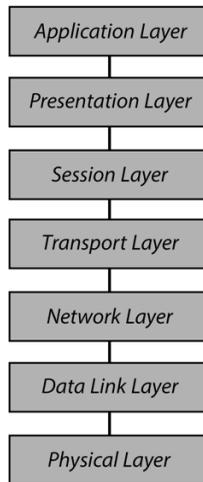
Dalam prakteknya, VSWR harus bernilai lebih kecil dari 2 (dua).

2.7 *Open System Interconnection (OSI) Layer*

Komunikasi data merupakan sebuah hubungan atau interaksi antar pengirim dan penerima yang terhubung dalam jaringan, baik dalam jangkauan sempit maupun dengan jangkauan yang lebih luas melalui media transmisi seperti kabel maupun udara. Agar dapat terjadinya sebuah komunikasi, perangkat yang terdiri dari kombinasi *hardware* dan *software* harus terhubung sehingga mampu berkomunikasi. Seiring perkembangan zaman, vendor dan developer memiliki sebuah protokol atau aturan pada jaringan mereka masing-masing yang menyebabkan sebuah perbedaan protokol di tiap jaringan. Hal ini menyebabkan sebuah komunikasi antar perangkat dengan vendor dan developer yang berbeda tidaklah mudah.

Pada tahun 1983, *International Standards Organization (ISO)* yang merupakan badan standarisasi internasional, mengembangkan sebuah model jaringan disebut *Open System Interconnection (OSI)* yang mendefinisikan kerangka kerja komunikasi komputer. Dengan adanya model referensi OSI ini, terbentuknya sebuah protokol atau kerangka logika terstruktur yang dapat memproses komunikasi data antar perangkat satu dengan lainnya dalam satu jaringan. Sehingga, terciptanya sebuah keragaman aturan komunikasi antar perangkat. OSI memiliki 7 lapisan

dengan fungsi yang berbeda di tiap tingkatannya, sehingga tiap tingkatan lapisannya memiliki tanggung jawab yang berbeda untuk tingkatan selanjutnya. Pada Gambar 2.13 merupakan model 7 lapisan OSI, berikut merupakan penjelasan dari masing-masing lapisan pada OSI [14].



Gambar 2.14 OSI Layer

A. *Physical Layer*

Merupakan level terendah dari model OSI atau lapisan pertama. Bertanggung jawab untuk mentransmisikan data dari *physical layer* perangkat pengirim, atau sumber, menuju ke *physical layer* dari perangkat penerima menggunakan jenis sinyal yang didukung oleh media fisik, seperti tegangan listrik, kabel, frekuensi radio.

B. *Data Link Layer*

Lapisan kedua ini berfungsi untuk menentukan bagaimana bit-bit data dikelompokkan menjadi format yang disebut sebagai *frame*. Pada lapisan ini, terjadi koreksi kesalahan, *flow control*, dan menentukan pengalamatan perangkat keras seperti *Media Access Controll (MAC) Address*.

C. *Network Layer*

Network Layer bertanggung jawab untuk menetapkan jalur atau melakukan pengalamatan (*routing*) yang akan digunakan untuk melakukan transfer data. Lapisan ini menyediakan *logical addressing* seperti *IP Address*.

D. *Transport Layer*

Transport Layer berfungsi untuk memecah data ke dalam paket-paket data, agar paket tersebut dapat disusun kembali pada sisi penerima. Selain itu, lapisan ini juga memberikan sebuah tanda apabila paket diterima dengan sukses (*acknowledgement*).

E. *Session Layer*

Session Layer bertanggung jawab untuk mengendalikan sesi koneksi dialog, seperti menetapkan, mengelola, dan memutuskan koneksi antar perangkat.

F. *Presentation Layer*

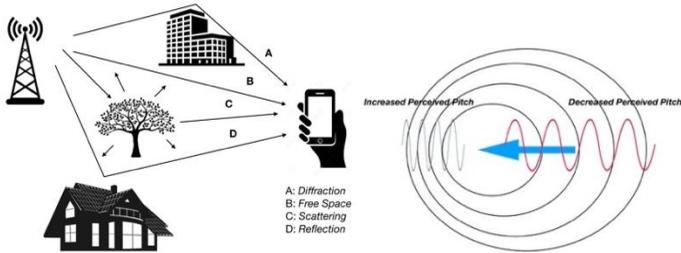
Presentation layer melakukan sebuah proses enkripsi atau dekripsi informasi dari data. Lapisan ini bertujuan untuk mendefinisikan format data, seperti teks ASCII, *jpeg*, dan lain-lain.

G. *Application Layer*

Merupakan lapisan paling atas dari model OSI, bertanggung jawab untuk menyediakan sebuah *interface* antara protokol jaringan dengan aplikasi yang ada pada komputer.

2.8 Sinkronisasi Gelombang Pembawa

Selama proses transmisi, sinyal melintas melalui jalur yang berbeda. Peristiwa ini terjadi karena mekanisme propagasi gelombang radio, seperti refleksi maupun difraksi yang disebut sebagai *multipath effect* [4]. Hal ini mengakibatkan adanya perubahan fasa yang dapat menyebabkan perubahan pendeteksian pada sisi penerima. Selain *multipath effect*, fenomena lain juga dapat menyebabkan pergeseran pendeteksian frekuensi pada sisi penerima, fenomena ini disebut dengan *Doppler frequency shift* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 [15]. Fenomena ini terjadi, salah satunya karena sistem komunikasi HF memanfaatkan lapisan ionosfer untuk propagasinya, di mana elektron pada lapisan ionosfer selalu berubah tiap waktunya [1]. Perubahan frekuensi dan fasa ini dapat dikompensasi dengan adanya sinkronisasi gelombang pembawa.

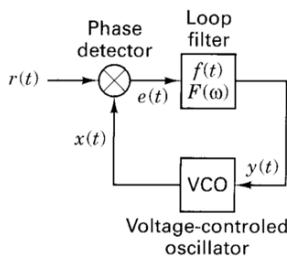


Gambar 2.15 Multipath Effect dan Doppler Shift

Dalam sistem komunikasi, khususnya untuk penerima *coherent*, sinkronisasi sangat dibutuhkan. Sinkronisasi terdiri menjadi tiga tingkatan, sinkronisasi gelombang pembawa, sinkronisasi simbol, dan sinkronisasi *frame* [5]. Di mana salah satu masalah umum dalam komunikasi tanpa kabel adalah sinkronisasi gelombang pembawa dengan menggunakan PLL yang merupakan inti dari sinkronisasi gelombang pembawa.

2.8.1 Phase-Locked Loop (PLL)

PLL merupakan sistem *feedback loop* yang tersusun atas *Phase Detector* (PD), *Loop Filter* (LF) yang merupakan *Low Pass Filter* (LPF), dan *Voltage Controlled Oscillator* (VCO) [16]. VCO dan Phase Detector saling terhubung, sehingga oscillator dapat menjaga sudut fasa konstan relatif terhadap sinyal referensi seperti pada gambar 2.15. Cakupan dari rangkaian ini adalah untuk menjaga koherensi antara sinyal pada frekuensi $r(t)$ dengan sinyal yang dikeluarkan oleh VCO, $x(t)$, untuk dibandingkan perubahan frekuensi dan fasanya.



Gambar 2.16 Skema Dasar PLL [5]

2.8.2 Phase Detector (PD)

Fungsi dari PD adalah untuk membandingkan fasa dari sinyal pembawa yang masuk, yaitu

$$r(t) = \cos(2\pi f_1 t + a) \quad (2.8)$$

dengan sinyal replika keluaran dari VCO, yaitu

$$x(t) = -\sin(2\pi f_2 t + \hat{a}) \quad (2.9)$$

Maka, *output* yang dihasilkan blok PD adalah $e(t)$

$$\begin{aligned} e(t) &= r(t) x(t) \\ e(t) &= [\cos(2\pi f_1 t + a)] \times [-\sin(2\pi f_2 t + \hat{a})] \\ e(t) &= -\frac{1}{2} \sin[(2\pi(f_1 + f_2))t + a + \hat{a}] + \\ &\quad \frac{1}{2} \sin[(2\pi(f_1 - f_2))t + a - \hat{a}] \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.8.3 Loop Filter (LF)

Karena hasil sinyal dari blok PD, $e(t)$, selalu berubah-ubah, sehingga mengakibatkan perbedaan fasa menjadi *time-varying signal* ke dalam blok *Loop Filter* (LF). Blok ini umumnya berisi *Low Pass Filter* (LPF) yang berfungsi untuk menyaring *ouput* dari PD dan menentukan karakteristik untuk VCO. Jika PD menghasilkan *output*, maka LF akan mengintegrasikan sinyal output dari PD ke tegangan DC untuk menggerakkan VCO ke frekuensi tertentu [17].

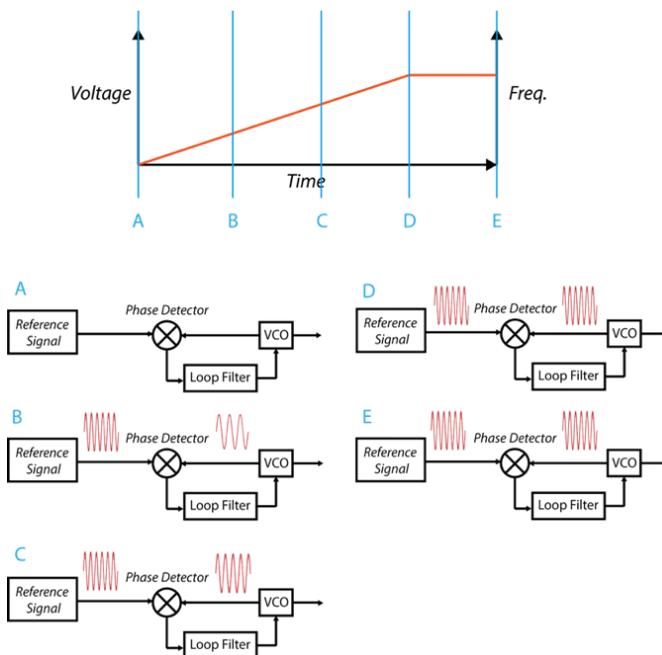
$$y(t) = e(t) * f(t) \quad (2.11)$$

2.8.4 Voltage-Controlled Oscillator (VCO)

VCO merupakan sebuah *oscillator* yang hasil keluaran frekuensinya berasal dari *input* tegangan. Tegangan yang dihasilkan dari blok LF akan menyesuaikan dengan frekuensi dan fasa replika dari VCO dan frekuensi dan fasa sinyal yang diterima. Maka, sinyal keluaran dari VCO [18],

$$x(t) = \cos [w_o t + \int_0^t y(t) (\emptyset) d\emptyset] \quad (2.12)$$

Apabila blok LF sudah mendeteksi minimnya *phase error*, maka *loop* akan terkunci. Sehingga yang terjadi adalah situasi *steady state* yang mana PLL akan mengeluarkan sinyal dengan input yg sama selama kondisi ini, seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.17 Proses Kondisi *Steady State* Sistem PLL

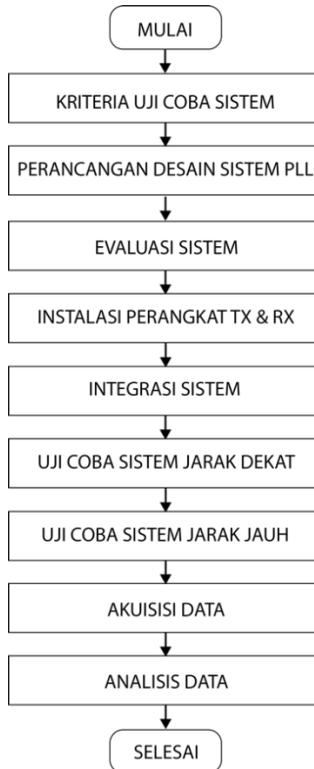
Tahap pertama, yaitu tahap A adalah ketika kondisi awal yang mana masih belum ada sinyal diterima, sehingga VCO tidak menghasilkan sinyal dalam sistem PLL. Tahap B dan tahap C merupakan kondisi ketika VCO melakukan proses *feedback* dengan menjaga sudut fasa dan frekuensi agar konstan dan koheren dengan sinyal yang diterima. Tahap D merupakan tahap ketika VCO berhasil menyamakan dengan sinyal diterima sehingga blok PD menghasilkan minimnya *phase error*. Setelah ini, sistem PLL akan berada pada fase *steady state* dengan menjaga kestabilan sistem, seperti ditunjukkan pada tahap D menuju tahap E.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

Secara umum, blok diagram perancangan sistem yang dirancang dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1

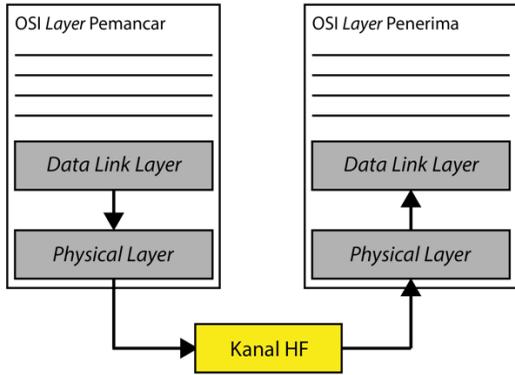


Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

3.2 Kriteria Uji Coba Sistem

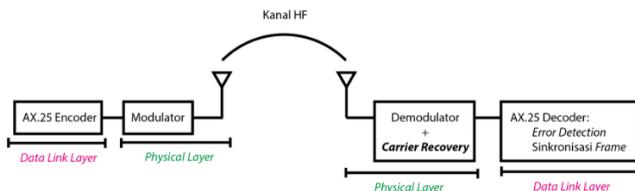
Dalam tugas akhir ini, sebuah konfigurasi pemancar dan penerima pada sistem komunikasi digital HF dirancang oleh tim HF laboratorium antena dan propagasi, Teknik Elektro ITS, menggunakan perangkat keras USRP dan perangkat lunak LabVIEW. Dengan

memanfaatkan udara bebas dan lapisan ionosfer sebagai media transmisi gelombang HF, berikut pada Gambar 3.2 merupakan tampilan model OSI pada sistem komunikasi digital yang dirancang pada uji coba sinkronisasi gelombang pembawa ini.



Gambar 3.2 Rancangan Model OSI pada Sistem Komunikasi Digital HF

Sistem komunikasi digital HF ini dirancang pada bagian *physical layer* dan *data link*. Untuk mendapatkan hasil yang optimal pada uji coba sistem komunikasi, pemancar dan penerima disimulasikan pada perangkat lunak proplab agar didapat hasil *tracing* dengan parameter pemancar yang sesuai untuk kanal HF. Pada bagian *Physical Layer*, sistem pengiriman bit maupun modulasi dan demodulasi dirancang dan dijalankan melalui perangkat lunak LabVIEW. Pengiriman informasi melalui kanal HF menghasilkan pergeseran fasa dan frekuensi karena adanya efek *multipath* dan *doppler*, sehingga sistem PLL untuk sinkronisasi gelombang pembawa diintegrasikan pada bagian *physical layer* penerima. Pada bagian *data link layer*, dibuatnya sebuah protokol dengan bit informasi yang disusun dalam suatu *frame AX.25* untuk komunikasi data yang berisi sinkronisasi *frame* dan *error control*. Pada tugas akhir ini, difokuskan pada bagian *physical layer* penerima, yaitu bagian sinkronisasi gelombang pembawa. Untuk tampilan blok diagram kerja sistem komunikasi HF digital HF yang dikerjakan oleh tim HF, dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rancangan Sistem Komunikasi Digital HF

Sinkronisasi gelombang pembawa terletak pada bagian demodulator sistem komunikasi digital HF. Hal ini dikarenakan informasi yang berubah setelah pemancar mengirim informasi dan melewati kanal HF yang frekuensi dan fasanya berubah karena efek *multipath* dan *doppler*.

Sebelum dilakukan uji coba sinkronisasi gelombang pembawa, terlebih dahulu dibuat rancangan desain PLL dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Uji coba sinkronisasi gelombang pembawa sistem komunikasi HF ini dilakukan dengan dua tahap, yaitu jarak dekat dan jarak jauh. Uji coba sistem ini menggunakan frekuensi kerja yang telah sesuai dengan peraturan penyelenggaraan radio amatir yang berlaku di Indonesia [9]. Penyelenggara siaran radio amatir pada penelitian ini juga sudah memiliki Izin Amatir Radio (IAR) pada Tingkatan Siaga, dengan besar daya pancar maksimal yang diperbolehkan yaitu 100 Watt pada pita frekuensi kurang dari 30 MHz.

Beberapa perangkat yang akan digunakan dalam uji coba sistem ini yang pertama adalah antena horizontal dipol $\lambda/2$ yang dirancang bekerja pada frekuensi 7 MHz. Antena dipol dipasang sebanyak dua buah di Surabaya dan di Malang, baik untuk uji coba jarak dekat dan uji coba jarak jauh. Kemudian, antena ini akan dihubungkan dengan perangkat SDR berupa USRP yang akan diprogram menggunakan perangkat lunak LabVIEW.

Uji coba sistem PLL ini lebih difokuskan pada sisi penerima. Sistem PLL pada penerima akan diprogram menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Sehingga untuk uji coba sistem, sinyal informasi berupa teks yang dikirim oleh pemancar menggunakan modulasi BPSK akan diterima oleh penerima yang sudah terkonfigurasi sistem PLL. Untuk proses akuisisi data, akan mendapatkan perbandingan perubahan fasa yang dihasilkan oleh sistem PLL yang kemudian akan disimpan dan diolah menggunakan perangkat lunak Matlab.

3.2.1 Pemilihan Lokasi Pengujian Sistem

Dalam uji coba sistem ini, dilakukan pengujian dengan dua tahap, yaitu jarak dekat dan jarak jauh. Pengujian sistem jarak dekat dilakukan dengan melakukan komunikasi data antara pemancar terhadap penerima sepanjang ± 35 meter. Antena pemancar dan penerima ini menggunakan antena dipol $\lambda/2$ yang sudah terpasang di jurusan Teknik Elektro kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian jarak dekat ini digunakan untuk membuktikan komunikasi menggunakan frekuensi HF yang berhasil secara *line of sight* (los).

Pengujian sistem tahap kedua dengan cara komunikasi jarak jauh. Antena pemancar menggunakan antena dipol yang sudah terpasang di Surabaya, kemudian penerima berada di Teknologi Informasi, PPPPTK VEDC, Malang. Pengujian ini dilakukan untuk menguji kemampuan komunikasi dengan menggunakan teknologi NVIS. Jarak untuk pemancar yang berada di Surabaya dengan penerima yang berada di Malang adalah sejauh $\pm 72,9$ km. Untuk tampilan jarak pemancar dan penerima pada uji coba jarak jauh, dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Link Pengujian Jarak Jauh

3.2.2 Pemilihan Frekuensi Kerja

Metode *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) menggunakan pita frekuensi kerja, yaitu 3-10 MHz [19]. Pita frekuensi tersebut tidak dapat digunakan sepenuhnya karena telah diduduki oleh sistem komunikasi penerbangan, maritim, dan lain-lain. Dikarenakan hal tersebut, penggunaan frekuensi HF untuk teknik NVIS ini perlu mempertimbangkan regulasi yang sudah ditetapkan.

Peraturan mengenai alokasi spektrum frekuensi radio di Indonesia menjelaskan bahwa frekuensi yang boleh digunakan untuk siaran radio amatir yaitu pada pita frekuensi 7,0-7,2 MHz [20]. Adapun peraturan yang terkait dalam penyelenggaraan radio amatir lainnya telah diatur oleh organisasi seperti Organisasi Amatir Radio Indonesia (ORARI) maupun *International Amateur Radio Union* (IARU). Pihak yang ingin menggunakan spektrum frekuensi radio amatir terlebih dahulu harus mengikuti ujian untuk mendapatkan kartu Izin Amatir Radio (IAR), yang termasuk anggota ORARI, agar dapat memiliki kode siaran atau *callsign*. Format IAR memiliki 4 jenis tingkatan, yaitu Tingkat Pemula, Tingkat Siaga, Tingkat Penggalang, dan Tingkat Penegak.

3.2.3 Penentuan Besar Daya Pancar

Pada Tabel 3.1 menunjukkan klasifikasi daya pancar untuk siaran radio amatir pada pita frekuensi di bawah 30 MHz [20]. Dari tabel tersebut, menjadi batasan perangkat yang harus dipatuhi untuk uji coba sistem ini agar tidak menyalahi aturan yang sudah ditetapkan.

Tabel 3.1 Klasifikasi Daya Pancar Radio Amatir HF

Tingkatan	Daya Pancar Maksimum (Watt)
Pemula	50
Siaga	100
Penggalang	500
Penegak	1000

3.3 Persiapan Perangkat Keras

Tahap pertama sebelum melakukan uji coba sistem komunikasi digital HF adalah dengan merancang perangkat keras. Perangkat keras yang digunakan, merupakan perangkat keras yang tersedia pada laboratorium antena dan propagasi Teknik Elektro ITS. Pada sistem perancangan uji coba ini, desain sistem yang digunakan berbasis SDR. Perangkat SDR yang digunakan berupa USRP N210. Uji coba ini digunakan untuk mendapatkan hasil dari desain rancangan PLL yang akan digunakan untuk uji coba pada sistem komunikasi HF jarak dekat dan jarak jauh menggunakan teknik NVIS pada *link* Surabaya-Malang dengan jarak sebesar $\pm 72,9$ km. Sebelum uji coba dilakukan, perlu disiapkan ketersediaan perangkat keras yang akan digunakan. Adapun daftar perangkat tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Daftar perangkat keras untuk uji coba sistem

Nama Perangkat	Pemancar (buah)	Penerima (buah)
USRP	1	1
<i>Daughterboard LFTX</i>	1	0
<i>Daughterboard LFRX</i>	0	1
Antena Dipol	1	1
<i>Octoclock</i>	1	1
Kabel SMA	4	3
Kabel RG 8	2	0
Kabel RG 58	0	2
Antena GPS	1	1
Amplifier HF	1	0
LNA	0	1
PC	1	1
<i>Gigabit Ethernet</i>	1	1

3.3.1 Perangkat USRP

Universal Software Radio Peripheral (USRP) merupakan perangkat SDR yang digunakan dalam penelitian uji coba sinkronisasi gelombang pembawa sistem komunikasi ini. Penelitian ini menggunakan USRP dengan tipe N210 yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pada gambar tersebut, terdapat dua bagian gambar, yang bagian kiri merupakan perangkat USRP N210 secara utuh, sedangkan sebelah kanan merupakan bagian dalam USRP yang terdiri dari *motherboard* dan *daughterboard*.



Gambar 3.5 USRP N210

USRP dengan tipe N210 menggunakan *Analog to Digital Converter/Digital to Analog Converter* (ADC/DAC), komponen RF *Front End* yang dikenal sebagai *daughterboard* yang dibedakan menurut frekuensi kerja tertentu, *chip Field Programmable Gate Array* (FPGA) yang melakukan proses pengolahan *input signal* berbasis komputansi, dan juga koneksi antara PC dengan USRP menggunakan *Gigabit Ethernet cable*.

Pada Gambar 3.5 menunjukkan bahwa USRP memiliki 2 port, dengan port 1 berisi RF1, sedangkan port 2 berisi RF2. Dengan demikian, sebuah perangkat USRP N210 dapat digunakan sebagai *transmitter* atau *receiver* tergantung dari *daughterboard* yang digunakan. Uji coba sistem ini menggunakan *daughterboard* berjenis LFTX (*Low Frequency Transmitter*) pada sisi pemancar dan LFRX (*Low Frequency Receiver*) pada sisi penerima yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7. Tiap *daughterboard* menyediakan dua port sebagai pemancar atau penerima yang terhubung dengan port RF1 dan RF2. *Daughterboard* LFTX dan LFRX ini bekerja pada rentang frekuensi 0 sampai 30 MHz.



Gambar 3.6 *Daughterboard* LFTX



Gambar 3.7 Daughterboard LFRX

3.3.2 Octoclock dan Antena GPS

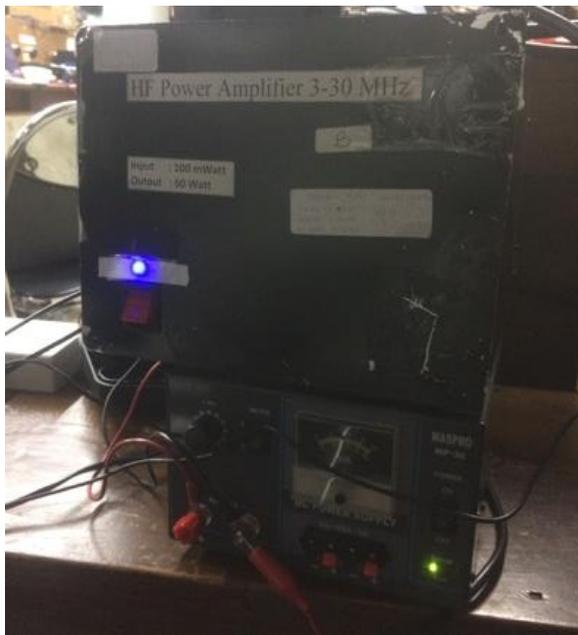
Octoclock dan Antena *Global Positioning System* (GPS) merupakan perangkat yang digunakan untuk sinkronisasi berupa waktu. *Octoclock* pada penelitian ini menggunakan tipe CDA 2990 dengan *input* 10 MHz dan PPS pada panel depan perangkat yang kemudian didistribusikan ke masing-masing 8 buah *port* keluaran 10 MHz dan keluaran SMA PPS. Antena GPS merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika yang didukung oleh 27 jaringan satelit. Antena GPS ini dipasang pada perangkat *octoclock* di sisi pemancar maupun sisi penerima yang terhubung dengan perangkat USRP N210. Untuk gambar perangkat *octoclock* dan antena GPS terdapat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Perangkat *Octoclock* dan Antena GPS

3.3.3 *Amplifier HF*

Sistem uji coba ini menggunakan USRP sebagai perangkat radio dalam pembangkit sinyal di sisi pemancar dan penerima. Daya *output* sinyal pemancar pada USRP N210 hanya menghasilkan daya sebesar 15 dBm. Daya tersebut tidak mampu digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi pada jarak yang jauh. Maka dari itu, diperlukan suatu perangkat yang mampu menguatkan daya pancar sinyal dari USRP, yaitu amplifier. Amplifier yang digunakan pada uji coba ini bekerja pada frekuensi 3 sampai 30 MHz. Untuk bentuk perangkatnya terdapat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Power Amplifier HF*

3.3.4 *Low Noise Amplifier (LNA)*

LNA merupakan perangkat yang berfungsi untuk menyaring noise dari sinyal yang diterima. LNA dipasang pada sisi penerima tepat antara USRP dan Antena. LNA yang digunakan adalah tipe ZFL-1000 dari Pabrik Mini-Circuit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Perangkat ini bekerja pada rentang frekuensi 0,1-1000 MHz dan menghasilkan gain sebesar 20 dB untuk tegangan input V_{DC} sebesar 15 Volt pada frekuensi 7 MHz.



Gambar 3.10 LNA Tipe ZFL-1000

3.3.5 *Gigabit Ethernet*

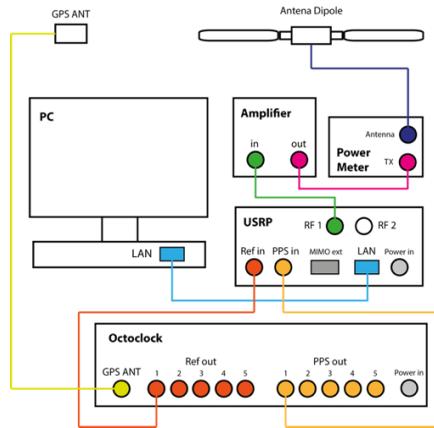
USRP memiliki *interface LAN port* tipe kabel UTP berjenis *Gigabit Ethernet* yang dapat menghubungkan perangkat USRP dengan PC dari *user*. Penggunaan kabel ini berfungsi dalam proses konektivitas antar PC dan USRP agar perintah pada perangkat lunak LabVIEW dapat dijalankan. Bentuk dari kabel *Gigabit Ethernet* terdapat pada Gambar 3.11.



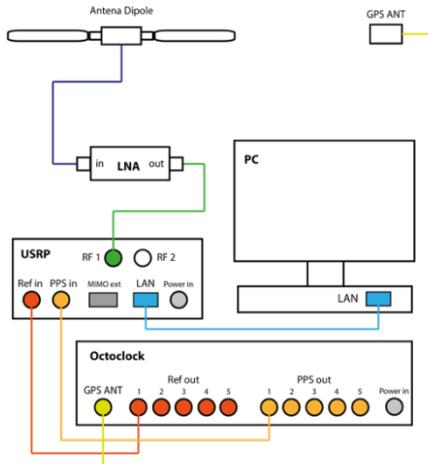
Gambar 3.11 Kabel *Gigabit Ethernet*

3.4 Skema Desain Perancangan Perangkat Keras

Untuk skema desain perangkat pada pemancar ditunjukkan pada Gambar 3.12, sedangkan Gambar 3.13 untuk desain sistem perangkat pada penerima.



Gambar 3.12 Desain Sistem Perangkat pada Pemancar



Gambar 3.13 Desain Sistem Perangkat pada Penerima

Pada desain sistem perangkat pada pemancar seperti Gambar 3.11, PC yang menjalankan perangkat lunak LabVIEW terhubung dengan perangkat USRP N210 menggunakan kabel LAN. USRP yang menggunakan *daughterboard* LFTX ini, pada *port* RF1 terhubung dengan amplifier, kemudian *port Ref in* dan *PPS in* terhubung dengan *octoclock* menggunakan kabel SMA. Perangkat *octoclock* yang terhubung dengan antena GPS ini berfungsi untuk sinkronisasi dalam bentuk waktu, sedangkan perangkat amplifier ini berfungsi agar daya pancar yang dikirim USRP dapat dikuatkan. Kemudian amplifier terhubung dengan *power meter* agar dapat mengetahui besar daya yang dihasilkan oleh sistem pemancar. Kemudian dari *power meter* dihubungkan dengan antena dipol menggunakan kabel RG-8 untuk memancarkan sinyal ke udara ataupun ruang bebas.

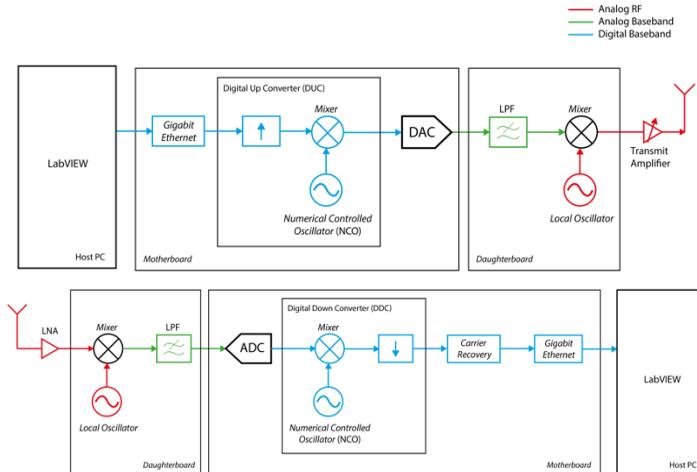
Pada desain sistem perangkat pada penerima seperti pada Gambar 3.12, sinyal yang berada di udara akan diterima oleh antena dipol. LNA yang terhubung dengan antena berfungsi agar sinyal yang diterima dapat disaring *noise* yang berlebih. Kemudian, LNA dihubungkan dengan USRP yang melalui *port* RF1. *Port Ref in* dan *PPS in* pada USRP juga dihubungkan dengan *Octoclock* untuk sinkronisasi waktu. USRP terhubung dengan PC melalui kabel LAN untuk pembacaan informasi yang diterima melalui perangkat lunak LabVIEW.

3.5 **Modulator Demodulator Sinkronisasi Gelombang Pembawa**

Konsep PLL tidak lepas dari konfigurasi sisi penerima atau *demodulator* pada sebuah sistem komunikasi. Sehingga, modul PLL ini dapat diintegrasikan dengan sistem *baseband* pada bagian *demodulator* melalui perangkat lunak LabVIEW. Dalam pengujian sistem PLL ini, dibutuhkan sebuah sistem komunikasi berupa *modulator* dan *demodulator* yang dikontrol melalui LabVIEW dengan menggunakan perangkat keras USRP N210.

Modulator dan *demodulator* dirancang untuk dapat melakukan sebuah komunikasi dengan protokol yang digunakan, sehingga PLL yang diintegrasikan di bagian penerima dapat bekerja dan dianalisa pada penelitian ini. Gambar 3.14 merupakan blok diagram untuk *modulator* dan *demodulator* dengan rancangan blok PLL pada perangkat keras USRP N210. Perangkat keras USRP N210 terdiri menjadi dua bagian sebelum terhubung dengan PC melalui *Peripheral Component Interconnect (PCI) Express Bus*. PCI memungkinkan komputer untuk

mengontrol blok RF melalui kabel *Ethernet* pada sistem yang berbasis FPGA.



Gambar 3.14 Blok Diagram *Modulator* dan *Demodulator* pada USRP N210

Gambar 3.13 merupakan gambaran besar blok diagram dari *modulator* dan *demodulator* dengan sistem penerimaan *heterodyne* yang tertanam pada perangkat keras USRP N210. Pada blok diagram tersebut, blok *carrier recovery* yang berada pada bagian *demodulator* merupakan blok *phase-locked loop* yang bekerja untuk melakukan sinkronisasi gelombang pembawa. Blok tersebut menerima sinyal kompleks dari blok tersebut menerima sinyal kompleks dari blok *Digital Down Converter (DDC)*. DDC mengkonversi *real signal* pada *Intermediate Frequency (IF)* menjadi *complex baseband signal*. Sehingga setelah menjadi *complex baseband signal* dan didapati sebuah perbedaan sudut fasa atau frekuensi setelah melalui blok DDC, maka PLL akan bekerja untuk menghilangkan perbedaan sudut fasa atau frekuensi dalam proses *demodulasi* ini.

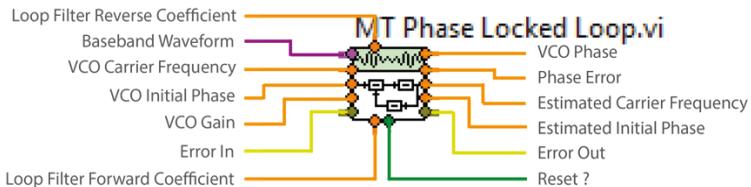
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4 PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

Pada bab ini, akan dibahas mengenai implementasi desain sistem sinkronisasi gelombang pembawa yang diintegrasikan dengan uji coba sistem komunikasi digital HF berbasis *Software-Defined Radio* secara keseluruhan. Pengujian dilakukan pada sistem penerima untuk diakuisisi datanya, sehingga mendapatkan parameter yang dibutuhkan untuk dianalisa.

4.1 Desain Program Sinkronisasi Gelombang Pembawa

Penelitian sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi HF ini didukung oleh perangkat lunak LabVIEW sebagai otak pemrograman SDR. LabVIEW memiliki berbagai macam modul untuk melakukan perancangan simulasi maupun sistem telekomunikasi, salah satunya adalah modul untuk sinkronisasi gelombang pembawa yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



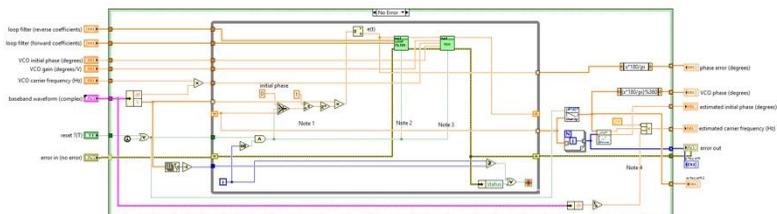
Gambar 4.1 Modul MT *Phase-Locked Loop*

Modul dasar PLL dari LabVIEW ini sudah dirancang dengan fungsi yang sesuai blok diagram secara teoritis. Modul ini memiliki beberapa parameter sebagai masukan atau keluaran untuk sistem, berikut pengertian dasarnya:

- **Baseband Waveform:** Menerima sinyal pembawa yang diterima dengan frekuensi dan fase sebagai *estimation* untuk diolah oleh PLL.
- **VCO Carrier Frequency:** Menentukan referensi frekuensi pembawa yang digunakan oleh VCO untuk melacak fase dari sinyal pembawa yang diterima, standarnya adalah 0 Hz.
- **VCO Initial Phase:** Menentukan referensi awal fase pembawa yang digunakan oleh VCO untuk melacak fase sinyal pembawa yang diterima, standarnya adalah 0 *degree*.

- **VCO Gain:** Sebagai penguat yang diterapkan pada *error signal* di dalam VCO sebelum menghasilkan parameter *estimated initial phase*.
- **Loop Filter (Reverse Coefficient):** Menentukan *reverse coefficient* dari IIR Loop Filter, standarnya adalah (1, -1).
- **Loop Filter (Forward Coefficient):** Menentukan *forward coefficient* dari IIR Loop Filter, standarnya adalah (1.05, -0.95).
- **VCO Phase:** Pengembalian fase secara keseluruhan dari sinyal gelombang pembawa yang diterima dan diestimasi oleh PLL, termasuk efek dari setiap fase dan frekuensi *offsets*.
- **Phase Error:** Mengembalikan kesalahan sudut pada sinyal pembawa. *Phase Error* menunjukkan perbedaan fasa antara *input signal* dengan fasa yang dihasilkan PLL. Parameter ini dihasilkan oleh blok *Phase Detector* (PD).
- **Estimated Carrier Frequency:** Perkiraan sinyal yang dihasilkan oleh sistem PLL.
- **Estimated Initial Phase:** Perkiraan fasa yang dihasilkan oleh sistem PLL.

Parameter kontrol utama dalam sistem ini adalah *VCO Carrier Frequency*. Konfigurasi parameter ini, berfungsi menghasilkan replika frekuensi untuk sistem PLL. Sehingga, saat perangkat SDR menerima pergeseran frekuensi dan sudut fasa, PLL akan menjalankan tugasnya dengan melakukan sinkronisasi sinyal replika dari VCO dengan sinyal gelombang pembawa yang diterima. Indikator yang dihasilkan dari modul PLL ini adalah *VCO Phase* dan *Phase Error*. Kedua indikator yang dihasilkan dari sistem tersebut telah dianalisa untuk penelitian sinkronisasi gelombang untuk sistem komunikasi HF ini. Blok diagram sistem dari modul PLL, dapat dilihat pada Gambar 4.2.

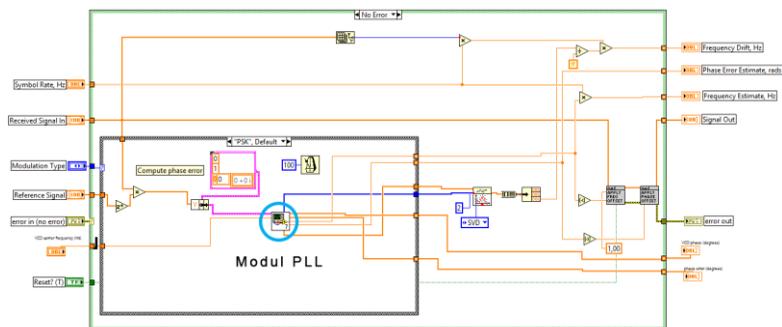


Gambar 4.2 Blok Diagram Modul PLL LabVIEW

Pada desain gambar tersebut, menunjukkan bahwa masukan sinyal *baseband* yang diterima, akan diteruskan menuju blok *Loop Filter* (LF) setelah melalui bagian *Phase Detector* (PD), yaitu jalur sebelum melewati $e(t)$. Kemudian, setelah dari blok LF akan diteruskan ke blok VCO untuk menghasilkan yang diarahkan kembali menuju bagian PD. Proses ini akan diulang terus sampai bagian PD tidak mendeteksi adanya perbedaan fase antar keluaran VCO dengan sinyal yang diterima, yang mana fase ini dinamakan dengan *steady state*.

4.2 Integrasi Desain dengan Sistem Demodulator

Konsep PLL tidak lepas dari konfigurasi sisi penerima pada sebuah sistem komunikasi. Sehingga, modul PLL ini telah diintegrasikan dengan *demodulator* untuk komunikasi digital pada perangkat lunak LabVIEW. Modul PLL diintegrasikan pada bagian *baseband* sistem demodulasi, tepatnya di bagian sub modul MT *Demodulation*. Modul MT *Demodulation* ini memproses data gelombang kompleks seperti *matched filter*, dan *error correction* pada frekuensi dan fasa. Pada Gambar 4.3 merupakan blok demodulasi yang sudah terintegrasikan dengan modul PLL yang berada di dalam sub dari MT *Demodulate* pada LabVIEW.

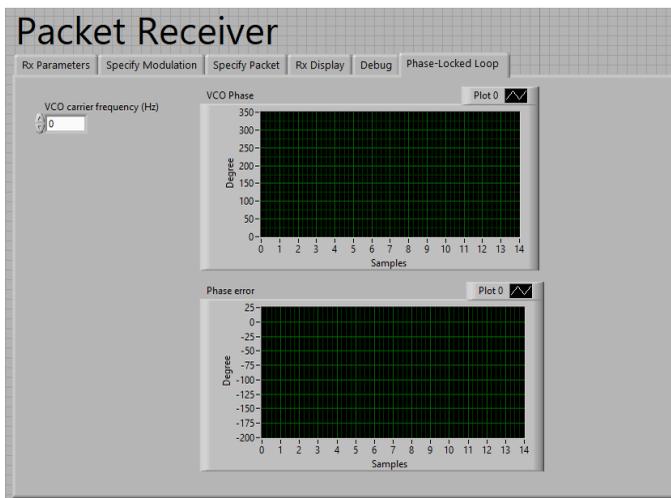


Gambar 4.3 Integrasi Desain PLL dengan Sistem

Pada tampilan integrasi desain dengan sistem tersebut, modul PLL diintegrasikan pada sub *frequency and phase offset* yang telah dimodifikasi agar tidak terjadi tumpang tindih antar sistem karena adanya komponen atau modul yang kedua sistem tersebut miliki.

Modul PLL yang digunakan dalam penelitian sinkronisasi gelombang pembawa menggunakan perangkat lunak LabVIEW ini

menghasilkan 2 (dua) parameter yang dapat dianalisa pada penelitian ini, yaitu *VCO Phase* dan *Phase Error*. *VCO Phase* dan *Phase Error* merupakan tampilan bentuk gelombang dari proses sistem PLL, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Tampilan Modul PLL pada Panel Penerimaan LabVIEW

Untuk hasil bentuk sinyal dari *VCO Phase* dan *Phase Error*, nilai pada bagian sumbu ordinat menunjukkan besaran nilai sudut, mulai dari 0 sampai 2π . Sedangkan pada bagian sumbu absis, menunjukkan besaran nilai yang diterima berupa *samples*. Akuisisi data digunakan untuk mendapatkan hasil berupa sampel agar dapat diubah menjadi satuan waktu, dengan cara melakukan perhitungan invers dari nilai *IQ rate* dikalikan dengan tiap sampel agar menjadi satuan waktu.

4.3 Implementasi Uji Coba Sistem Sinkronisasi Gelombang Pembawa

Untuk dapat melakukan proses uji coba sistem, pemilihan frekuensi sangat penting agar tidak mengganggu stasiun radio amatir lainnya. Maka, tahap awal sebelum melakukan uji coba sistem adalah dengan melakukan pengecekan kanal menggunakan rig radio HF *transceiver*. Apabila ingin memilih frekuensi tertentu dan sedang digunakan siaran oleh stasiun radio amatir lainnya pada yang waktu

bersamaan, maka lebih baik untuk melakukan pemilihan ulang frekuensi lain. Pada Gambar 4.5 menunjukkan proses pemilihan frekuensi menggunakan rig radio HF *transceiver*

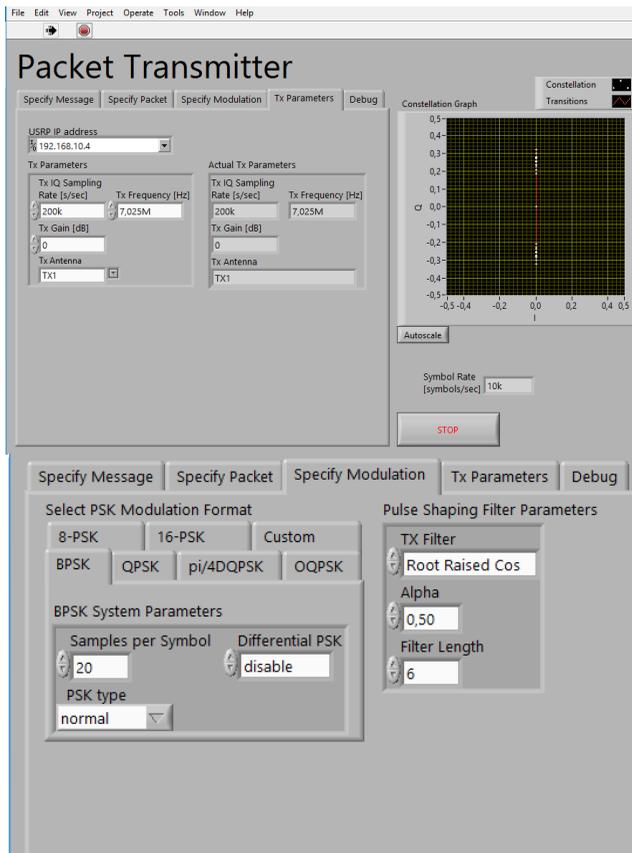


Gambar 4.5 Pengecekan Kanal Melalui Rig HF *Transceiver*

Mengacu pada Keputusan Ketua Umum Organisasi Amatir Radio Amatir Indonesia Nomor: KEP-065/OP/KU/2009 menyatakan bahwa besar *bandwidth* maksimal yang diperbolehkan dalam sistem komunikasi data pada kanal HF yaitu sebesar 15 kHz [9]. Maka, dalam uji coba sistem ini, lebar *bandwidth* pada pemancar yang digunakan adalah sebesar 10 kHz dengan modulasi BPSK seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Untuk dapat menentukan nilai *bandwidth* pada pemancar, penggunaan parameter pada sisi pemancar sangat penting.

Karena USRP N210 dengan *daughterboard* tipe LF hanya mampu menggunakan minimum *IQ rate* $\approx 200k$, maka agar dapat menghasilkan *symbol rate* atau *bandwidth* = 10k, harus menggunakan 20 *samples per symbols*. Sehingga, dengan melakukan perkalian antara IQ rate dengan jumlah sampel tiap simbol, didapat *symbol rate* sebesar 10k sym/sec. Hal ini bertujuan untuk membatasi *bandwidth* berlebih agar tidak mengganggu komunikasi radio amatir lainnya yang dibatasi

penggunaan *bandwidth* sebesar 15 kHz tiap stasiun pemancar sesuai dengan aturan ORARI.



Gambar 4.6 Tampilan Konfigurasi Pemancar pada Panel LabVIEW

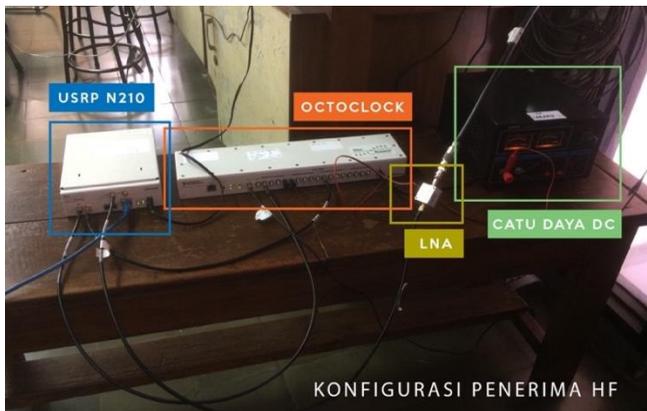
Dengan menggunakan parameter untuk pemancar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, perangkat lunak LabVIEW terhubung dengan perangkat agar dapat memancarkan ataupun menerima sinyal dari pemancar. Beberapa parameter tersebut harus sama antara pemancar dan penerima, seperti pemilihan frekuensi, *IQ rate*, *samples per symbol*, dan

Pulse Shaping Filter. USRP IP Address merupakan inisialisasi dari perangkat USRP yang digunakan pada pemancar maupun penerima.

Pemasangan perangkat untuk uji coba jarak dekat maupun jauh adalah sama, perbedaan hanya terletak pada antenna yang dipasang sesuai lokasi. Untuk konfigurasi perangkat yang dipasang, dapat dilihat pada Gambar 4.7 pada sisi pemancar, dan Gambar 4.8 pada sisi penerima.



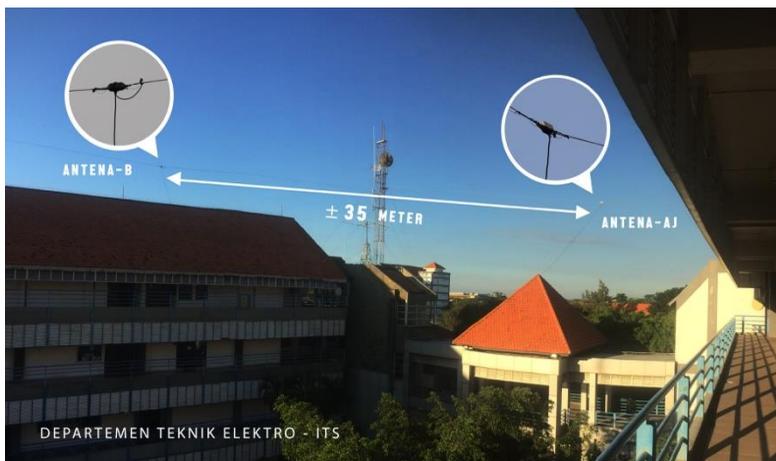
Gambar 4.7 Konfigurasi Perangkat Pemancar



Gambar 4.8 Konfigurasi Perangkat Penerima

4.3.1 Uji Coba Jarak Dekat

Tahap awal pengujian sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi adalah dengan cara melakukan komunikasi jarak dekat. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan komunikasi antar dua antenna dipol yang dipasang di Departemen Teknik Elektro, ITS. Antena dipol pada gedung AJ digunakan sebagai pemancar dan antena dipol pada gedung B digunakan sebagai penerima. Jarak antar dua antena ini ± 35 meter. Untuk penggambaran letak pemancar dan penerima jarak dekat ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Lokasi Antena Pemancar dan Penerima Jarak Dekat

Uji coba sinkronisasi gelombang pembawa ini dilakukan pada frekuensi 7,025 MHz karena pada saat uji coba tanggal 20 Mei 2019 pukul sekitar 13.00 WIB, frekuensi tersebut masih belum ada stasiun radio amatir lain yang menempati. Sehingga, selama proses pengujian tidak mengganggu stasiun radio amatir lain yang sedang melakukan komunikasi.

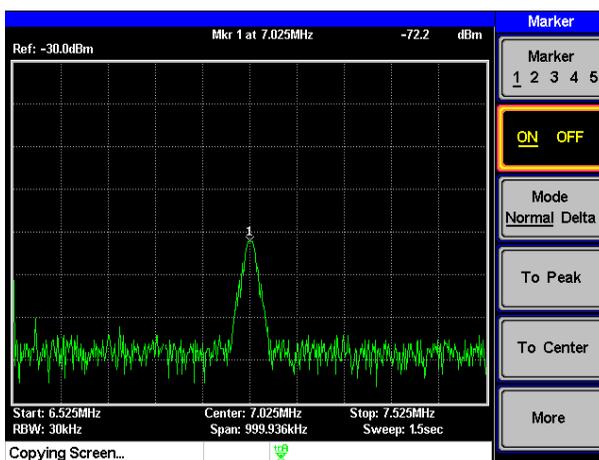
Dengan menggunakan tegangan sebesar ± 14 Volt pada DC *Supply*, pemancar menghasilkan daya pancar sebesar ± 7 Watt seperti pada Gambar 4.10. Pada gambar tersebut, perangkat *power meter* menunjukkan besaran nilai daya yang dihasilkan oleh pemancar USRP setelah dibangkitkan dayanya menggunakan *power amplifier*. Dengan

menggunakan daya pancar tersebut, penerima dapat menerima sinyal yang dikirim oleh pemancar saat melakukan uji coba jarak dekat.



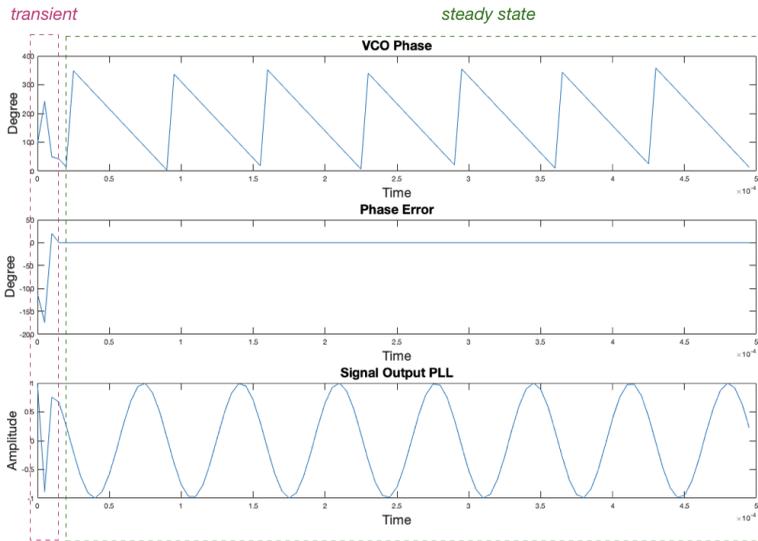
Gambar 4.10 Keluaran Daya Pemancar

Untuk penelitian pada uji coba sinkronisasi gelombang pembawa jarak dekat, lebih difokuskan pada sisi penerima. Setelah pemancar memancarkan sinyal dengan daya ± 7 Watt, maka penerima yang sudah terintegrasi dengan sistem PLL akan menerima sinyal tersebut. Pada Gambar 4.11 menunjukkan sinyal yang diterima oleh sistem tidak mengalami pergeseran frekuensi.



Gambar 4.11 Hasil Sinyal Terima pada Domain Frekuensi

Dengan demikian, sistem PLL hanya akan bekerja dengan menyamakan perbedaan sudut fasa yang berubah-ubah dari sinyal yang diterima. Pada Gambar 4.12 menunjukkan hasil sistem PLL yang bekerja pada sistem penerima untuk menyamakan sudut fasa agar koheren dengan gelombang pembawa yang diterima.



Gambar 4.12 Hasil *Carrier Recovery* Uji Coba Jarak Dekat

Pada Gambar 4.12, menunjukkan hasil dari penerimaan sistem PLL. Pada kolom pertama dari gambar tersebut, *plot* sinyal dari fasa VCO menghasilkan *sawtooth signal* dalam rentan sumbu ordinat 0 sampai 2π . Sedangkan pada kolom kedua merupakan hasil *phase error* yang merupakan keluaran dari blok *Phase Detector* (PD). Sinyal ini menunjukkan hasil perbedaan sudut fasa antara sinyal gelombang pembawa yang diterima dengan sinyal replika dari VCO. Untuk kolom ketiga, *plot* sinyal sinusoidal ini merupakan sinyal yang dihasilkan dari sistem PLL untuk diproses ke dalam sistem penerima. Pada ketiga kolom tersebut, didapat data bahwa pada waktu ke 0s sampai dengan $15 \mu s$, sistem melakukan proses sinkronisasi (masa *transient*). Sehingga, setelah $15 \mu s$ sistem sudah melakukan PLL *Locks* atau fase *steady state*.

Untuk mengetahui hasil kestabilan dari sinkronisasi gelombang pembawa pada sistem penerima HF jarak dekat ini, dilakukan pengambilan data sebanyak 25 kali. Pengambilan data ini, berfungsi untuk mengetahui berapa lama rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk proses sinkronisasi selama masa *transient*, hasilnya terdapat pada tabel 4.1. Maka, dari hasil tabel tersebut, didapat bahwa sistem sinkronisasi gelombang pembawa berada pada masa *transient* dengan rata-rata waktu selama 14,2 μ s. Mengubah sampel menjadi satuan waktu, didapat dari persamaan 4.1. Tampilan sebanyak 25 data dari hasil uji coba sistem sinkronisasi gelombang pembawa, terlampir di bagian Lampiran dalam buku laporan ini.

Tabel 4.1 Hasil uji coba sistem PLL jarak dekat

Uji Coba ke-	Masa <i>Transient</i>		Uji Coba ke-	Masa <i>Transient</i>	
	Sampel	Durasi (μ s)		Sampel	Durasi (μ s)
1	3	15	14	3	15
2	3	15	15	2	10
3	3	15	16	3	15
4	3	15	17	3	15
5	3	15	18	3	15
6	3	15	19	3	15
7	3	15	20	2	10
8	3	15	21	2	10
9	3	15	22	3	15
10	3	15	23	3	15
11	3	15	24	3	15
12	2	10	25	3	15
13	3	15	Rata-rata	2,84	14,2

4.3.2 Uji Coba Jarak Jauh

Tahap kedua pada uji coba sistem sinkronisasi gelombang pembawa, dilakukan dengan melakukan pemasangan antenna pemancar dan penerima dengan jarak sejauh $\pm 72,9$ km. Antena pemancar berada di Surabaya seperti hasil pemasangan pada Gambar 4.9 dengan terpasang dua buah antenna sebagai opsi untuk pemancar. Sedangkan antenna penerima berada di lantai teratas dari gedung Teknologi Informasi, PPPPTK VEDC, Malang, dengan jarak pemasangan seperti pada Gambar

3.2. Untuk pemasangan letak antenna pada sisi penerima, dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pada uji coba jarak jauh, antenna pemancar dan penerima masing-masing terpasang 2 buah tiap lokasi, hal ini dilakukan agar mengetahui uji coba paling optimal dengan arah pancaran dan penerimaan antenna yang berbeda di tiap lokasinya.



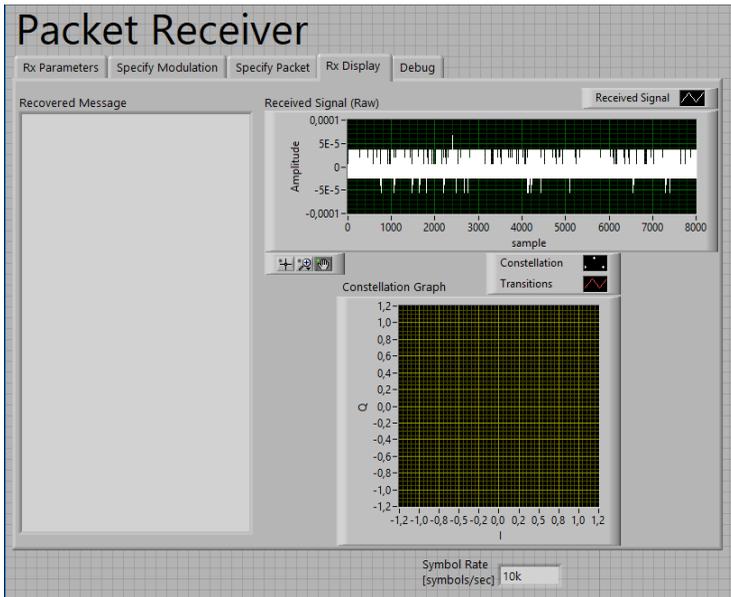
Gambar 4.13 Lokasi Antena Penerima Uji Coba Jarak Jauh

Uji coba dengan skema jarak jauh ini digunakan untuk mengetahui kinerja sistem sinkronisasi gelombang pembawa pada teknik HF secara NVIS. Tidak ada perbedaan untuk konfigurasi perangkat penerima untuk uji coba sistem jarak dekat dengan jarak jauh, berikut tampilan konfigurasi perangkat penerima pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Konfigurasi Perangkat Penerima Uji Coba Jarak Jauh

Pengujian sistem sinkronisasi gelombang pembawa dengan skema jarak jauh dilakukan pada 10 - 16 dan 24-26 Mei 2019. Namun selama pengujian sistem dengan teknik NVIS ini, masih belum berhasil. Dengan parameter pemancar yang sama seperti pada uji coba jarak dekat, pada bagian penerima yang berada di Malang masih belum menerima sinyal yang dikirim dari Surabaya. Sehingga untuk pengujian sinkronisasi gelombang pembawa masih belum dapat dilakukan. Berikut tampilan dari panel LabVIEW untuk sistem yang belum dapat diterima pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Tampilan Penerima LabVIEW Saat Tidak Berhasil Melakukan Komunikasi

4.4 Sintesis

Berdasarkan dari hasil uji coba sistem yang telah dilakukan, maka desain dan integrasi sistem sinkronisasi gelombang pembawa digunakan untuk melakukan deteksi dan kompensasi pergeseran frekuensi dan fasa dari sinyal gelombang pembawa yang diterima.

Rancangan sinkronisasi gelombang pembawa berbasis *Phase-Locked Loop* (PLL) pada penelitian ini menggunakan modul PLL

Baseband pada LabVIEW. Modul PLL *Baseband* ini bekerja pada bagian operasi sistem *baseband*, sehingga modul ini menerima sinyal *complex baseband* sebagai sinyal referensinya. Modul ini memiliki banyak parameter *input* untuk melakukan konfigurasi sistem operasi pada PLL, yang paling utama yaitu VCO *Carrier Frequency*. Konfigurasi parameter ini, berfungsi menghasilkan replika frekuensi untuk sistem PLL. Sehingga, saat perangkat SDR menerima pergeseran frekuensi dan sudut fasa, PLL akan menjalankan tugasnya dengan melakukan sinkronisasi sinyal replika dari VCO dengan sinyal gelombang pembawa yang diterima. Selain VCO, PLL memiliki komponen utama lainnya pada sistem, yaitu *Phase Detector* (PD) dan *Loop Filter* (LF). PD memiliki fungsi untuk mendeteksi perbedaan sudut fasa dari sinyal gelombang pembawa yang diterima dengan sinyal replika keluaran dari VCO. Apabila PD mendeteksi minimnya perbedaan fasa, maka sistem akan melakukan PLL *Locks* atau fase *steady state*. Pendeteksian minimnya perbedaan fasa ini disebut sebagai *phase error* yang merupakan salah satu indikator hasil dari penelitian ini. VCO *Phase*, yang merupakan indikator hasil lain dari penelitian ini, merupakan sudut fasa yang dihasilkan oleh VCO.

Implementasi sinkronisasi gelombang pembawa tidak lepas dari sistem *demodulator*. Sehingga, pemilihan *modulator-demodulator* sangat penting untuk melakukan integrasi dan uji coba sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi HF digital ini. Pada penelitian ini, sistem PLL yang diintegrasikan dengan sistem *demodulator* telah diuji dengan dua tahap, yaitu pengujian dengan jarak dekat dan pengujian dengan jarak jauh.

Pada pengujian jarak dekat, yaitu antara dua Antena Dipol yang berada di gedung Fakultas Teknologi Elektro ITS, pengujian sinkronisasi gelombang pembawa sudah dilakukan. Dengan menggunakan *spectrum analyzer*, penerima tidak mendeteksi adanya perubahan pendeteksian frekuensi, sehingga sistem PLL hanya melakukan sinkronisasi untuk sudut fasa. Dari pengujian ini, didapat bahwa sistem PLL dapat melakukan proses PLL *Locks* atau *steady state* setelah sistem pada masa *transient* bekerja selama 15 μ s. Kemudian, untuk pengujian jarak dekat dilakkan pengambilan data sebanyak 25 kali, sehingga didapat rata-rata sistem PLL melakukan proses PLL *Locks* setelah sistem pada masa *transient* bekerja selama 14,2 μ s.

Tahap Kedua, pengujian jarak jauh dilakukan pengujian sistem komunikasi menggunakan teknik HF NVIS dengan dua buah antena dipol

yang berada di Teknik Elektro ITS dengan dua buah antena dipol pada Gedung Teknologi Informasi VEDC, Malang. Pemasangan dua antena di tiap lokasi pemancar dan penerima berfungsi untuk mengetahui uji coba yang lebih optimal dengan arah pancar dan penerimaan antena yang berbeda di tiap lokasi. Konfigurasi pemancar dan penerima pada uji coba jarak jauh, tidak beda dengan uji coba jarak dekat. Yang membedakan hanyalah letak pemasangan pemancar dan penerima yang berjarak $\pm 72,9$ km. Untuk hasil sinkronisasi gelombang pembawa pada pengujian tahap kedua belum dapat dilakukan, karena sistem komunikasi masih belum dapat berjalan dengan baik. Sistem penerima yang berada di Malang, tidak menerima sinyal yang dikirim dari Surabaya ketika menggunakan perangkat USRP. Dengan waktu pengujian selama hampir 1 minggu, uji coba sistem komunikasi terus dilakukan dari pagi hingga sore hari, tetapi sistem penerima di Malang masih tidak dapat menerima sinyal informasi yang dikirim oleh pemancar yang berada di Surabaya. Sehingga, pada penelitian ini, hasil sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi digital HF berbasis USRP, hanya bisa didapat untuk tahap pengujian jarak dekat.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diperoleh:

1. Uji coba sistem sinkronisasi gelombang pembawa telah berhasil didesain dan diimplementasikan pada uji coba jarak dekat dengan daya pancar ± 7 Watt, modulasi BPSK, 10 k *symbols/second*.
2. Desain sistem *Phase-Locked Loop* (PLL) pada LabVIEW menghasilkan 2 parameter nilai, yaitu *VCO Phase* dan *Phase Error* yang merupakan hasil tampilan nilai gelombang sinyal selama proses sinkronisasi gelombang pembawa pada PLL.
3. Sistem desain PLL dapat melakukan proses PLL *Locks* atau *steady state* setelah pada masa *transient* sistem bekerja selama 15 μ s.
4. Dengan pengambilan data sebanyak 25 sampel, desain sistem PLL membutuhkan rata-rata waktu selama 14,2 μ s untuk mencapai fase *steady state*.
5. Menggunakan daya pancar ± 7 Watt, modulasi BPSK, 10 k *symbols/second*, dan parameter pendukung lainnya, penerima tidak dapat menerima sinyal saat komunikasi *link* Surabaya - Malang menggunakan teknik NVIS, sehingga penelitian sinkronisasi gelombang pembawa jarak jauh tidak dapat dilakukan.

5.2 Saran

Dalam pengembangan uji coba sistem sinkronisasi gelombang pembawa berikutnya, agar dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem untuk sinkronisasi gelombang pembawa agar diintegrasikan dengan sistem komunikasi modulasi digital yang sudah dapat melakukan komunikasi dengan teknik HF NVIS.
2. Membuat perancangan sistem sinkronisasi gelombang pembawa lainnya, yaitu *Costas Loop*.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] McNamara, L.F. 1991. *The Ionosphere: Communication, Surveillance, Direction Finding*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.
- [2] Suhartini, S. 2011. *Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat*. LAPAN, Indonesia.
- [3] Walden, M.C. 2016. *High-Frequency Near Vertical Incidence Skywave Propagation*. IEEE.
- [4] Priya, A., dkk. 2013. *Carrier Synchronization in Software Defined Radio using Costas Loop*. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 6, No. 6.
- [5] Sklar, B. 2001. *Digital Communications Fundamental and Applications Second Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- [6] Pesovic, U., dkk. 2017. *Carrier Synchronization Algorithm for Software Defined Radio*. IEEE 25th Telecommunication Forum TELFOR 2017.
- [7] Ziboon, H.T., Thabit, A.A. 2009. *Design and Simulation of Digital PLL Synchronizer for BPSK and QPSK Based on Software Defined Radio*. Eng. & Tech. Journal, Vol. 27, No. 10.
- [8] Australia Government. 2007. *IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation*. Sydney, Australia.
- [9] Manalu, S.L., dkk. 2017. *Design of Measurement System for HF MIMO NVIS Channel*. 2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, pp. 300-305.
- [10] Witvliet, Ben A. 2015. *Near Vertical Incidence Skywave Interaction of Antenna and Propagation Mechanism*. Enschede, Netherlands.
- [11] Hassani, S.A. 2016. *Design and Implementation of FPGA-Based Multi-Rate BPSK-QPSK Modem with Focus on Carrier Recovery and Time Synchronization*. Tampere University of Technology, Finland.
- [12] Datasheet Perangkat USRP N210. <http://www.ettus.com/all-products/un210-kit/>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2019.
- [13] Stutzman, W. L., Thiele, G. A. 2012. *Antenna Theory and Design*. United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- [14] Li, Yadong, dkk. 2011. *Research Based on OSI Model*. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks.

- [15] Lynn, K.J.W. 2009. *A Technique for Calculating Ionospheric Doppler Shifts from Standard Ionograms Suitable for Scientific, HF Communication, and OTH Radar Applications*. Radio Science, Vol. 44, RS6002.
- [16] Suman, S., dkk. 2016. *Design of PLL Using Improved Performance Ring VCO*. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT).
- [17] Definisi Istilah VCO. <http://194.75.38.69/pages/pdfs/an95003.pdf>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2019.
- [18] Best, R.E. 2003. *Phase-Locked Loops Design, Simulation, and Applications Fifth Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- [19] Witvliet, dkk. 2014. *The Importance of Circular Polarization for Diversity Reception and MIMO in NVIS Propagation*. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014).
- [20] Peraturan Menteri No. 25 Tahun 2014 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. https://jdih.kominfo.go.id/produk_hukum/view/id/222/t/peraturan+menteri+komunikasi+dan+informatika+nomor+25+tahun+2014+tanggal+18+agustus+2014. Diakses pada tanggal 19 Mei 2019.

LAMPIRAN A

Lembar Pengesahan Proposal

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Irawan Budiadi Luhur
Nomor Pokok : 07111745000084
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Tahun 2018/19
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Judul Tugas Akhir : **Sinkronisasi Gelombang Pembawa untuk Sistem Komunikasi HF Berbasis USRP**
(*Carrier Synchronization for USRP Based HF Communication System*)

12 FEB 2019

Uraian Tugas Akhir:

Dalam sebuah komunikasi jarak jauh, kinerja sistem akan berkurang dengan berbagai parameter, seperti adanya noise yang mengganggu, panjang lintasan propagasi, dan variasi kanal terhadap waktu. Hal ini menyebabkan terjadinya kesalahan pendeteksian gelombang pembawa yang menyebabkan terjadinya pergeseran atau perubahan informasi pada sisi penerima.

Penerima koheren memerlukan sinkronisasi untuk sinyal yang diterima, agar mencapai karakteristik demodulasi yang lebih baik dari penerima yang tidak koheren. Semua sistem komunikasi digital yang menggunakan modulasi koheren membutuhkan tiga level sinkronisasi, *carrier, symbol, dan frame synchronization*. *Carrier Synchronization* (Sinkronisasi Gelombang Pembawa) bekerja pada proses baseband yang dirancang melalui SDR dengan tujuan agar perubahan fasa dan frekuensi saat proses transmisi dapat dikompensasi di penerima. Penelitian yang dilakukan adalah sinkronisasi gelombang pembawa untuk sistem komunikasi HF pada Surabaya – Malang menggunakan SDR berupa USRP.

Kata Kunci: USRP, Sistem Komunikasi HF, Sinkronisasi Gelombang Pembawa

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


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


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


Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

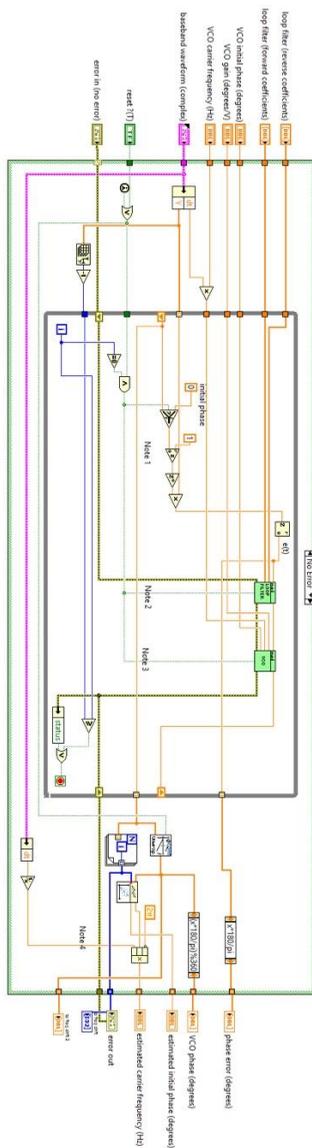
Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi


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


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

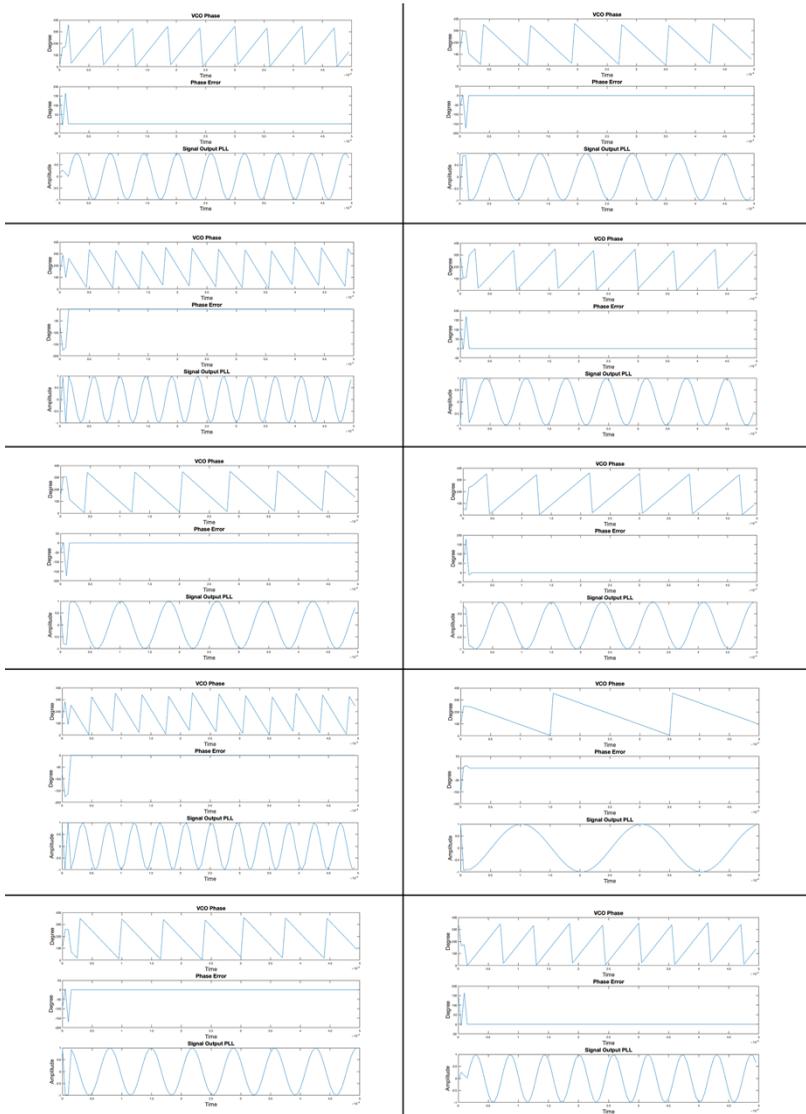
LAMPIRAN C

Modul Baseband PLL

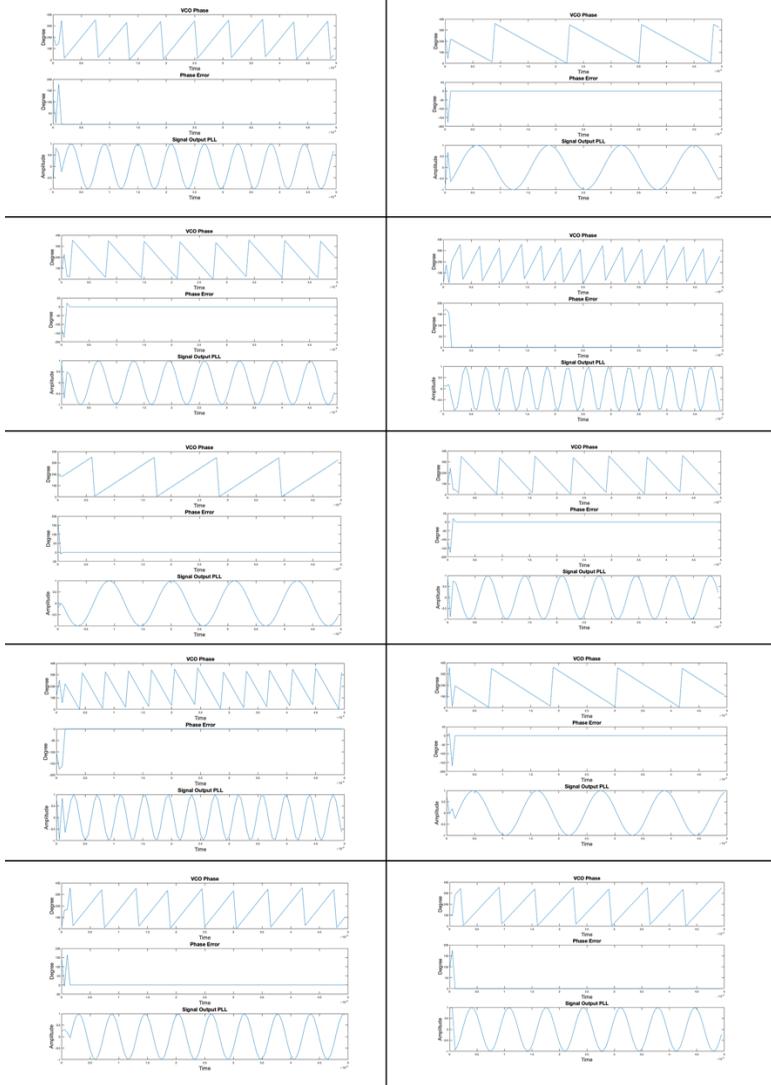


LAMPIRAN D

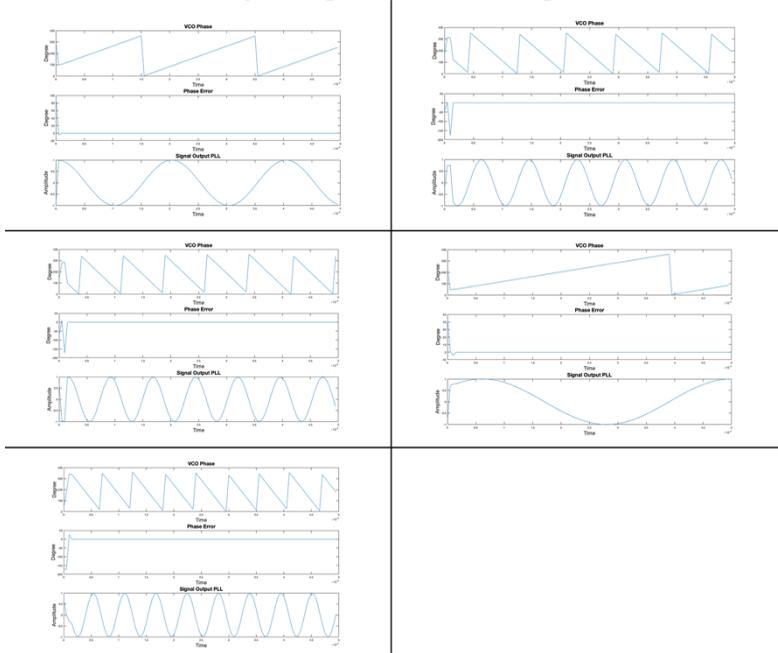
Hasil *Carrier Recovery* (Sampel Data ke-1 sampai 10)



Hasil *Carrier Recovery* (Sampel Data ke-11 sampai 20)

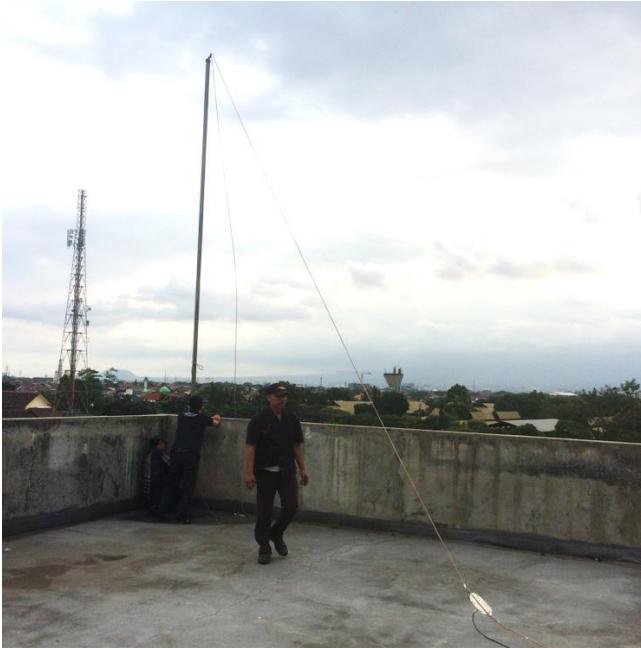


Hasil *Carrier Recovery* (Sampel Data ke-21 sampai 25)



LAMPIRAN E
Dokumentasi Kegiatan Penelitian Tugas Akhir





RIWAYAT PENULIS



Irawan Budiadi Luhur, lahir di Surabaya pada tanggal 6 Nopember 1995. Menempuh pendidikan formal dari SDN Kendangsari 1 Surabaya, SMPN 6 Surabaya, SMAN 17 Surabaya, dan melanjutkan studinya di D3 Teknologi Multimedia Broadcasting, Politeknik Negeri Surabaya pada Tahun 2013.

Pada bulan Juli 2016, penulis mengikuti seminar dan Ujian Tugas Akhir dengan judul "Perancangan dan Pengembangan Drone untuk Aplikasi Foto *Selfie* Berbasis IOS" pada program studi D3 Teknologi Multimedia Broadcasting sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.).

Setelah mendapat gelat A.Md, pada tahun 2017 penulis melanjutkan studinya di Teknik Elektro pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Hingga pada bulan Juni 2019, penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir dengan judul "Sinkronisasi Gelombang Pembawa untuk Sistem Komunikasi HF Berbasis USRP" pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Departemen Teknik Elektro FTE ITS sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.). Penulis dapat dihubungi melalui *email* di irawanb.luhur@gmail.com.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]