

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IMPLEMENTASI RADAR MIMO DENGAN SINYAL OFDM  
PADA PERANGKAT TRANSCEIVER BERBASIS SDR**

Chandra Hidayatul Akbar  
NRP. 0711144000046

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng. Ph.D.  
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

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



**TUGAS AKHIR - RE 141599**

**IMPLEMENTASI RADAR MIMO DENGAN SINYAL OFDM  
PADA PERANGKAT TRANSCEIVER BERBASIS SDR**

Chandra Hidayatul Akbar  
NRP. 0711144000046

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng. Ph.D.  
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

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

## **Pernyataan Keaslian Tugas Akhir**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Implementasi Radar MIMO dengan Sinyal *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* pada Perangkat *Transceiver* Berbasis *Software Define Radio (SDR)***” 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 2018

Chandra Hidayatul Akbar  
0711144000046

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

**IMPLEMENTASI RADAR MIMO DENGAN SINYAL OFDM  
PADA PERANGKAT TRANSCIEVER BERBASIS SDR**

**TUGAS AKHIR**


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

  
**Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.**  
NIP. 196605101992032002



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# **IMPLEMENTASI RADAR MIMO DENGAN SINYAL OFDM PADA PERANGKAT TRANSCEIVER BERBASIS SDR**

Nama : Chandra Hidayatul Akbar  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D  
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

## **Abstrak**

Sistem radar MIMO dengan gelombang OFDM dikembangkan karena keistimewaan gelombang radar OFDM yang mampu menghasilkan deteksi jarak dan kecepatan yang saling independen. Sedangkan untuk mendeteksi sudut kedatangan target diperlukan sistem MIMO. Sistem radar MIMO yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah sistem radar MIMO *non-coherent* sehingga gelombang OFDM menjadi kandidat yang cocok untuk sistem radar MIMO pada tugas akhir ini karena sinyal OFDM menghasilkan subcarrier yang saling independen. Sistem radar MIMO-OFDM ini digunakan untuk mendeteksi jarak, laju radial, dan sudut kedatangan dari suatu objek.

Sistem MIMO-OFDM akan diimplementasikan pada perangkat berbasis SDR. Sistem MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2 dengan konfigurasi dua antena pemancar dan dua antena penerima. Masing-masing antena mengirimkan sinyal dengan frekuensi yang berbeda dengan menggunakan antena log periodic. Perancangan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak LabVIEW Communication kemudian implementasi pada perangkat berbasis SDR. Pengujian dan pengukuran dilakukan untuk validasi dan evaluasi kinerja sistem radar MIMO-OFDM dalam mendeteksi jarak dan sudut kedatangan suatu target. Implementasi sistem radar MIMO-OFDM pada SDR perlu memperhatikan spesifikasi dan kemampuan dari perangkat dan host PC yang digunakan karena mempengaruhi spesifikasi dan kinerja radar nantinya.

**Kata Kunci:** Radar MIMO, OFDM, SDR

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



# ***IMPLEMENTATION OF MIMO-OFDM RADAR ON SOFTWARE DEFINED RADIO (SDR) BASED TRANSCEIVER***

Nama : Chandra Hidayatul Akbar  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D  
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

## **Abstract**

Abstract – MIMO radar system with OFDM signal is developed because of its speciality and ability in producing range and velocity detection independent between each other. Meanwhile, for Direction on Arrival detection, MIMO antenna sistem in needed. MIMO radar system that is used in this final project is non-coherent MIMO radar system, os OFDM signal is the suitable candidate for MIMO radar sistem in this final prject because OFDM signal is consist of many independent subcarrier. MIMO-OFDM radar used to detect range, velocity, Direction on Arrival of the target.

MIMO-OFDM radar will be implemented in Software Defined Radio. MIMO sistem that will be used is 2x2 MIMO with two transmitter antenna and two receiver antenna configuration. Each antenna will sen d signal with different frequency using log periodic antenna. Desain and simulation will be carried out using LabVIEW Communication 2.0 software the implemented in SDR. Test and measurement will be carried out as a validation and evaluation of MIMO-OFDM radar performance in range, velocity, Direction on Arrival detection. MIMO-OFDM radar implementation in SDR need to consider specification and capability of the hardware and host PC that will be used because it will affect specification and performance of MIMO-OFDM radar.

**Kata Kunci:** MIMO Radar, OFDM, SDR

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## Kata Pengantar

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan anugerah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Implementasi Radar MIMO dengan Sinyal OFDM Pada Perangkat Transceiver SDR**” untuk memenuhi persyaratan pendidikan pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaannya terdapat berbagai kendala dan permasalahan, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak, kendala dan permasalahan dapat teratasi. Karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu membantu dalam berbagai hal.
2. Ibu Devy Kuswidiastuti, S.T., M.Sc., Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D., dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, M.T. atas bimbingan yang diberikan dari awal penelitian sampai dengan ujian tugas akhir.
3. Rekan-rekan anggota Lab. Antena dan Propagasi yang telah membantu dalam melakukan proses pengujian penelitian.
4. Rekan-rekan senior yang telah membantu memberikan saran dan petunjuk atas penelitian tugas akhir.
5. Seluruh rekan yang telah membantu dan menemani dalam melakukan proses pengujian penelitian.

Penulis menyadari bahwa pada penulisan laporan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan dari penulis. Walaupun demikian, diharapkan laporan ini dapat bermanfaat untuk penelitian ke depannya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	i
Halaman Pengesahan .....	iii
Abstrak .....	v
Abstract .....	vii
Kata Pengantar .....	ix
Daftar Isi .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika Pembahasan .....	5
1.7. Relevansi .....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Sistem Radar [2] .....	7
2.1.1. Radar Cross Section .....	8
2.1.2. Deteksi Target .....	8
2.2. Sistem MIMO [3] .....	10
2.3. Modulasi M-PSK [4] .....	11
2.4. Radar dengan Teknik Sinyal OFDM [5] .....	12
2.4.1. FFT/IFFT .....	15
2.4.2. Cyclic Prefix .....	16
2.4.3. Frekuensi Doppler dan Spasi Frekuensi Antar <i>Subcarrier</i> .....	16

2.4.4.	Jarak Maksimal dan Resolusi Jarak .....	17
2.4.5.	Laju radial Maksimal dan Resolusi Laju radial.....	17
2.5.	Radar MIMO [3] .....	17
2.5.1.	Uniform Linear Array MIMO Radar [6].....	19
2.6.	Metode Pemrosesan Radar .....	19
2.6.1.	Metode Pemrosesan Berdasarkan Simbol dan Periodogram [1].....	19
2.6.2.	Algoritma MUSIC untuk Memperkirakan <i>Direction of Arrival (DoA)</i> [7] .....	20
2.7.	Link Budget Radar .....	21
2.8.	SDR dan USRP .....	22
2.8.1.	NI USRP-2943R [8].....	22
2.8.2.	NI USRP-2922 .....	24
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
3.1.	Desain Sistem.....	27
3.1.1	Spesifikasi Radar .....	32
3.2.	Perancangan Sistem dengan Simulasi LabVIEW Communications 2.0 .....	35
3.2.1.	Sub Sistem Pemancar Pada LabVIEW Communications 2.0. .....	35
3.2.2.	Sub Sistem Penerima Pada LabVIEW Communications 2.0 . .....	38
3.2.3.	Pemodelan Target Pada LabVIEW Communications 2.0 ..	40
3.2.4.	Sub Sistem Pengolahan Informasi LabVIEW Communications 2.0 .....	42
3.2.5.	Pengolahan Informasi Radar Menggunakan MATLAB.....	46
3.3.	Konfigurasi Sistem Pada USRP .....	48
3.3.1.	Pengaturan Sistem pada Pemancar.....	49
3.3.2.	Pengaturan Sistem pada Penerima .....	50

3.3.3. Sinkronisasi Antara Pemancar dan Penerima .....	50
3.4. Perancangan Sistem Pengujian .....	51
3.5. Metode Pengujian .....	54
3.5.1. Konfigurasi Perangkat saat Pengujian .....	54
3.5.2. Antena Radar .....	57
3.5.3. Target Radar .....	58
3.5.4. Skema dan Konfigurasi Pengujian .....	60
3.6. Kalibrasi Sistem saat Pengukuran .....	61
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....	65
4.1. Sinyal Radar MIMO-OFDM dengan USRP 2922 .....	65
4.2. Analisis Hasil Deteksi Radar .....	66
4.3. Analisis Hasil Pengukuran dengan Target <i>Research Centre ITS</i> . .....	69
4.4. Analisis Hasil Pengukuran dengan Target MIPA Tower ITS...	75
4.5. Analisis Metode Pengukuran dan Hasil Pengukuran .....	79
4.6. Sistesis .....	80
BAB 5 PENUTUP .....	83
5.1. Kesimpulan .....	83
5.2. Saran .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	85
LAMPIRAN A .....	87
LAMPIRAN B .....	89
LAMPIRAN C .....	97
LAMPIRAN D .....	102
RIWAYAT PENULIS .....	107

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Konsep radar untuk keperluan otomotif [1].....	2
<b>Gambar 2.1</b> Prinsip kerja radar [2] .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Sistem MIMO secara umum .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Diagram konstelasi BPSK .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Blok diagram sistem radar OFDM [5] .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Ilustrasi M-simbol OFDM dengan N-subcarrier [1] .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Cyclic prefix .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Ilustrasi radar MIMO .....	18
<b>Gambar 2.8</b> Geometri antena untuk Uniform Linear Array MIMO radar [6].....	19
<b>Gambar 2.9</b> Blok diagram NI USRP 2943 .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Bagian depan USRP 2943.....	23
<b>Gambar 2.11</b> Bagian belakang USRP 2943.....	24
<b>Gambar 2.12</b> Blok diagram USRP 2922.....	25
<b>Gambar 2.13</b> Bagian depan USRP 2922.....	25
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Fishbone Implementasi Radar MIMO-OFDM..	29
<b>Gambar 3.2</b> Blok diagram sistem radar MIMO-OFDM (a).....	30
<b>Gambar 3.3</b> Blok diagram sistem radar MIMO-OFDM (b) .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Diagram blok desain parameter radar OFDM.....	33
<b>Gambar 3.5</b> Alokasi <i>subcarrier</i> untuk pemancar 1 dan pemancar 2 ...	35
<b>Gambar 3.6</b> Program membangkitkan bit data dan <i>mapping</i> PSK .....	36
<b>Gambar 3.7</b> Diagram realisasi Seri-to-Parallel pada LabVIEW .....	37
<b>Gambar 3.8</b> Program IFFT, penambahan CP, Parallel to Seri .....	38
<b>Gambar 3.9</b> Program untuk jumlah dan index <i>cyclic prefix</i> .....	39
<b>Gambar 3.10</b> Program penghapusan <i>cyclic prefix</i> .....	39
<b>Gambar 3.11</b> Diagram FFT .....	40
<b>Gambar 3.12</b> Program pemodelan jarak target .....	41
<b>Gambar 3.13</b> Program pemodelan laju radial target .....	41
<b>Gambar 3.14</b> Program pemodelan sudut kedatangan dari target .....	42
<b>Gambar 3.15</b> Program pemrosesan radar untuk plot kelajuan .....	43
<b>Gambar 3.16</b> Program pemrosesan radar untuk plot jarak .....	43
<b>Gambar 3.17</b> Hasil deteksi jarak pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0.....	44
<b>Gambar 3.18</b> Hasil deteksi laju radial pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0.....	45
<b>Gambar 3.19</b> Hasil deteksi DoA pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0.....	45

<b>Gambar 3.20</b>	Program untuk sinkronisasi menggunakan Octoclock....	50
<b>Gambar 3.21</b>	Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW	
Comm. 2.0 (a)	.....	51
<b>Gambar 3.22</b>	Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW	
Comm. 2.0 (b)	.....	52
<b>Gambar 3.23</b>	Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW	
Comm. 2.0 (c)	.....	53
<b>Gambar 3.24</b>	Skema konfigurasi perangkat keras .....	55
<b>Gambar 3.25</b>	<i>Microstrip Log Periodic Antenna</i> .....	57
<b>Gambar 3.26</b>	Konfigurasi antena pemancar dan antena penerima .....	58
<b>Gambar 3.27</b>	Research Centre ITS sebagai target.....	59
<b>Gambar 3.28</b>	MIPA Tower sebagai target.....	59
<b>Gambar 3.29</b>	Target 1 ( <i>Research Centre ITS</i> ) .....	60
<b>Gambar 3.30</b>	Target 2 (MIPA Tower ITS).....	61
<b>Gambar 3.31</b>	Spektrum daya penerima saat pemancar mati .....	62
<b>Gambar 3.32</b>	Spektrum daya penerima saat pemancar hidup .....	62
<b>Gambar 3.33</b>	Spektrum sinyal yang dikirim pemancar .....	63
<b>Gambar 3.34</b>	Spektrum frekuensi pada penerima saat pemancar mati	63
<b>Gambar 3.35</b>	Spektrum frekuensi pada penerima saat pemancar hidup	64
<b>Gambar 4.1</b>	Spektrum frekuensi menggunakan <i>Spectrum Analyzer</i> ....	65
<b>Gambar 4.2</b>	Error <i>Underflow</i> saat pemancar saja yang Hidup .....	66
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil deteksi laju radial saat pemancar mati.....	67
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil deteksi laju radial saat pemancar menyala .....	67
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil deteksi jarak saat pemancar menyala .....	68
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil deteksi jarak saat pemancar menyala .....	68
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil deteksi jarak RX 1 (B = 500 kHz).....	70
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil deteksi kecepatan RX 1 (B = 500 kHz).....	70
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil deteksi DoA RX 1 (B = 500 kHz).....	71
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil deteksi jarak RX 1 (B = 500 kHz).....	75
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil deteksi kecepatan RX 1 (B = 500 kHz).....	76
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil deteksi DoA RX 1 (B = 500 kHz).....	76
<b>Gambar 4.13</b>	Sinyal pantulan dari permukaan miring.....	80

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Spesifikasi Pemancar USRP 2943R .....	23
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Penerima USRP 2943R.....	23
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi Pemancar USRP 2922.....	24
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Penerima USRP 2922 .....	24
<b>Tabel 3.1</b> Parameter Radar MIMO-OFDM .....	34
<b>Tabel 3.2</b> Panel Pemancar saat Pengujian .....	52
<b>Tabel 3.3</b> Panel Penerima saat Pengujian .....	53
<b>Tabel 3.4</b> Daftar Perangkat Keras saat Pengukuran .....	55
<b>Tabel 3.5</b> Link Budget Radar .....	56
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 500 kHz.....	71
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 5 MHz .....	73
<b>Tabel 4-3</b> Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 10 MHz dan 15 MHz .....	74
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 500 kHz.....	77
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 5, 10, 15 MHz .....	78

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB 1

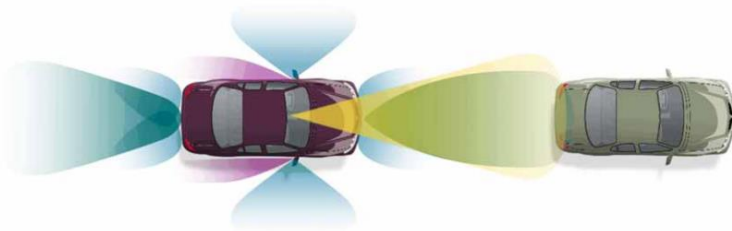
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada awal perkembangannya, radar berfungsi untuk mendeteksi target dan penentuan jarak target dalam aplikasi militer. Radar semakin berkembang hingga memiliki berbagai fungsi, seperti untuk militer, deteksi pesawat dan kendaraan untuk keperluan sipil, *collision avoidance*, mengamati permukaan bumi, dan lain-lain. Konsep radar merupakan sistem yang digunakan mendeteksi suatu target untuk mendapat informasi berupa posisi, jarak, dan laju radial dimana antenna akan memancarkan sinyal elektromagnetik ke arah target, kemudian target akan memantulkan sinyal tersebut kembali ke antenna untuk diproses.

Pada tugas akhir ini lebih fokus pada aplikasi sistem radar yang menggunakan sinyal OFDM. Sinyal OFDM dikembangkan karena keistimewaan gelombang radar OFDM yang mampu menghasilkan deteksi jarak dan kecepatan yang saling independen. Informasi jarak didapatkan dari pengolahan *delay* yang didapat saat melewati kanal, sedangkan informasi kecepatan didapat dari pengolahan pergeseran frekuensi Doppler. Radar dengan satu *transmitter* dan *receiver* atau biasa disebut *single-input single-output* (SISO) hanya bisa melakukan perhitungan jarak dan pergeseran Doppler. Untuk melakukan perhitungan sudut kedatangan (Direction on Arrival), konfigurasi antenna MIMO diperlukan untuk mendapatkan informasi sudut kedatangan.

Sistem radar MIMO yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah sistem radar MIMO *non-coherent* karena tidak memerlukan sinkronisasi fase seperti pada radar mimo *coherent* dan sinyal pada setiap node antenna tidak saling berkorelasi. Sistem radar MIMO *non-coherent* memerlukan sinkronisasi waktu sehingga memerlukan perangkat sinkronisasi waktu seperti *clock*. Sinyal OFDM menjadi kandidat yang cocok digunakan pada sistem radar MIMO *non-coherent* karena sinyal pada OFDM saling independen atau tidak berkorelasi yang terdiri dari beberapa frekuensi *subcarrier*.



**Gambar 1.1** Konsep radar untuk keperluan otomotif [1]

Implementasi sistem radar MIMO-OFDM dilakukan pada perangkat *Software Defined Radio* (SDR), memanfaatkan kelebihan SDR yang mengimplementasikan komponen yang biasanya diimplementasikan pada perangkat keras ke perangkat lunak pada computer atau sistem *embedded* sehingga perangkat keras yang digunakan lebih sederhana karena operasi lebih banyak dilakukan pada perangkat lunak (software). Salah satu bentuk SDR adalah Universal Software Radio Peripheral (USRP) dan LabVIEW Communications 2.0.

## 1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana kinerja radar MIMO dengan sinyal OFDM untuk mendeteksi jarak suatu objek?
2. Bagaimana kinerja radar MIMO dengan sinyal OFDM untuk mendeteksi sudut kedatangan suatu objek?

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari tugas akhir yang dilaksanakan ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan tugas akhir ini fokus pada implementasi Radar MIMO-OFDM pada USRP dan pengujiannya.
2. Sistem MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2.
3. Sistem radar MIMO yang dikembangkan adalah untuk frekuensi S-band (2-4 GHz).
4. Sinyal yang digunakan adalah OFDM.

## **1.4. Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah menghasilkan sistem radar MIMO OFDM yang diimplementasikan pada perangkat *Software Define Radio* (SDR) untuk mendapatkan data jarak, laju radial, dan sudut kedatangan hasil dari deteksi target sebagai evaluasi kinerja dari radar MIMO yang menggunakan sinyal OFDM.

## **1.5. Metodologi**

### **1. Studi literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari referensi baik berupa buku, jurnal, ataupun sumber penelitian lain yang berkaitan dengan topik penelitian. Studi literatur juga mempelajari perangkat lunak, perangkat keras dan alat bantu lain yang akan digunakan selama penelitian. Dimana materi-materi mengenai topik dari penelitian yang dipelajari antara lain:

- a. Sistem radar, terkait dengan pembahasan radar secara umum dan parameter yang digunakan.
- b. Sistem MIMO, mempelajari pengertian dan pengolahan sinyal menggunakan antenna MIMO.
- c. Teknik sinyal OFDM, mempelajari pengertian dan pengolahan dari teknik sinyal OFDM, khususnya parameter dan cara pembangkitannya.
- d. Radar MIMO, mempelajari sistem antenna MIMO yang akan diimplementasikan untuk sistem radar pada penelitian yang telah dilakukan.
- e. Radar OFDM, mempelajari Teknik sinyal OFDM yang akan diimplementasikan untuk sistem radar pada penelitian yang telah dilakukan.
- f. Radar MIMO OFDM, mempelajari penelitian sistem radar yang menggunakan antenna MIMO dan sinyal OFDM untuk kemudian dilakukan penelitian untuk diimplementasikan pada perangkat berbasis SDR.
- g. LabVIEW Communication, mempelajari perangkat lunak untuk perancangan sistem radar yang selanjutnya dapat diimplementasikan pada perangkat SDR.
- h. USRP, mempelajari perangkat keras, khususnya pada konfigurasi dan implementasi untuk sistem radar.

- i. MATLAB, mempelajari perangkat lunak, khususnya untuk pengolahan sinyal dan dikombinasikan pada perangkat lunak lain.

## **2. Perancangan dan Desain Sistem Radar Doppler OFDM**

Perancangan desain sistem Radar MIMO OFDM pada perangkat lunak LabVIEW Communication untuk diimplementasikan pada perangkat SDR dengan memperhatikan parameter-parameter dari radar dan spesifikasi perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan pada penelitian. Dimulai dengan perancangan radar OFDM berdasarkan beberapa *Subcarrier* dan simbol yang digunakan untuk menghasilkan resolusi radar yang optimum pada perangkat yang digunakan. Kemudian dilakukan perancangan radar OFDM dengan sistem antenna MIMO 2x2. Kemampuan perangkat SDR yang dihubungkan penggunaan perangkat lunak yang sesuai dapat saling mendukung untuk mengoptimalkan kinerja dari sistem radar yang dirancang.

## **3. Simulasi Sistem Radar MIMO OFDM**

Simulasi sistem radar dengan perangkat lunak mengacu parameter yang digunakan, serta pemodelan target mengacu pada rancangan dan desain sebagai pembanding hasil dari pengujian sistem Radar MIMO OFDM pada perangkat berbasis SDR.

## **4. Implementasi Desain Sistem Radar MIMO OFDM pada perangkat berbasis SDR**

Rancangan dan Desain yang telah dilakukan dan selanjutnya diimplementasi pada perangkat berbasis SDR menggunakan perangkat lunak LabVIEW Communication sebagai sebuah program yang dilanjutkan dengan implementasi pada perangkat keras yaitu USRP NI-2943R, USRP NI-2922, Octoclock.

## **5. Pengujian dan Validasi Sistem Radar MIMO OFDM dengan Perangkat Berbasis SDR**

Pada Tahap pengujian dilakukan dengan menetapkan beberapa parameter sebagai acuan dari skenario sistem radar yang sebelumnya telah disesuaikan. Pengujian dilakukan dengan



beberapa skenario yang ditujukan untuk mendapatkan data hasil rancangan dan desain sistem pada perangkat yang digunakan. Skenario yang dilakukan adalah menempatkan sistem radar pada ketinggian 30 meter kemudian diarahkan ke laut atau jalan raya untuk mendeteksi variasi jarak, laju radial dan sudut kedatangan dari target, juga dengan memperhatikan parameter desain sistem radar MIMO OFDM untuk mendapatkan hasil yang optimum.

#### **6. Pengolahan Data hasil Pengujian**

Pengolahan data hasil pengujian dilakukan berdasarkan data yang didapatkan, yang selanjutnya untuk dibandingkan dan dianalisis.

#### **7. Analisis Data**

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil data yang telah didapatkan dari hasil pengujian dan selanjutnya dibandingkan dengan hasil simulasi untuk dapat dianalisis untuk dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

### **1.6. Sistematika Pembahasan**

Pembahasan tugas akhir ini terbagi kedalam lima bab utama dengan rincian sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika pembahasan, serta relevansinya.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang membahas mengenai konsep sistem radar, modulasi M-PSK, teknik sinyal OFDM, Sistem MIMO, radar OFDM, Radar MIMO OFDM, Algoritma MUSIC, SDR, serta perangkat yang digunakan.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebagai langkah-langkah penelitian seperti membuat

rancangan dan desain dari radar MIMO OFDM dengan perangkat lunak dan realisasi hasil rancangan dan desain pada perangkat berbasis SDR.

#### **BAB IV ANALISIS DATA HASIL PENGUJIAN**

Pada bab ini berisi tentang data hasil pengujian yang telah didapatkan beserta hasil simulasi yang akan dibandingkan dan dianalisis terkait dengan hasil deteksi juga permasalahan yang terdapat pada saat pengujian dan simulasi.

#### **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan berbagai hasil data dan analisis yang telah lakukan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

##### **1.7. Relevansi**

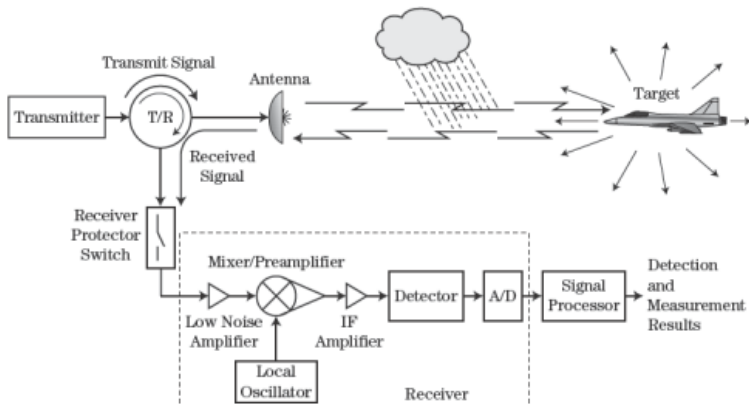
1. Menghasilkan sistem radar yang dapat diterapkan pada pendeteksian jarak, laju radial, dan sudut kedatangan target yang berdasarkan perangkat berbasis SDR khususnya USRP.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan pada implementasi sistem radar MIMO OFDM yang diterapkan pada perangkat berbasis SDR selanjutnya.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sistem Radar [2]

Radar adalah sistem yang memancarkan gelombang elektromagnetik di *radio frequency* ke suatu objek atau daerah yang diinginkan kemudian menerima dan mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh objek atau daerah tersebut. Meskipun sistem radar bervariasi sesuai desain yang diinginkan, tetapi subsistem yang harus ada adalah *transmitter*, *antenna*, *receiver*, dan *signal processor*.

Subsistem yang membangkitkan gelombang elektromagnetik adalah *transmitter*. *Antenna* merupakan subsistem yang memancarkan gelombang elektromagnetik dari transmitter ke medium propagasi (umumnya adalah atmosfer). *T/R device* memiliki fungsi untuk menyediakan titik koneksi sehingga transmitter dan receiver bisa disambungkan ke antenna dan juga sebagai isolasi antar transmitter dan receiver untuk melindungi komponen *receiver* yang sensitive terhadap sinyal dari *transmitter* yang memiliki daya tinggi. Bagian *receiver* untuk menerima gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh objek. Selain sinyal yang dipantulkan objek, benda lain di permukaan tanah juga bisa memantulkan sinyal elektromagnetik yang biasa disebut *clutter*.



Gambar 2.1 Prinsip kerja radar [2]

Komponen pada receiver memperkuat sinyal yang diterima sebelum diubah dari *radio frequency* ke *intermediate frequency* (IF), kemudian sinyal tersebut diubah ke digital pada ADC. *Detector* merupakan perangkat yang menghilangkan *carrier* yang selanjutnya dianalisa oleh blok *signal processor*. Prinsip kerja radar ditunjukkan oleh **Gambar 2.1**.

### 2.1.1. Radar Cross Section

Radar Cross Section (RCS) merupakan suatu ukuran dari kemampuan target dalam memantulkan sinyal radar ke arah radar penerima. Nilai RCS suatu target dapat mempengaruhi seberapa besar daya yang akan tertangkap oleh radar. Nilai RCS suatu target bergantung pada beberapa factor dari target tersebut, seperti bahan, ukuran, ukuran relative terhadap panjang gelombang, sudut datang, dan sudut pantul. Pada target yang memiliki pelat datar, nilai RCS bisa dihitung menggunakan rumus di bawah.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \quad (2.1)$$

Nilai  $A$  ( $m^2$ ) merupakan luas permukaan dari pelat datar, sedangkan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari sinyal yang dibangkitkan.

### 2.1.2. Deteksi Target

Waktu yang dibutuhkan gelombang elektromagnetik untuk berpropagasi menuju target dan kembali di *receiver* atau penerima radar ( $\Delta T$ ) pada kecepatan cahaya ( $c$ ) yang memiliki nilai  $3 \times 10^8$  m/s dapat digunakan untuk menghitung jarak suatu target ( $R$ ) terhadap radar. Jarak yang ditempuh oleh sinyal agar kembali ke receiver di radar adalah dua kali jarak antara radar dan target karena sinyal akan merambat dari pemancar radar menuju target kemudian dipantulkan oleh target sehingga merambat kembali ke penerima radar. Pada kasus ini yaitu sistem radar, waktu yang diperlukan sinyal untuk kembali pada penerima radar adalah  $2R/c$  sehingga jarak target dapat dirumuskan dengan persamaan 2.2

$$R = \frac{c\Delta T}{2} \quad (2.2)$$

Jarak suatu target didapat dari delay sinyal saat diterima oleh penerima radar yang akan timbul masalah jika radar menggunakan sinyal pulsa dan

sinyal pantulan diterima setelah pulsa kedua dikirim sehingga menimbulkan ambiguitas dalam perhitungan jaraknya. Dari masalah tersebut muncul jarak maksimum radar yang dapat dideteksi tanpa menimbulkan ambiguitas (*Maximum Unambiguous Range*) adalah jarak maksimum yang dapat dideteksi oleh radar sebelum sinyal selanjutnya ditransmisikan kembali yang dijelaskan dalam persamaan (2.3)

$$R_{unamb} = \frac{cT_{max}}{2} \quad (2.3)$$

Dimana  $T_{max}$  merupakan waktu maksimal suatu sinyal dipancarkan dan diterima lagi oleh radar tanpa terjadi ambiguitas antar sinyal yang diterima oleh radar. Untuk mencegah ambiguitas tersebut, kondisi  $T_p \leq PRI$  (Pulse Repetition Interval) harus dipenuhi. Selain itu, untuk menentukan laju radial target menggunakan persamaan berikut :

$$V = \frac{c f_d}{2 f} \quad (2.4)$$

Dimana  $f_D$  merupakan frekuensi doppler yang terjadi akibat perbedaan antara laju target dengan laju radar sehingga terjadi pergeseran frekuensi karena frekuensi yang dipantulkan berbeda dengan frekuensi yang dipancarkan. Dan  $f$  sendiri merupakan frekuensi kerja yang dipancarkan dalam satuan Hertz.

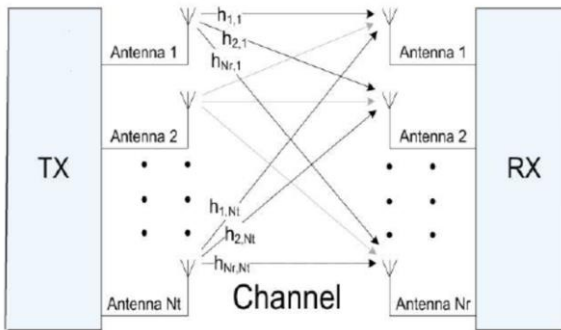
Sama halnya dengan penentuan jarak, Untuk menentukan suatu laju radial yang dapat terdeteksi dapat dijelaskan dengan persamaan

$$V_{unamb} = \frac{c f_d}{2 f} \text{ atau } V_{unamb} = \frac{c}{2 f T} \quad (2.5)$$

Pada sistem radar umumnya disebut sebagai *first blind speed* radar, merupakan dimana terjadi keambiguan terhadap frekuensi doppler yang menyebabkan tidak dapat terukurnya informasi doppler yang terjadi yang dikarenakan nilai magnitude dari laju radial terlalu rendah. Dijelaskan dengan persamaan (2.5), dimana  $T$  merupakan  $1/f_d$  dan harus memenuhi persyaratan  $f_d$  maksimal adalah  $PRF/2$  dimana  $PRF$  adalah  $1/PRI$ .

## 2.2. Sistem MIMO [3]

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem dengan banyak input dan banyak output jadi terdapat banyak terminal (antena) pemancar dan penerima. Sistem ini merupakan metode untuk meningkatkan kapasitas dari suatu link radio menggunakan banyak penerima dan pemancar dengan memanfaatkan komponen multipath. Komponen multipath tersebut digunakan untuk meningkatkan diversitas dan efisiensi bandwidth.



**Gambar 2.2** Sistem MIMO secara umum

**Gambar 2.2** menunjukkan sistem MIMO merupakan sistem dengan banyak antenna pemancar dan antenna penerima. Setiap antenna penerima akan menerima semua sinyal yang dikirim oleh setiap antenna yang ada. Setiap sinyal yang diterima oleh satu antenna akan melewati kanal yang berbeda-beda. Dimisalkan sinyal yang dikirim oleh antenna Tx1, Tx2, Tx3, ..., Txn adalah  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$  yang melewati kanal  $h_{1Nr}, h_{2Nr}, h_{3Nr}, \dots, h_{nNr}$ . Secara umum, sinyal yang diterima oleh antenna penerima dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + \dots + h_{1N}s_N \\ x_2 &= h_{21}s_1 + h_{22}s_2 + \dots + h_{2N}s_N \\ &\vdots \\ &\vdots \\ x_N &= h_{N1}s_1 + h_{N2}s_2 + \dots + h_{nN}s_N \end{aligned}$$

Atau, secara umum dapat digabungkan ke dalam suatu persamaan, yaitu:

$$r_N(t) = \sum_{k=1}^K h_{Nk}(t) s_k(t) \quad (2.6)$$

menghasilkan model sinyal sederhana sistem MIMO:

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{s}(t) \quad (2.7)$$

Untuk semua  $N_t$  sinyal, digunakan notasi matriks:

$$\mathbf{s}(t) = \begin{pmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ s_3(t) \\ \vdots \\ s_N(t) \end{pmatrix}, \mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ \vdots \\ x_N(t) \end{pmatrix}, \mathbf{H}(t) = \begin{pmatrix} h_{11}(t) & \dots & h_{1K}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \dots & h_{NK}(t) \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

matriks  $\mathbf{H}(t)$  merupakan matriks kanal MIMO yang didapat dari estimasi nilai kanal transmisi  $h_{ij}$ . Matriks ini akan digunakan untuk mendapatkan kembali sinyal informasi pada sisi penerima dengan mengalikan inverse matriks  $\mathbf{H}(t)$  dengan sinyal pada sisi penerima  $\mathbf{x}(t)$ , seperti pada persamaan berikut:

$$\mathbf{H}^{-1}(t)\mathbf{r}(t) = \mathbf{H}^{-1}(t)\mathbf{H}(t)\mathbf{s}(t) = \mathbf{I}_{N_t}\mathbf{s}(t) = \mathbf{s}(t) \quad (2.9)$$

### 2.3. Modulasi M-PSK [4]

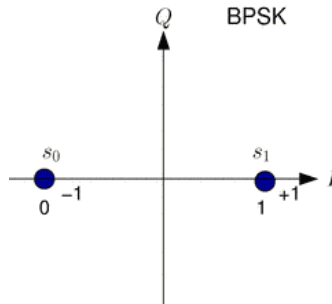
Sistem modulasi M-PSK merupakan salah satu teknik modulasi yang menggunakan sebanyak M-ary titik pada diagram konstelasi. Pada tugas akhir ini, teknik modulasi yang digunakan adalah BPSK. BPSK merupakan bentuk dari modulasi PSK dimana satu bit dimodulasi menjadi satu symbol menggunakan dua fase yang berbeda menjadi dua simbol yang berbeda. Satu simbol terdiri dari satu bit (0, 1). Sinyal BPSK yang termodulasi didefinisikan dalam persamaan :

$$s(t) = A p(t) \cos\left(2\pi f_c t + (2n - 1) \frac{\pi}{M}\right), \quad n = 1, 2, \dots, M \quad (2.10)$$

M-PSK sinyal juga bisa direpresentasikan pada bidang IQ:

$$s(t) = \left[ \cos\frac{(2n-1)\pi}{M} \right] A p(t) \cos(2\pi f_c t) - \left[ \sin\frac{(2n-1)\pi}{M} \right] A p(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2.11)$$

$$p(t) \text{ adalah pulse shape dari simbol} \quad (2.12)$$



**Gambar 2.3** Diagram konstelasi BPSK

Pada diagram konstelasi BPSK **Gambar 2.3**, pasangan bit yang dibangkitkan memiliki perbedaan. Dimana  $r$  merupakan jarak simbol yang didapat dari hasil akar penjumlahan kuadrat energi bit. Pada banyak software termasuk labview communication, fungsi  $r$  biasanya bernilai 1. Penentuan perbedaan sudut fasa dijelaskan pada persamaan (2.10), sehingga didapat:

$$\begin{aligned}
 x_1(t) &= \frac{A}{\sqrt{E_s}} p(t) \cos(2\pi f_c t) \\
 x_1(t) &= \frac{A}{\sqrt{E_s}} p(t) \cos(2\pi f_c t)
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

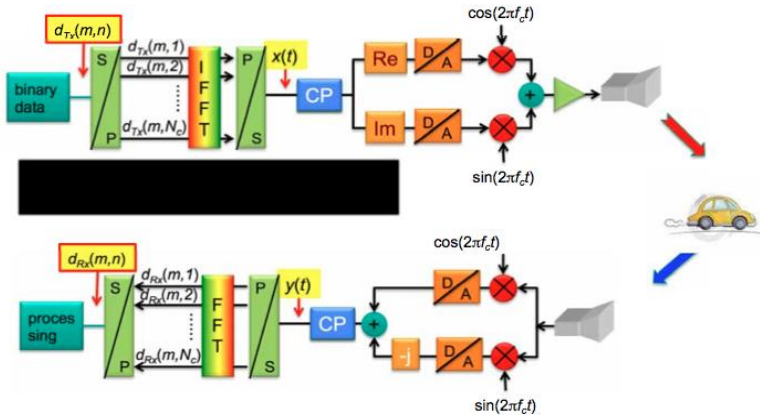
#### 2.4. Radar dengan Teknik Sinyal OFDM [5]

OFDM merupakan bentuk modulasi dengan multicarrier. Sinyal OFDM terdiri dari beberapa *carrier* atau biasa disebut *subcarrier* yang termodulasi dengan jarak antar *subcarrier* yang dekat. Frekuensi *subcarrier* akan saling overlapping tanpa terjadi interferensi karena *subcarrier* tersebut saling *orthogonal* atau nol saat hasil kali dua fungsi yang berbeda diintegral. Jarak frekuensi antar dua *subcarrier* yang saling bersebelahan sering disebut spasi frekuensi *subcarrier* ( $\Delta f$ ). Dalam sinyal OFDM yang dipancarkan dapat ditentukan *bandwidth* sinyalnya berdasarkan jumlah *Subcarrier* dan jarak atau spasi antar *Subcarrier*.

Salah satu kekurangan teknik sinyal OFDM pada sistem komunikasi adalah sensitif terhadap pergeseran frekuensi Doppler.



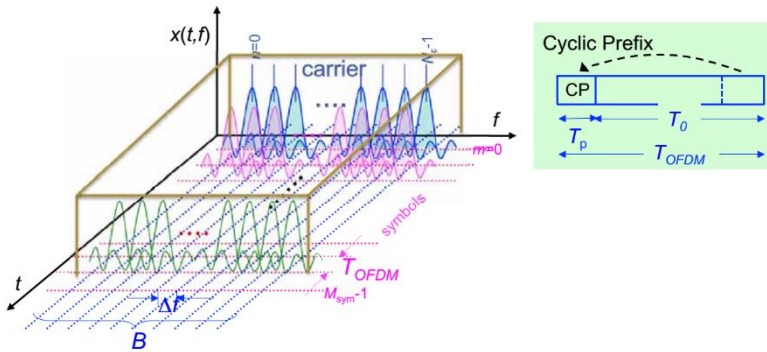
Namun pada aplikasi sistem radar, pergeseran frekuensi Doppler digunakan untuk mendapatkan informasi kecepatan target sehingga kekurangan sinyal OFDM yang sensitif terhadap pergeseran frekuensi Doppler menjadi keuntungan jika diaplikasikan pada sistem radar.



Gambar 2.4 Blok diagram sistem radar OFDM [5]

**Gambar 2.4** merupakan blok diagram sistem radar yang menggunakan sinyal OFDM. Binary data yang telah dimodulasi akan diproses *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) agar sinyal saling *orthogonal*. Selanjutnya sinyal tersebut akan ditambahkan *cycle prefix* yang berfungsi sebagai guard antar symbol OFDM untuk mengurangi *Intersymbol Interference* (ISI) dan *Intercarrier Interference* (ICI). Kemudian sinyal akan masuk I/Q modulator sebelum dipancarkan. Sedangkan pada sisi penerima memiliki blok diagram yang hampir sama hanya saja pada sisi penerima sinyal akan mengalami proses *Fast Fourier Transform* (FFT) sebelum masuk proses untuk mendapatkan informasi delay dan frekuensi doppler yang digunakan untuk mendapatkan informasi jarak dan kecepatan.

Pemodelan sinyal yang dipancarkan untuk sistem radar OFDM  $x(t)$  adalah seperti berikut [1] :



**Gambar 2.5** Ilustrasi M-simbol OFDM dengan N-subcarrier [1]

$$x(t) = A \sum_{m=0}^{M_{sym}-1} \sum_{n=0}^{N_c-1} d_{TX}(mN_c + n) e^{j2\pi f_n t} \text{rect}\left(\frac{t - mT_0}{T_0}\right) \quad (2.14)$$

dimana,

$$mT_0 \leq t \leq (m + 1)T_0$$

**Gambar 2.5** menjelaskan bahwa  $N_c$  merupakan jumlah *subcarrier* dengan  $n$  adalah indeks dari setiap *subcarrier*,  $M_{sym}$  merupakan total simbol OFDM yang dikirimkan oleh transmitter dengan  $m$  adalah indeks dari setiap simbol OFDM. Sedangkan  $d_{TX}(m + n)$  merupakan deretan bilangan kompleks dari modulasi yang digunakan, dimana pada kasus ini modulasi yang digunakan adalah QPSK,  $f_n$  adalah frekuensi setiap *subcarrier* dan  $T_0$  adalah durasi simbol OFDM dasar.

Sinyal yang diterima oleh receiver akan memiliki informasi jarak dan kecepatan karena telah mengenai suatu target. Informasi jarak dan kecepatan tersebut didapat dari *delay* sinyal karena menempuh jarak sejauh  $2R$  dan jika target bergerak maka akan terjadi pergeseran frekuensi doppler, maka sinyal terima dimodelkan seperti persamaan:

$$y(t) = \sum_{m=0}^{M_{sym}-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_{RX}(mN_c + n) e^{j2\pi f_n t} \text{rect}\left(\frac{t - mT_0}{T_0}\right) \quad (2.15)$$

dimana,

$$d_{RX}(m, n) = a(m, n) \cdot e^{-j2\pi\Delta f \frac{2R}{c}} e^{j2\pi f_D m T_{OFDM}} \quad (2.16)$$

dan  $a(m, n)$  adalah atenuasi sinyal yang diterima,  $f_D$  adalah frekuensi doppler dan  $T_{OFDM}$  adalah durasi satu simbol OFDM. Transfer fungsi dari kanal didapat dengan membandingkan antara simbol yang diterima  $\{d_{RX}(m, n)\}$  dan simbol yang dikirim  $\{d_{TX}(m, n)\}$  maka didapatkan persamaan:

$$I_{div}(m, n) = \frac{d_{RX}(m, n)}{d_{TX}(m, n)} \quad (2.16)$$

### 2.4.1. FFT/IFFT

Hal yang paling penting dalam teknik sinyal OFDM adalah mengalokasikan *subcarrier* saling tegak lurus (*orthogonal*) agar sinyal yang berurutan tidak saling interferensi meskipun saling *overlap*. Untuk persamaan IFFT dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \exp\left(\frac{j2\pi ik}{N}\right) \quad (2.17)$$

dimana:

$k = 0, 1, \dots, N-1$

$x(i) = \text{Subcarrier ke-}i$

$N = \text{jumlah titik IFFT}$

Pada teknik OFDM, sinyal yang dikirim akan melalui operasi IFFT terlebih dahulu, dimana operasi IFFT adalah transformasi suatu fungsi pada domain frekuensi ke fungsi dalam domain waktu. Sedangkan sinyal yang diterima akan melalui operasi FFT yang akan mentransformasi suatu fungsi pada domain waktu ke fungsi dalam domain frekuensi. Secara umum dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

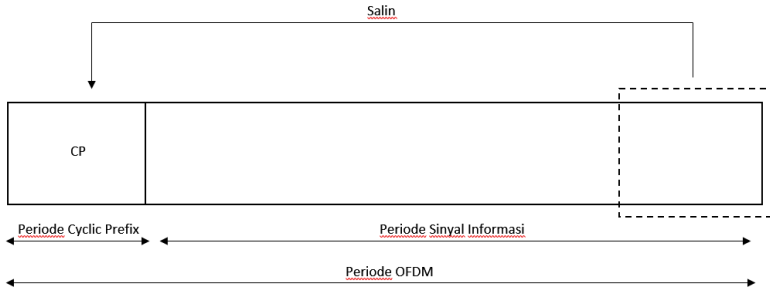
$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df \quad (2.18)$$

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.19)$$

dimana persamaan 2.18 adalah operasi IFFT sedangkan 2.19 adalah operasi FFT.

### 2.4.2. Cyclic Prefix

Dari symbol OFDM yang telah dibentuk, untuk menjaga ortogonalitas symbol OFDM tersebut dari kanal multipath perlu adanya cyclic prefix. Cyclic prefix ini dilakukan dengan menyalin sebagian bit-bit bagian belakan ke awal symbol yang dijelaskan pada **Gambar 2.6**. Cyclic prefix ini sebagai *guard interval* untuk menghilangkan *intersymbol interference* (ISI) dari symbol sebelumnya. Panjang cyclic prefix harus memiliki panjang yang lebih atau sama dengan panjang dari kanal multipath agar tidak terjadi ISI.



**Gambar 2.6** Cyclic prefix

### 2.4.3. Frekuensi Doppler dan Spasi Frekuensi Antar *Subcarrier*

Informasi laju radial dari suatu target bisa didapat dari pergeseran frekuensi Doppler yang terjadi pada sinyal yang dijelaskan pada persamaan berikut:

$$f_D = \frac{2 v}{\lambda} \quad (2.20)$$

dimana  $v$  adalah laju radial relatif dari target yang terdeteksi (m/s) dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari sinyal carrier yang dibangkitkan (m).

#### 2.4.4. Jarak Maksimal dan Resolusi Jarak

*Maximum unambiguous range* ( $R_{max}$ ) adalah jarak maksimal yang dapat dideteksi oleh radar tanpa menimbulkan ambiguitas ditetapkan dengan persamaan

$$R_{max} = \frac{c}{2\Delta f} \quad (2.21)$$

Sedangkan resolusi jarak ( $\Delta R$ ) adalah jarak paling pendek antara dua target yang bisa dideteksi radar tanpa menimbulkan ambiguitas bisa dihitung melalui persamaan

$$\Delta R = \frac{c}{2N_c\Delta f} \quad (2.22)$$

Dimana  $N_c$  adalah jumlah *Subcarrier* yang dibangkitkan dan  $\Delta f$  adalah spasi antar *Subcarrier*. Nilai spasi antar *subcarrier*  $\Delta f$  ditentukan saat perancangan sistemnya dan harus lebih besar dari sepuluh kali frekuensi Doppler untuk menjaga ortogonalitas dari *subcarrier*.

#### 2.4.5. Laju radial Maksimal dan Resolusi Laju radial

Laju radial maksimum ( $V_{max}$ ) dari target yang dapat dideteksi radar OFDM dijelaskan dalam persamaan

$$V_{max} = \frac{\lambda f_D \max}{2} \quad (2.23)$$

Sedangkan resolusi kelajuan ( $\Delta V$ ) dijelaskan dengan persamaan

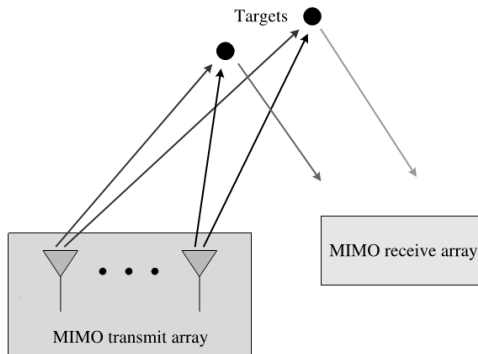
$$\Delta V = \frac{\lambda}{2 T_{OFDM} M_{sym}} \quad (2.24)$$

dimana periode OFDM adalah periode OFDM dasar ditambah periode CP.

### 2.5. Radar MIMO [3]

Radar MIMO dikarakteristikan oleh kemampuannya untuk memancarkan sinyal yang saling *independent* dari banyak antenna pemancar yang memiliki diversitas spasial dan mengamati sinyal pantulan target dari banyak antenna penerima yang juga memiliki

diversitas spasial. Radar MIMO biasanya dibagi menjadi dua jenis berdasarkan jarak antar elemen antenanya, yaitu MIMO dengan antenna yang terpisah dengan jarak yang lebar dan MIMO dengan antenna yang saling berdekatan. Jenis yang biasanya digunakan adalah radar MIMO dengan elemen antenna yang berdekatan sehingga bisa diasumsikan sinyal pantul dari target saling berkorelasi antar elemen antenna. Hal ini memungkinkan pengolahan koheren pada MIMO array. Ilustrasi Radar MIMO bisa dilihat pada **Gambar 2.7**.



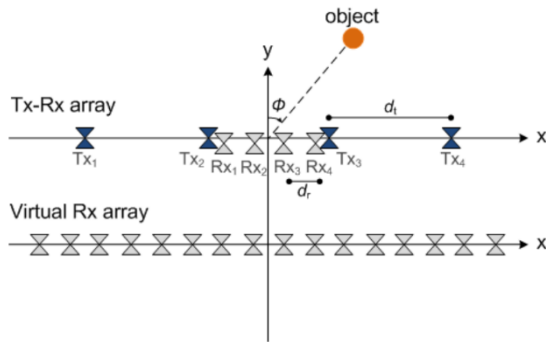
**Gambar 2.7** Ilustrasi radar MIMO

Syarat penggunaan sistem radar MIMO yang memiliki banyak elemen antenna pemancar adalah sinyal yang ditransmisikan harus saling orthogonal satu sama lain. Dua sinyal bisa dikatakan orthogonal jika memenuhi persamaan (2.25).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1(t) \varphi_2^*(t) dt = 0 \quad (2.25)$$

Dalam memaksimalkan ortogonalitas antar sinyal yang dipancarkan, ada beberapa teknik yang bisa digunakan pada radar MIMO, yaitu *Time Division Multiplexing* yang memanfaatkan perbedaan waktu pengiriman sinyal, *Frekuensi Division Multiplexing* yang menggunakan frekuensi berbeda-beda, dan *Code Division Multiplexing* yang menggunakan teknik pengkodean untuk setiap sinyal yang dikirim. Keuntungan dari radar MIMO adalah kapasitas bandwidth yang semakin besar dan resolusi radar yang semakin baik.

### 2.5.1. Uniform Linear Array MIMO Radar [6]



Gambar 2.8 Geometri antenna untuk Uniform Linear Array MIMO radar [6]

Geometri antenna array MIMO yang digunakan adalah *uniform linear array*. Gambar 2.8 merupakan geometri antenna untuk ULA-MIMO, dimana antenna pemancar dan penerima diletakkan sejajar. Antenna penerima akan berada pada satu garis lurus dan berjarak  $d_r$  sedangkan antenna pemancar akan berjarak  $d_t$ .  $d_t$  akan memiliki jarak sebesar  $\lambda$  sedangkan  $d_r$  akan berjarak sebesar  $\lambda/2$ .

### 2.6. Metode Pemrosesan Radar

Hal yang paling penting dalam sistem radar MIMO-OFDM adalah pemrosesan sinyal untuk mendapatkan parameter jarak, laju radial, dan sudut dari target. Parameter jarak didapatkan dari pemrosesan untuk mendapatkan delay, parameter laju radial didapat dari frekuensi Doppler, sedangkan sudut kedatangan didapat menggunakan algoritma MUSIC.

#### 2.6.1. Metode Pemrosesan Berdasarkan Simbol dan Periodogram [1]

Pemrosesan informasi radar seringkali menggunakan metode cross korelasi. Namun pemrosesan pada tugas akhir ini menggunakan pemrosesan berdasar simbol karena komputasinya lebih cepat. Respon kanal yang mengandung informasi yang dialami sinyal pada kanal seperti pergeseran frekuensi Doppler yang disebabkan adanya perbedaan kecepatan dan delay yang dialami sistem radar bisa didapat dengan membandingkan simbol yang diterima dengan simbol yang dipancarkan

seperti persamaan (2.16). Melalui persamaan (2.16) tersebut, jarak dan profil Doppler bisa didapat secara *independent* dari data *payload*.

Untuk target dengan jarak  $R$  dari radar dan laju radial ( $V_r$ ), respon kanal yang terjadi bisa dilihat pada persamaan berikut.

$$(I_{div})_{m,n} = \frac{(d_{RX})_{m,n}}{(d_{TX})_{m,n}} = A(k_R \otimes k_D) = A(k_R \cdot k_D^T) \quad (2.26)$$

dimana,

$$k_R(n) = e^{-j2\pi\Delta f \frac{2R}{c}} \quad \text{dan} \quad k_D(m) = e^{j2\pi f_D m T_{OFDM}} \quad (2.27)$$

Metode pemrosesan berdasarkan symbol menggunakan teknik periodogram dijelaskan sebagai berikut

1. Simbol pada *receiver* setelah operasi FFT dibandingkan dengan simbol di *transmitter* sebelum operasi IFFT.
2. Dilakukan operasi FFT per symbol sejumlah banyaknya symbol

$$v(l) = DFT(I_{div}(m)) = \sum_{m=0}^{M_{sym}-1} I_{div}(m) e^{-j\frac{2\pi}{M_{sym}}ml}, l = 0, \dots, M_{sym} - 1 \quad (2.28)$$

3. Dilakukan operasi IFFT per symbol sejumlah banyaknya subcarrier

$$r(k) = IDFT(I_{div}(n)) = \sum_{n=0}^{N_c-1} I_{div}(n) e^{-j\frac{2\pi}{N_c}nk}, k = 0, \dots, N_c - 1 \quad (2.29)$$

4. Dilakukan operasi absolut untuk memaksimalkan operasi transformasi fourier.

### 2.6.2. Algoritma MUSIC untuk Memperkirakan *Direction of Arrival* (DoA) [7]

Multiple Signal Classification (MUSIC) merupakan metode *eigenstructure* yang terkenal. Pada prinsipnya, teknik pemrosesan sistem antenna MIMO pada *receiver* bisa diterapkan ke sinyal baseband yang diterima secara langsung. Algoritma MUSIC digunakan untuk memperkirakan jumlah sinyal, *angle of arrival*, dan kuat sinyal.

Eigenvalues dicari untuk menentukan jumlah sinyal yang datang. Jika jumlah sinyalnya adalah  $D$ , maka jumlah *eigenvalues* dan *eigenvectors*, sedangkan jumlah noise *eigenvalues* dan *eigenvectors* adalah  $M \pm D$ , dimana  $M$  adalah jumlah elemen antenna penerima.

langkah awal adalah menentukan matrik kovarian dari sinyal yang datang ( $\overline{R_{xx}}$ )

$$\overline{R_{xx}} = \overline{A A^H} \quad (2.30)$$



dimana  $\bar{A}$  adalah sinyal yang datang. Kemudian membangun *eigenvector noise subspace*  $\bar{E}_N$  yang memiliki dimensi  $M \times (M \pm D)$ .

$$\bar{E}_N = [\bar{e}_1 \ \bar{e}_2 \ \dots \ \bar{e}_{M-D}] \quad (2.31)$$

Menggunakan algoritma MUSIC ( $P_{MU}(\theta)$ ), kita bisa memperkirakan DoA menggunakan persamaan berikut:

$$P_{MU}(\theta) = \frac{1}{|\bar{a}(\theta)^H \bar{E}_N \bar{E}_N^H \bar{a}(\theta)|} \quad (2.32)$$

dimana  $\bar{a}(\theta)$  merupakan *array steering vector* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{a}(\theta) = \left[ 1 \ e^{-\frac{j2\pi\sin(\theta)d_r}{\lambda}} \ \dots \ e^{-\frac{j2\pi\sin(\theta)(M-1)d_r}{\lambda}} \right]^T \quad (2.33)$$

Dimana  $d_r$  merupakan jarak antar elemen antenna penerima dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang.

## 2.7. Link Budget Radar

Persamaan (2.34) menjelaskan besaran daya yang diterima.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.34)$$

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k T_0 FB} \quad (2.35)$$

dimana

$P_t$  = daya pancar (Watt)

$G_t$  = gain antena pemancar

$G_r$  = gain antena penerima

$R$  = Jarak (m)

$F$  = Noise Figure

$B$  = Bandwidth (Hz)

$\sigma$  = RCS dari target yang ditentukan ( $m^2$ )

Nilai RCS bisa didapat melalui persamaan persamaan (2.1).

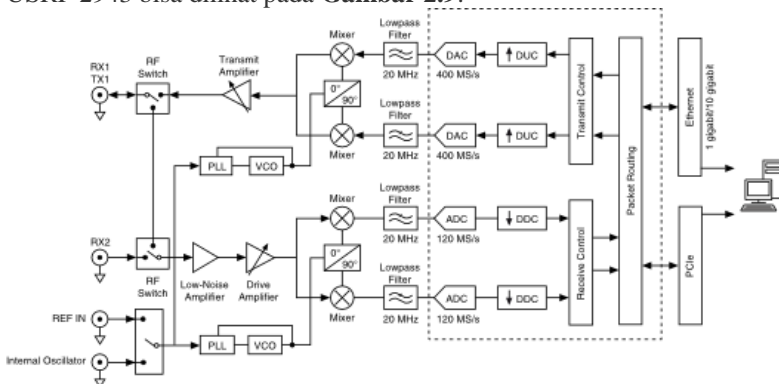
## 2.8. SDR dan USRP

*Software-defined radio* (SDR) adalah sistem komunikasi radio dimana komponen-komponen seperti mixer, filter, modem, detector, dan lainnya diimplementasikan sebagai *software* pada *personal computer* atau *embedded sistem*. Sistem SDR dasar biasanya terdiri dari personal computer yang dilengkapi *sound card* atau *analog-to-digital converter* sebelum perangkat *RF front end*. Sebagian besar pemrosesan sinyal dilakukan oleh processor daripada dilakukan pada *hardware* khusus. Desain tersebut bisa menghasilkan sinyal yang bisa untuk menerima dan memancarkan dengan bermacam-macam protocol.

Universal Software Radio Peripheral (USRP) adalah SDR yang didesain dan dijual oleh *Ettus Research* dan perusahaan induknya, yaitu *National Instrument*. Sebagian besar USRP terhubung ke *host computer* melalui kabel dengan kecepatan tinggi dimana perangkat lunak pada *host computer* digunakan untuk mengatur data pemancar dan penerima pada perangkat keras USRP. Biasanya USRP menggunakan perangkat lunak Labview atau GNU Radio untuk membuat sistem SDR yang kompleks.

### 2.8.1. NI USRP-2943R [8]

USRP 2943 memberikan *hardware* dan *software* yang terpadu sebagai solusi untuk membuat purwarupa sistem komunikasi nirkabel sehingga peneliti bisa membuat purwarupa lebih cepat dan memperpendek waktu untuk mendapatkan hasil. Blok diagram dari USRP 2943 bisa dilihat pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9** Blok diagram NI USRP 2943

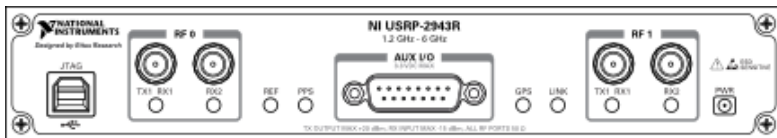
Sistem perangkat USRP NI-2943R mempunyai spesifikasi khusus pada pemancar dan penerima yang ditampilkan dalam **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Pemancar USRP 2943R

Jumlah channel	2
Frequency range 1.2 GHz to 6 GHz	1.2 GHz to 6 GHz
Frequency step	<1 kHz
Maximum output power (P <sub>out</sub> )	
1.2 GHz to 3.5 GHz	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
3.5 GHz to 6 GHz	5 mW to 32 mW (7 dBm to 15 dBm)
Gain range	0 dB to 31.5 dB
Gain step	0.5 dB
Akurasi frekuensi 2.5 ppm	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth	120 MHz
Maximum I/Q sample rate 200 MS/s	200 MS/s
Digital-to-analog converter (DAC)	
Resolusi	16 bit
Spurious-free dynamic range (SFDR)	80 dB

**Tabel 2.2** Spesifikasi Penerima USRP 2943R

Jumlah Kanal	2
Frequency range	1.2 GHz to 6 GHz
Frequency step	<1 kHz
Gain range	0 dB to 37.5 dB
Gain step	0.5 dB
Maximum input power (P <sub>in</sub> )	-15 dBm
Noise figure	5 dB to 7 dB



**Gambar 2.10** Bagian depan USRP 2943

**Gambar 2.10** dan **Gambar 2.11** merupakan tampilan depan dan belakang dari perangkat keras USRP 2943.



Gambar 2.11 Bagian belakang USRP 2943

### 2.8.2. NI USRP-2922

USRP 2922 adalah RF *transceiver* yang bisa disetel dengan *high-speed ADC* dan *DAC* untuk *streaming* sinyal *baseband I/Q* ke host PC melalui kabel *Gigabit Ethernet*.

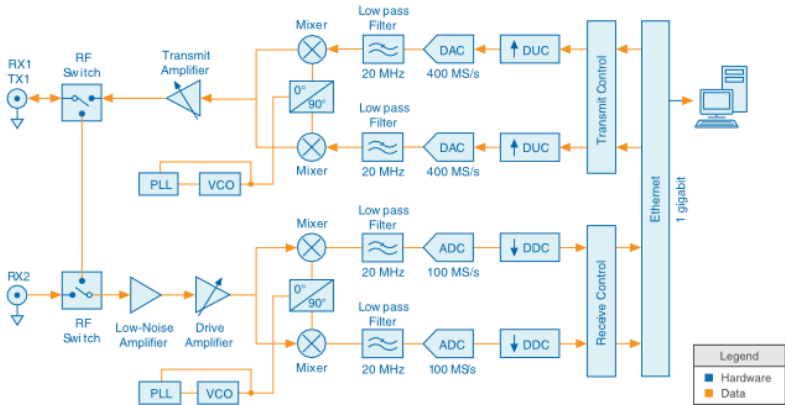
Tabel 2.3 Spesifikasi Pemancar USRP 2922

<i>Frequency range</i>	400 MHz to 4.4 GHz
<i>Frequency step</i>	<1 kHz
<i>Maximum output power (P<sub>out</sub>)</i>	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
<i>Gain range</i>	0 dB to 31 dB
<i>Gain step</i>	0.5 dB
<i>Frequency accuracy 2.5 ppm</i>	2.5 ppm
<i>Maximum instantaneous real-time bandwidth</i>	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
<i>Maximum I/Q sampling rate</i>	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
<i>Digital-to-analog converter (DAC)</i>	2 channels, 400 MS/s, 16 bit
<i>DAC Spurious-free dynamic range (sFDR)</i>	80 dB

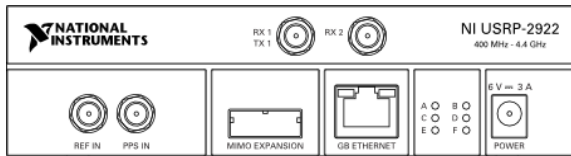
Tabel 2.4 Spesifikasi Penerima USRP 2922

<i>Frequency range</i>	400 MHz to 4.4 GHz
<i>Frequency step</i>	<1 kHz
<i>Gain range</i>	0 dB to 31.5 dB
<i>Gain step</i>	0.5 dB
<i>ADC</i>	2 channels, 100 MS/s, 14 bit
<i>ADC sFDR</i>	88 dB

Sistem perangkat USRP NI-2943R mempunyai spesifikasi khusus pada pemancar dan penerima yang ditampilkan dalam **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4**. Blok diagram dari perangkat USRP 2922 bisa dilihat pada **Gambar 2.12**. Untuk mengetahui bagian konektor dan kabel power bisa melihat bagian depan USRP 2922 pada **Gambar 2.13**.



**Gambar 2.12** Blok diagram USRP 2922



**Gambar 2.13** Bagian depan USRP 2922

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Desain Sistem**

Bab ini akan membahas desain sistem radar MIMO-OFDM pada perangkat lunak LabVIEW Communications 2.0 yang selanjutnya akan diimplementasikan pada perangkat keras USRP. Desain sistem selanjutnya dijelaskan di bawah:

1. Sistem dimulai dengan membangkitkan bit integer *Pseudonumeric* pada program sebagai informasi.
2. Bit data yang dihasilkan akan dimodulasi dengan M-PSK dengan memetakan bit data ke dalam simbol M-PSK.
3. Bit data yang telah dipetakan kemudian masuk proses *serial-to-parallel* untuk mengatur jumlah subcarrier dan jumlah simbol yang diinginkan. Jumlah *subcarrier* dan jumlah simbol akan menjadi variabel sehingga bisa diubah-ubah nantinya.
4. Sistem yang digunakan adalah MIMO 2x2 sehingga terdapat dua buah elemen antena pemancar. Agar sinyal antara pemancar 1 dan pemancar 2 tidak saling interferensi maka jumlah subcarrier yang sudah dibangkitkan akan dibagi menjadi dua bagian. Setengah bagian pertama akan diproses untuk pemancar 1 sedangkan setengah bagian selanjutnya untuk pemancar 2. Kemudian untuk menjaga jumlah subcarrier sama seperti proses *serial-to-parallel* untuk setiap pemancar maka pada pemancar 1 akan ditambah dengan data yang bernilai 0 sejumlah setengah *subcarrier* setelah data *subcarrier*. Sedangkan pemancar 2 juga ditambah data yang bernilai 0 sejumlah setengah *subcarrier* tetapi diletakkan sebelum data *subcarrier* untuk pemancar 2.
5. Selanjutnya data akan melalui proses IFFT untuk membentuk *subcarrier* saling tegak lurus yang merupakan salah satu proses terpenting dari teknik sinyal OFDM.
6. Setelah itu setiap simbol OFDM akan ditambahkan dengan *cyclic prefix* sebagai guard interval antar simbol OFDM untuk mencegah terjadinya *intersymbol interference* (ISI).
7. Mengubah kembali dari bentuk parallel ke seri sebelum ditransmisikan.

8. Sebelumnya, sistem yang dibuat disimulasikan dahulu untuk memastikan bahwa sistem yang didesain sudah benar. Proses transmisi di kanal dan target akan dimodelkan sesuai rancangan untuk implementasi pada USRP.

- Pemodelan jarak target dilakukan dengan menyisipkan sejumlah nilai yang setara dengan delay yang terjadi pada kanal.
- Pemodelan laju radial dilakukan dengan menambahkan nilai frekuensi offset pada sinyal yang sebanding dengan frekuensi Doppler yang terjadi pada kanal akibat laju target.
- Pemodelan *direction on arrival* dari target dilakukan dengan menambahkan *steering vector* pada sinyal yang dipancarkan.

9. Sinyal yang telah berisi informasi target akan diterima oleh antenna penerima yang kemudian diubah dari bentuk serial ke parallel.

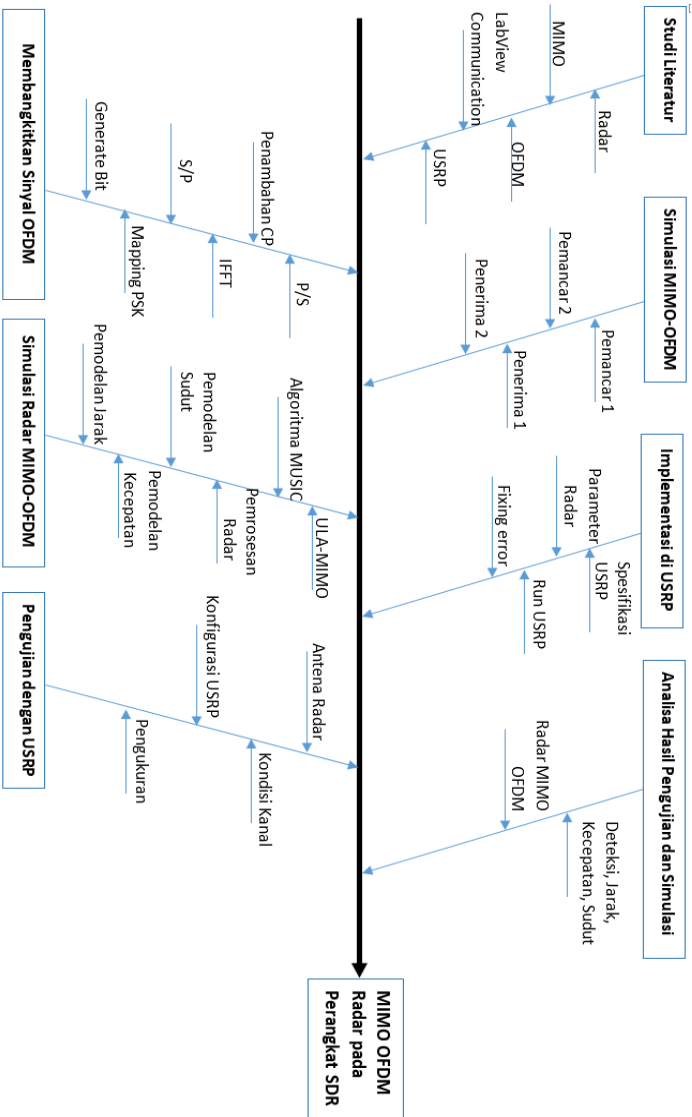
10. Setelah data diubah ke bentuk parallel, selanjutnya akan dilakukan penghapusan *cyclic prefix* pada setiap simbol OFDM. Kemudian data tersebut akan melalui operasi FFT sebelum dilakukan *demapping* untuk mengembalikan data menjadi bit seperti semula.

Untuk mendapatkan informasi jarak dan laju radial target dapat dilakukan dengan membandingkan data dari penerima dengan data dari pemancar. Pemrosesan tersebut akan menghasilkan plot jarak, laju radial dan periodogram.

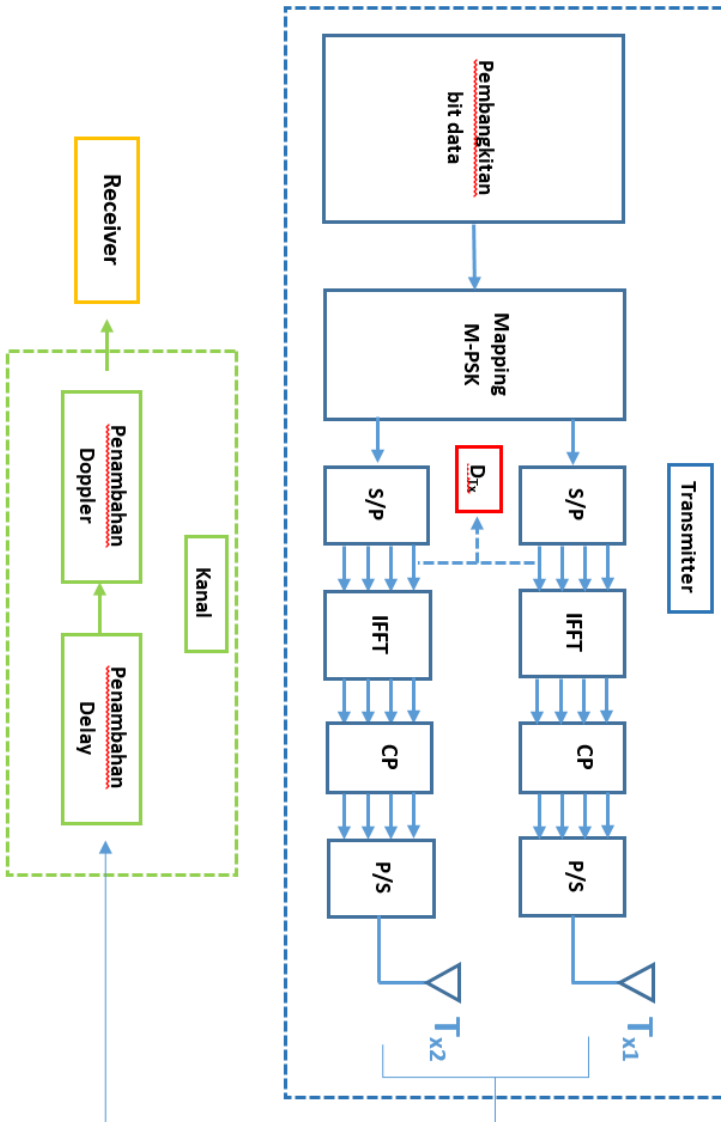
1. Data tiap elemen pada penerima setelah blok FFT dibandingkan dengan data tiap elemen pada pemancar sebelum blok IFFT.
2. Data hasil perbandingan tersebut akan dilakukan operasi FFT per simbol OFDM sejumlah banyaknya simbol OFDM untuk plot laju radial dari target.
3. Selanjutnya dilakukan operasi IFFT sejumlah banyaknya *subcarrier* untuk plot jarak dari target.
4. Setelah itu, hasilnya akan dikuadratkan untuk menghilangkan nilai negatif pada priodogram.

Metode dan langkah-langkah yang saya lakukan bisa dilihat pada diagram fishbone implementasi radar MIMO-OFDM di **Gambar 3.1**. Sedangkan **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** merupakan blok diagram sistem radar MIMO-OFDM yang dibuat pada tugas kahir ini.

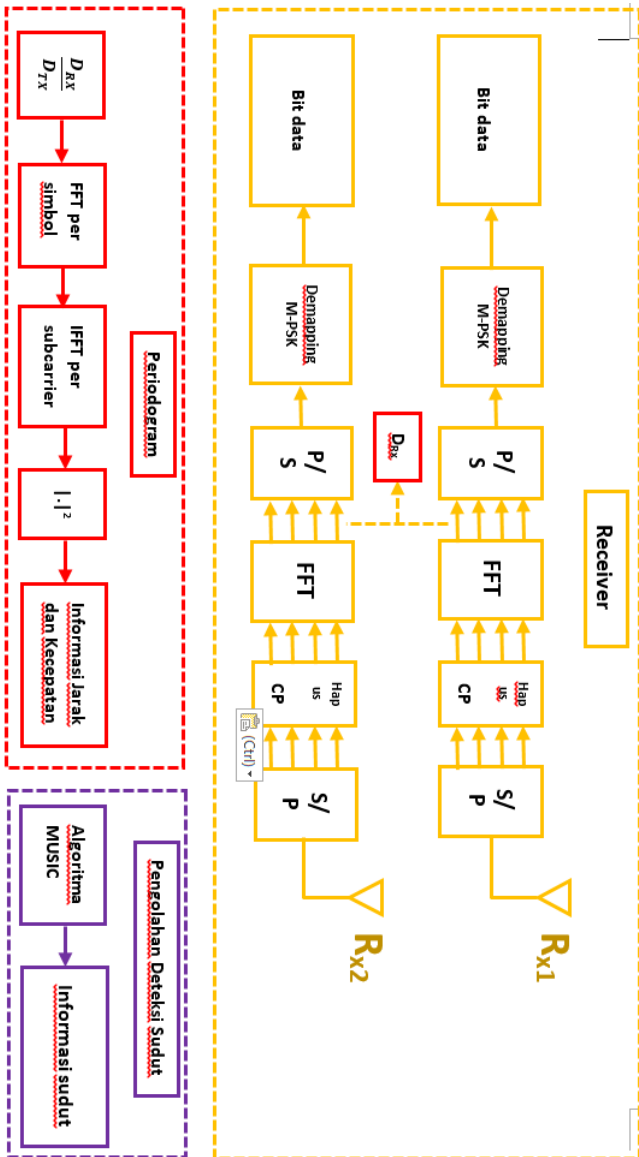




**Gambar 3.1** Diagram Fishbone Implementasi Radar MIMO-OFDM



**Gambar 3.2** Blok diagram sistem radar MIMO-OFDM (a)



Gambar 3.3 Blok diagram sistem radar MIMO-OFDM (b)

Sementara itu, untuk mendapatkan nilai *direction on arrival* digunakan algoritma MUSIC. Algoritma MUSIC juga telah dijelaskan pada **subbab 2.6.2**. Penjelasan tahapan pemrosesan pada periodogram dijelaskan sebagai berikut.

1. Pada simulasi sistem, sinyal yang sudah memiliki informasi target dan laju radial dikalikan dengan *steering vector* sesuai persamaan (2.33) untuk memberikan informasi sudut.
2. Sinyal yang diterima pada penerima akan langsung diproses dengan algoritma MUSIC untuk melakukan plot sudut kedatangan (*direction on arrival*).

### 3.1.1 Spesifikasi Radar

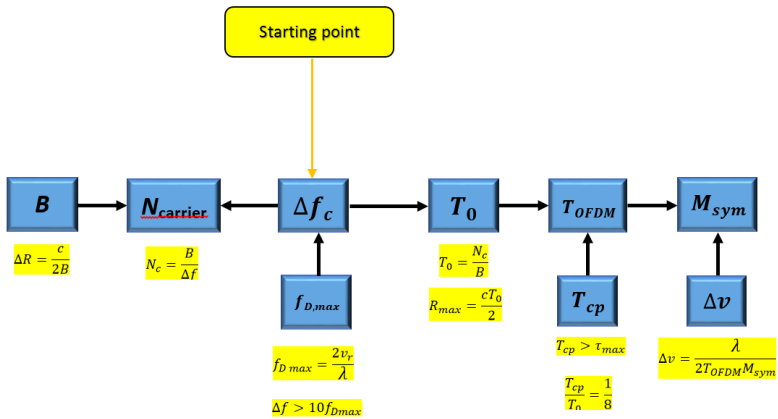
Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi sistem kemudian implementasi sistem pada USRP untuk mengevaluasi performa sistem yang telah dibuat. Sistem yang telah dibuat digunakan untuk mendapatkan informasi jarak dan DoA dari sebuah target. Informasi jarak didapatkan dengan mengolah sinyal menggunakan metode periodogram (plot pada setiap modulasi simbol), sedangkan informasi DoA didapatkan dengan menggunakan algoritma MUSIC.

Algoritma MUSIC memiliki kemampuan untuk mendeteksi sejumlah target sebesar  $M_r - 1$  dimana  $M_r$  merupakan jumlah antenna array yang digunakan pada sisi penerima [7]. Sistem yang dibuat menggunakan MIMO 2x2 dimana terdapat dua buah elemen antenna di sisi penerima sehingga sistem ini hanya bisa mendeteksi 1 target.

Perancangan parameter sistem radar didasarkan pada spesifikasi radar yang telah dirancang pada sistem [3] dengan memperhatikan kemampuan perangkat lunak maupun perangkat keras seperti spesifikasi USRP, kabel, antenna, dan laptop yang digunakan pada tugas akhir ini. Pertimbangan penentuan perlu memperhatikan beberapa syarat, yaitu spasi antar frekuensi *subcarrier* lebih besar sepuluh kali dari frekuensi Doppler dan durasi cyclic prefix lebih besar dari delay saat jarak maksimum.

$$\Delta f > 10f_{Dmax} \text{ dan } T_{cp} > \tau_{max} \quad (3.1)$$

Durasi *cyclic prefix* pada Teknik OFDM yang digunakan pada radar ditetapkan memiliki panjang seperdelapan dari periode sinyal OFDM. Perancangan desain parameter diperhitungkan dengan bantuan flow chart dibawah:



**Gambar 3.4** Diagram blok desain parameter radar OFDM

**Gambar 3.4** merupakan alur dalam merancang sistem radar MIMO OFDM yang dijelaskan sebagai berikut. Perancangan parameter sistem dimulai dengan menentukan spasi antar Subcarrier sehingga didapatkan resolusi laju radial dan periode dari sinyal OFDM. Parameter radar MIMO-OFDM yang saya desain bisa dilihat pada **Tabel 3.1**.

1. Sistem bekerja pada frekuensi 2,4 GHz ( $\lambda = 0,125$  m).
2. Sebelumnya Bandwidth yang diinginkan adalah 20 MHz karena USRP 2922 memiliki bandwidth maksimum sebesar 20 MHz untuk lebar bit sampel 16-bit, namun setelah sistem diimplementasikan pada perangkat keras, bandwidth maksimal yang bisa digunakan tanpa error untuk perangkat-perangkat yang digunakan adalah 500 kHz dengan jumlah subcarrier maksimal 1024. Spasi antar frekuensi subcarrier bisa dihitung menggunakan rumus (3.2) berikut.

$$\Delta f = \frac{B}{N_c}$$

Jadi spasi antar frekuensi subcarrier sebesar 488,3 Hz.

3. Laju radial maksimal didapat dengan menggunakan rumus (2.23) dan harus memenuhi syarat  $\Delta f > 10f_{D,max}$  sehingga laju radial maksimal sebesar 3.052 m/s (10,987 km/h) dengan nilai frekuensi doppler maksimum sebesar 48,828 Hz.

4. Jumlah *Subcarrier* ( $N_c$ ) yang dibangkitkan berdasarkan perbandingan antara bandwidth ( $B$ ) sinyal dengan spasi antar *Subcarrier* ( $\Delta f$ ). Jumlah subcarrier yang dibangkitkan haruslah sebanding dengan bilangan dua pangkat, sehingga didapatkan jumlah *Subcarrier* maksimal sebesar sebesar 1024.
5. Durasi simbol OFDM dasar ( $T_0$ ) dihitung dengan membandingkan jumlah *Subcarrier* ( $N_c$ ) dengan bandwidth sinyal OFDM ( $B$ ) yang digunakan.  $T_0 = 2,048 \text{ ms}$ .
6. Durasi sinyal OFDM didapatkan dari nilai total durasi OFDM dasar dengan durasi cyclic prefix. Besaran nilai CP ditentukan sebesar seperdelapan dari durasi simbol OFDM dasar sehingga didapatkan  $T_{OFDM} = 2,304 \text{ ms}$ .
7. Resolusi jarak yang didapat adalah 300 m sedangkan resolusi laju radial adalah 0,106 m/s (0,3816 km/h).

**Tabel 3.1** Parameter Radar MIMO-OFDM

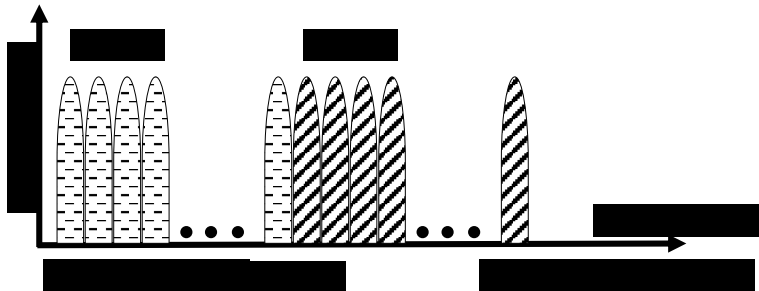
Frekuensi	2.4 GHz
Panjang gelombang ( $\lambda$ )	0.125 m
Bandwidth	500 kHz
Jumlah subcarrier ( $N_c$ )	1024
Frekuensi antar subcarrier ( $\Delta f$ )	488.28125 Hz
Frekuensi Doppler ( $f_{Dmax}$ )	48.828125 Hz
Laju radial maksimum ( $V_{max}$ )	3.052 m/s
T simbol OFDM dasar ( $T_0$ )	0.002048 s
Jarak maksimum ( $R_{max}$ )	307200 m
T cyclic prefix ( $T_{cp}$ )	0.000256 s
T OFDM ( $T_{OFDM}$ )	0.002304 s
Jumlah simbol	256
resolusi jarak	300 m
resolusi laju radial	0.105963813 m/s

### 3.2. Perancangan Sistem dengan Simulasi LabVIEW Communications 2.0

Perancangan simulasi sistem radar MIMO-OFDM menggunakan perangkat lunak LabVIEW Communications 2.0 bertujuan untuk memeriksa apakah program yang dibuat bisa berjalan atau tidak sebelum diimplementasikan pada perangkat keras.. Perancangan sistem radar MIMO-OFDM mengacu pada diagram blok yang ditampilkan oleh **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** Pada perancangan sistem dengan LabVIEW Comm 2.0 perlu memperhatikan jumlah matriks *subcarrier* sistem acuan dari data baris dan kolom yang terbentuk memiliki perbedaan dengan acuan pada perangkat lunak MATLAB.

#### 3.2.1. Sub Sistem Pemancar Pada LabVIEW Communications 2.0

Subsistem pemancar ini berisi program-program sistem mulai dari pembangkitan bit hingga data berbentuk serial sebelum melalui kanal seperti **Gambar 3.2**.

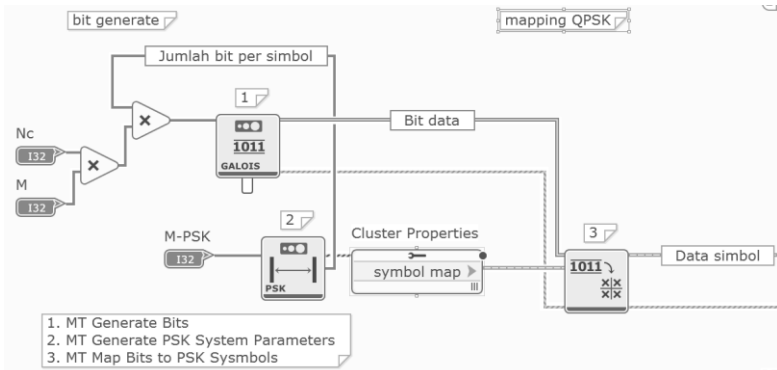


**Gambar 3.5** Alokasi *subcarrier* untuk pemancar 1 dan pemancar 2

Sistem MIMO yang dibuat pada tugas akhir ini adalah sistem MIMO 2x2. Untuk menjaga keortogonalitas antar *subcarrier* pemancar 1 dan pemancar 2 maka dilakukan pemetaan *subcarrier* pada pemancar 1 dan pemancar 2. Jadi *subcarrier* ke-1 sampai ke-512 akan dialokasikan pada TX1 sedangkan *subcarrier* ke-513 sampai ke-1024 dialokasikan pada TX 2, ilustrasinya bisa dilihat pada **Gambar 3.5**. Program untuk alokasi *subcarrier* ini akan dijelaskan pada **subbab 3.2.1.3**.

### 3.2.1.1. Pembangkitan Bit Data

Pembangkitan bit informasi berupa nilai sebanyak jumlah *subcarrier* dikalikan jumlah symbol yang telah didesain pada subbab spesifikasi radar. Jumlah bit data juga tergantung pada *mapping* M-PSK yang digunakan. Jika menggunakan QPSK maka satu symbol PSK akan membutuhkan dua bit sehingga jumlah bit akan dikalikan lagi dengan jumlah bit per symbol. Program yang dibuat bisa dilihat pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6** Program membangkitkan bit data dan *mapping* PSK

### 3.2.1.2. Modulasi M-PSK

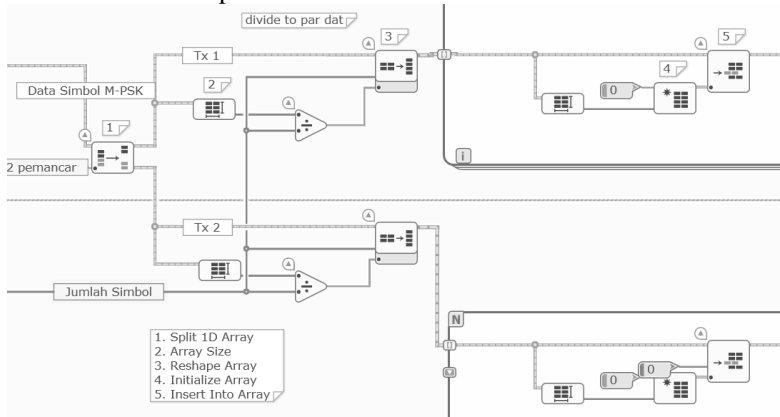
Penggunaan modulasi M-PSK bertujuan untuk memetakan bit data ke dalam symbol-symbol M-PSK. Pertama, perlu dibangkitkan parameter M-PSK untuk menentukan berapa PSK yang digunakan sebelum dipetakan ke symbol M-PSK. Program ini memiliki fungsi yang sama dengan fungsi *pskmod* pada MATLAB. Pada **Gambar 3.6**, dijelaskan proses pembangkitan bit data dan mapping M-PSK. Pada tugas akhir ini, saya menggunakan BPSK karena lebih tahan terhadap distorsi. Pada mapping BPSK ini jumlah bit yang dibutuhkan sebanyak jumlah subcarrier dikali dengan jumlah symbol karena BPSK memetakan satu bit ke satu symbol.

### 3.2.1.3. Seri-to-Parallel

Setelah data dipetakan PSK, selanjutnya data dipecah menjadi dua karena sistem ini menggunakan dua buah pemancar. Untuk menjaga



jumlah data terutama jumlah subcarrier tetap seperti setelah dipetakan PSK, maka data pada pemancar 1 dan pemancar 2 akan ditambahkan data bernilai 0 sebanyak data setelah dipecah. Untuk menjaga keortogonalitas pemancar 1 dan pemancar 2 juga menjaga jumlah *subcarrier* tetap sama, maka data pemancar 1 disisipkan array data bernilai 0 di akhir data Tx 1 sedangkan pemancar 2 akan disisipkan array data bernilai 0 di depan data Tx 2.

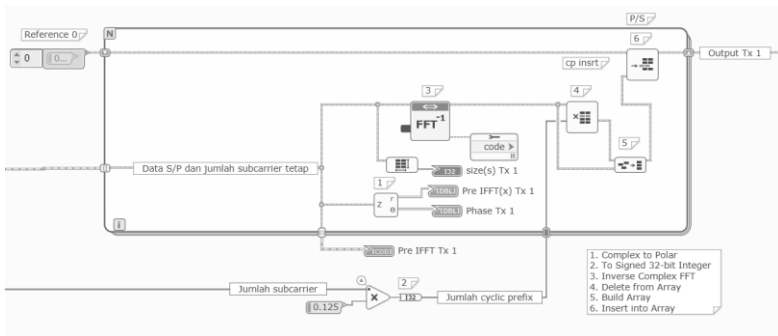


**Gambar 3.7** Diagram realisasi Seri-to-Parallel pada LabVIEW

Proses tersebut dijelaskan dalam **Gambar 3.7**, dimana program yang berlabel 1, 2, dan 3 merupakan program untuk mengubah data yang berbentuk seri ke data yang berbentuk parallel, sedangkan label 4 dan 5 merupakan program untuk mensisipi array 0 pada data pemancar 1 maupun pemancar 2 untuk menjaga keortogonalitas antar pemancar.

### 3.2.1.4. IFFT

Proses operasi IFFT berfungsi untuk membentuk *Subcarrier* yang saling ortogonal sebagai dasar dari sinyal OFDM. Data yang di proses IFFT berbentuk data parallel atau matriks baris dan kolom, jumlah kolom menyatakan jumlah *subcarrier* yang digunakan sedangkan jumlah baris merupakan jumlah simbolnya. Algoritma IFFT menggunakan fungsi IFFT yang terdapat dalam MATLAB.



**Gambar 3.8** Program IFFT, penambahan CP, Parallel to Seri

Pada **Gambar 3.8**, digunakan program “for” agar data yang diproses IFFT setiap baris (simbol) satu per satu bergantian sesuai blok diagram sistem pada **Gambar 3.2**.

### 3.2.1.5. Penambahan Cyclic Prefix

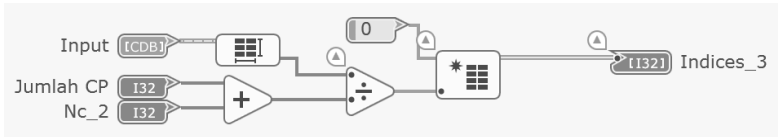
Proses untuk menjaga keortogonalitasan sinyal OFDM pada saat melewati kanal adalah menambahkan *cyclic prefix*. Penambahan *cyclic prefix* ini dilakukan dengan menyalin seperdelapan data terakhir dari operasi sebelumnya pada awal data sinyal dimana dalam program di atas, jumlah cyclic prefix adalah seperdelapan jumlah *subcarrier*. Program *To Signed 32-bit Integer* digunakan untuk merubah data yang berbentuk *double* ke bentuk *integer* agar tidak terjadi *error* pada fungsi *Delete from Array*.

### 3.2.2. Sub Sistem Penerima Pada LabVIEW Communications 2.0

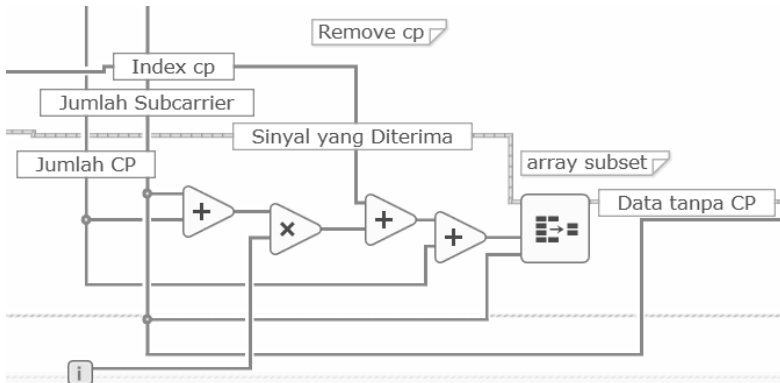
Setelah sinyal yang di pancarkan memiliki informasi jarak dan laju radial yang dilakukan pada pemodelan target dengan menambahkan *delay* dan frekuensi offset pada sinyal, selanjutnya akan memasuki blok pada penerima. Blok-blok pada penerima ini berfungsi untuk mengembalikan sinyal pada bentuk yang dibutuhkan untuk mendapatkan data yang nantinya akan dibandingkan dengan data pada pemancar sebagai pemrosesan radar. Blok yang ada pada penerima adalah penghapusan *cyclic prefix*, FFT, *demapping M-PSK*.

### 3.2.2.1. Penghapusan Cyclic Prefix

Penghapusan cyclic prefix dilakukan dengan cara menghilangkan seperdelapan data awal yang telah disipkan saat proses pembangkitan sinyal dilakukan. Dari algoritma penghapusan CP dilakukan dengan melakukan penghapusan data CP dari setiap *Subcarrier*.



Gambar 3.9 Program untuk jumlah dan index cyclic prefix

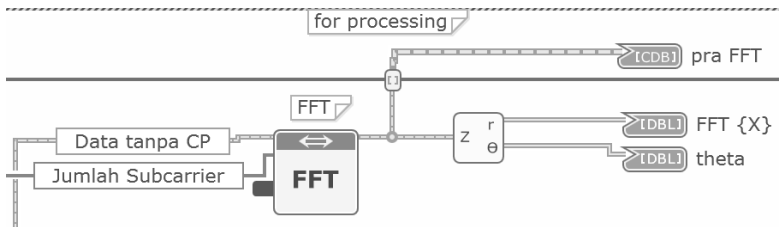


Gambar 3.10 Program penghapusan cyclic prefix

Program untuk menghapus *cyclic prefix* dijelaskan pada **Gambar 3.9** dan **3.10** dimana **Gambar 3.9** menjelaskan program untuk menentukan jumlah *cyclic prefix* dan indeksnya pada sinyal yang diterima. Setelah diketahui jumlah dan indeksnya, **Gambar 3.10** merupakan program untuk menghapus *cyclic prefix* yang telah dideteksi.

### 3.2.2.2. FFT

Setelah *cyclic prefix* dihilangkan pada data yang diterima, data tanpa cyclic prefix tersebut akan melalui operasi FFT untuk mengembalikan ke domain frekuensi. Operasi n-FFT ini dilakukan dengan besar n sejumlah subcarrier yang telah dibangkitkan untuk mengembalikan symbol seperti yang telah dibangkitkan.



**Gambar 3.11** Diagram FFT

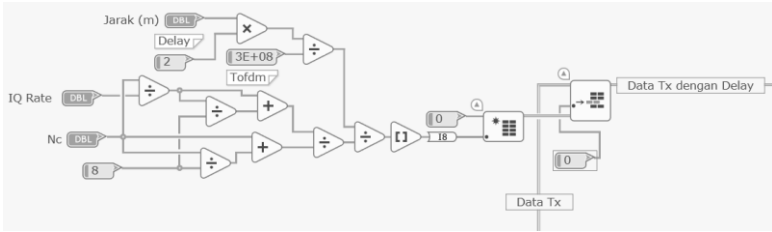
Pada **Gambar 3.11** terdapat operasi *complex to polar* untuk menampilkan spectrum datanya pada grafik. Sedangkan pra FFT merupakan array data setelah operasi FFT yang nantinya akan dibandingkan dengan array data hasil penjumlahan Pre IFFT Tx 1 dan Pre IFFT Tx 2 pada **Gambar 3.8** sebagai pemrosesan radar untuk mendapatkan plot jarak dan plot laju radial.

### 3.2.3. Pemodelan Target Pada LabVIEW Communications 2.0

Pemodelan target disesuaikan dengan spesifikasi sistem, kondisi untuk pengukuran dan sesuai referensi yang telah dirancang [3]. Sistem akan ditambahkan delay dan frekuensi offset sebagai hasil dari jarak dan laju radial dari target yang diinginkan. Sistem yang dibuat pada tugas akhir ini memodelkan hanya satu target. Radar yang dibuat menggunakan sistem MIMO 2x2 sehingga pada algoritma music, radar hanya mampu mendeteksi sudut kedatangan untuk satu target karena jumlah target yang bisa dideteksi sejumlah  $M_r - 1$  (jumlah antenna penerima dikuangi satu), yaitu sebanyak satu target.

#### 3.2.3.1. Pemodelan Jarak Target

Pada simulasi di LabVIEW Communications perlu dilakukan pemodelan jarak target. Pemodelan jarak target ini dilakukan dengan metode *zero padding* yaitu menyisipkan *zeropad* atau nilai 0 pada sinyal yang setara dengan durasi *delay* sebesar *delay* selama dua kali jarak antara radar dengan target. Panjang nilai 0 yang setara dengan *delay* yang terjadi didapatkan dari durasi *round trip delay* dibandingkan dengan durasi total symbol OFDM yang dibagi dengan jumlah simbolnya (jumlah *subcarrier* ditambah jumlah *cyclic prefix*).

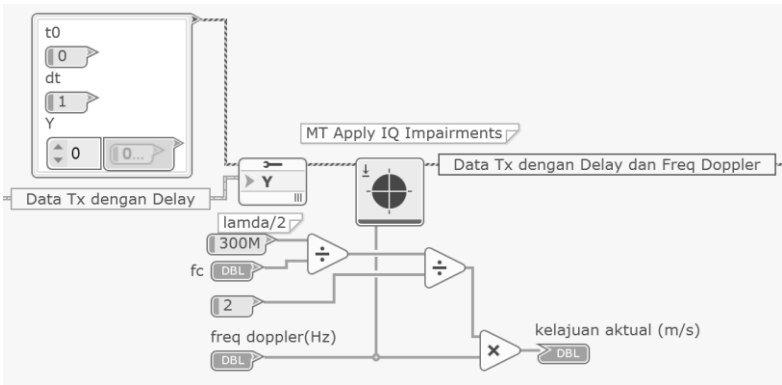


**Gambar 3.12** Program pemodelan jarak target

**Gambar 3.12** merupakan program untuk memodelkan jarak target. IQ Rate mewakili bandwidth dari sistem yang dirancang. Jadi program tersebut akan membuat array yang bernilai 0 dengan panjang yang setara *round trip delay* kemudian akan disisipkan di depan sinyal yang dikirim.

### 3.2.3.2. Pemodelan Laju radial Target

Pada sistem radar, informasi laju radial target didapatkan dari nilai frekuensi doppler yang terjadi akibat perbedaan kecepatan antara radar dan target. Rumus untuk menghitung frekuensi doppler yang terjadi bisa dilihat pada persamaan (2.20).



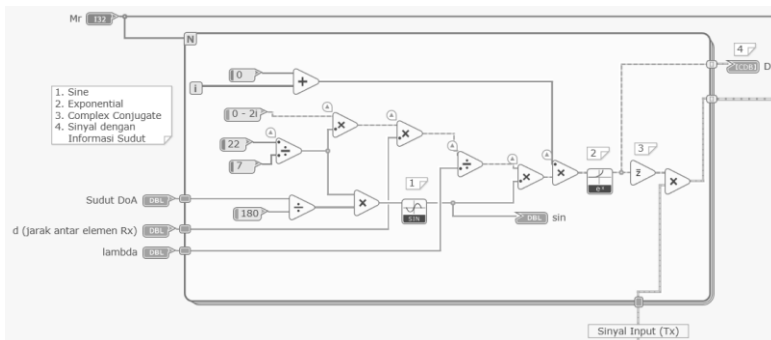
**Gambar 3.13** Program pemodelan laju radial target

**Gambar 3.13** merupakan program untuk memodelkan laju radial dari target. Pertama, frekuensi Doppler dihitung menggunakan persamaan (2.20). selanjutnya, sinyal akan ditambahkan frekuensi offsetnya sebesar frekuensi Doppler yang didapat menggunakan fungsi MT Apply IQ

Impairments. Pada program di atas, yang menjadi variable adalah frekuensi Doppler sehingga yang nanti akan diubah-ubah pada programnya adalah frekuensi Doppler kemudian kelajuan aktualnya akan didapatkan.

### 3.2.3.3. *Pemodelan Sudut Target*

Informasi sudut target dimodelkan dengan mengalikan sinyal yang dipancarkan dengan *complex conjugate* dari *steering vector* melalui persamaan (2.33).



**Gambar 3.14** Program pemodelan sudut kedatangan dari target

Pada **Gambar 3.14**, program yang berada dalam *for loop* adalah program untuk *steering vector* dengan input sudut DoA target yang dimodelkan, jarak antar elemen antenna penerima sesuai konfigurasi *uniform linear array* dimana jaraknya adalah setengah *lambda*, dan *lambda* dari frekuensi carrier yang digunakan.

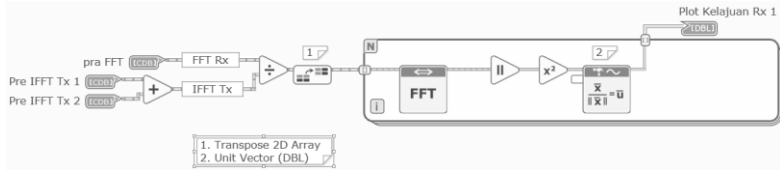
### 3.2.4. Sub Sistem Pengolahan Informasi LabVIEW Communications 2.0

Data informasi yang diterima selanjutnya akan dibandingkan dengan array data dari pemancar. Data yang diperlukan dalam hal ini merupakan hasil proses dari operasi FFT pada penerima dan dibandingkan dengan data sebelum operasi IFFT pada pemancar. Dari hasil tersebut dimulai proses pengolahan untuk mendapatkan informasi laju radial dan jarak target yang telah dimodelkan sebelumnya. Proses mendapatkan informasi dilakukan dengan metode pengolahan

berdasarkan simbol. Sedangkan informasi sudut kedatangan dideteksi menggunakan algoritma MUSIC

Hasil dari perbandingan data dari penerima dengan data dari pemancar tersebut kemudian akan melalui proses DFT per symbol OFDM sebanyak jumlah symbol OFDM yang dirancang untuk plot kelajuan dari target.

### 3.2.4.1. Plot Kelajuan

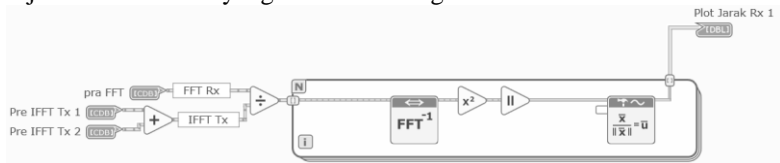


**Gambar 3.15** Program pemrosesan radar untuk plot kelajuan

Program pada **Gambar 3.15** menjelaskan proses plot kelajuan yang didesain pada tugas akhir ini. Untuk plot kelajuan, operasi FFT yang dilakukan adalah proses DFT per symbol OFDM sehingga sebelumnya data perlu ditranspose dulu. Fungsi unit vector pada program di atas berfungsi untuk normalisasi sinyal sehingga amplitude maksimalnya adalah 1.

### 3.2.4.2. Plot Jarak

Untuk mendapatkan plot jarak, data akan melalui operasi IFFT sejumlah subcarrier yang telah dirancang.



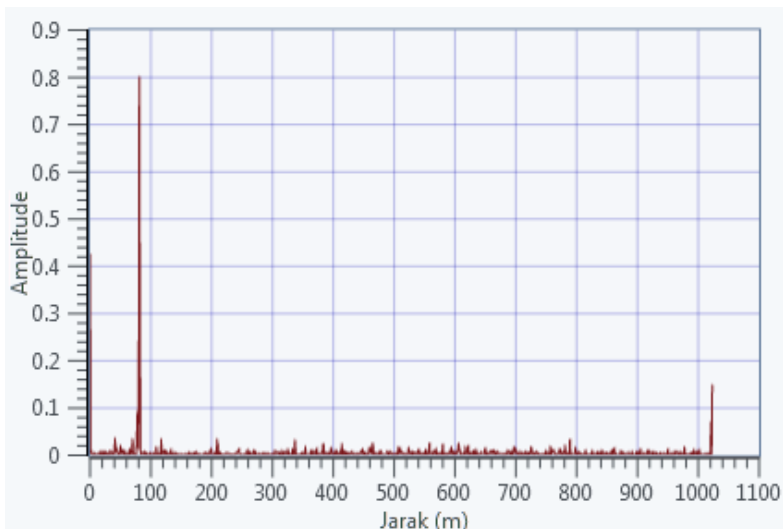
**Gambar 3.16** Program pemrosesan radar untuk plot jarak

Program pada **Gambar 3.16** menjelaskan proses plot jarak yang didesain pada tugas akhir ini. Untuk plot jarak, operasi IFFT yang dilakukan adalah proses IDFT per *subcarrier* OFDM sebanyak jumlah *subcarrier* yang dibangkitkan. Fungsi unit vector pada program di atas berfungsi untuk normalisasi sinyal sehingga amplitude maksimalnya adalah 1.

### 3.2.4.3. Algoritma MUSIC

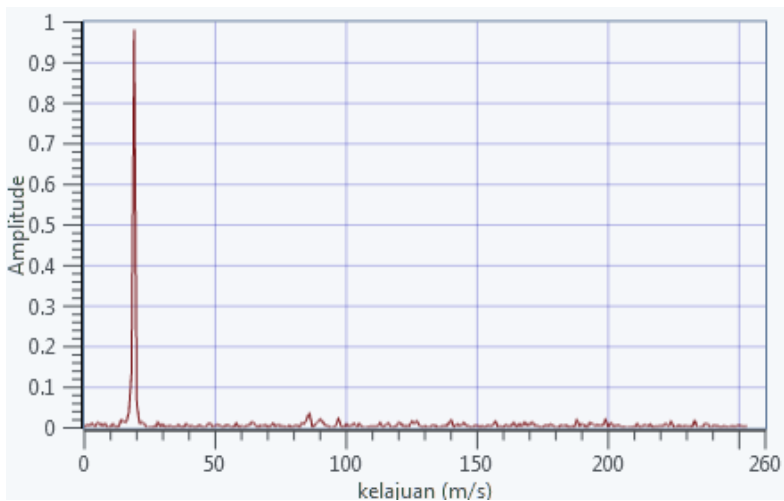
Sistem radar yang didesain pada tugas akhir ini juga mampu untuk mendeteksi sudut kedatangan dari target (*Direction on Arrival*). Algoritma yang digunakan untuk mendeteksi DoA adalah algoritma MUSIC. Program algoritma MUSIC yang telah didesain pada LabVIEW Communications 2.0 bisa dilihat di **Gambar C.5** pada bagian **LAMPIRAN C**. Input dari program ini adalah sinyal yang telah diterima oleh kedua elemen antenna jadi bentuk datanya array 2D. Dari data tersebut akan dicari eigenvectornya dari matriks kovariannya. Program di atas menggunakan Algoritma MUSIC yang telah dijelaskan pada subbab 2.6.2.

Untuk mendapatkan hasil plot laju radial dan jarak target diperlukan proses pengolahan yang telah dijelaskan pada subbab 3.2.4. Percobaan dilakukan dengan menguji hasil simulasi dengan menggunakan frekuensi kerja 2.4 GHz dengan banyaknya *Subcarrier* 1024 dan jumlah simbol sebanyak 256 simbol. Dengan bandwidth sebesar 5 MHz dan ditetapkan laju radial serta jarak target yaitu 20 m/s dan 80 m. Dilihat pada **Gambar 3.17** dan **Gambar 3.18** didapatkan hasil laju radial sebesar 20 m/s dan hasil dari deteksi jarak sebesar 80 m.



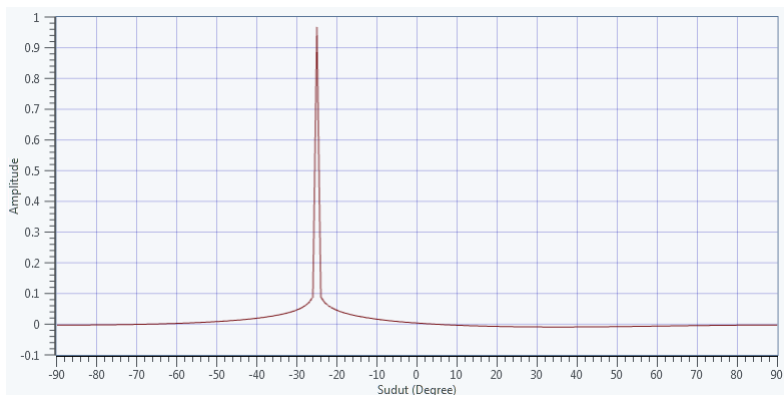
**Gambar 3.17** Hasil deteksi jarak pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0





**Gambar 3.18** Hasil deteksi laju radial pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0

Untuk simulasi informasi *Direction on Arrival* (sudut kedatangan) dari target, menggunakan dua elemen antenna penerima ( $M_r = 2$ ),  $\lambda = 0,125$  m dan antar elemen penerima diatur jaraknya sebesar  $\lambda/2$ , yaitu 0,0625 m atau 6,25 cm. Hasil deteksi sudut kedatangan yang didapat pada simulasi ditunjukkan pada **Gambar 3.19**.



**Gambar 3.19** Hasil deteksi DoA pada simulasi dengan LabVIEW Comm 2.0

Tujuan utama dilakukan simulasi sistem pada perangkat lunak LabVIEW Comm 2.0 adalah untuk memastikan program yang telah dibuat sudah benar dengan mendapatkan hasil deteksi jarak, laju radial, dan DoA pada LabVIEW Comm 2.0 sesuai dengan referensi [3] yang desain sistemnya dibuat pada perangkat lunak MATLAB karena terdapat beberapa perbedaan antara MATLAB dan LabVIEW Comm 2.0 sehingga perlu penyesuaian unntuk mendapatkan hasil seperti pada MATLAB.

Setelah saya melakukan implementasi pada USRP dan pengukuran secara *real-time*, terdapat kendala pada perangkat lunak untuk menampilkan hasil pada penerima terutama pada bagian program pemrosesan plot radar dan laju radial karena operasinya terlalu berat sehingga untuk proses plot jarak dan laju radial target dilakukan secara terpisah dan tidak *real-time*. Sedangkan untuk deteksi DoA secara *real-time*, sistem yang telah didesain masih bisa berjalan lancar. Dengan keterbatasan tersebut, proses plot jarak dan laju radial dilakukan menggunakan MATLAB. Pemrosesan radar pada MATLAB dilakukan dengan menggunakan data array sebelum operasi IFFT pada pemancar dan data array setelah operasi FFT pada penerima yang didapat saat pengukuran.

### **3.2.5. Pengolahan Informasi Radar Menggunakan MATLAB**

Pengolahan informasi radar secara terpisah menggunakan MATLAB terutama plot jarak dan plot laju radial dilakukan karena kendala yang terjadi saat pengukuran untuk menampilkan plot jarak dan laju radial secara *real-time* terlalu berat sehingga hasil pada bagian penerima tidak keluar. Algoritma yang digunakan untuk plot jarak dan laju radial sama seperti yang sudah dijelaskan pada **subbab 3.2.4**.

Data yang didapat dari LabVIEW Comm 2.0 diekspor dulu dalam bentuk *.csv*, kemudian diimpor di MATLAB. Pre IFFT Tx merupakan data array sebelum operasi IFFT pada pemancar, sedangkan FFT Rx 1 dan FFT Rx 2 merupakan data array setelah operasi FFT pada penerima uyang didapat dari kedua elemen antenna penerima. Semua data tersebut berbentuk *complex double*.

```

[num,rawtx] = xlsread('D:\_TA\Data TA\Data 20
Mei\500k\160 Pre IFFT Tx.csv');
a=str2double(rawtx);
dat_tx=a.';
[num,rawrx1] = xlsread('D:\_TA\Data TA\Data
20 Mei\500k\160 FFT Rx 1.csv');
b=str2double(rawrx1);
dat_rx1=b.';
[num,rawrx2] = xlsread('D:\_TA\Data TA\Data
20 Mei\500k\160 FFT Rx 2.csv');
b=str2double(rawrx2);
dat_rx2=b.';

```

```

div_rx1=dat_rx1_174_2./dat_tx_174_2;
div_rx2=dat_rx2_174_2./dat_tx_174_2;

Nc=1024;
max_range=307200; %Max range saat B = 500kHz
Vrmax=3.052;

```

```

%Pemrosesan Kecepatan
dop=fft(div_rx1.',Nc);
square=(abs(dop)).^2;
xaxis=(1:length(square(1,:)))/length(square(
1,:))*Vrmax;
bb=10*log10(square);
figure(1)
plot(xaxis,bb);
ylim([-30 35]);
xlim([0 3.052]);
grid on
title('Deteksi Kecepatan Radar MIMO OFDM
Antena Pertama')
xlabel('Kecepatan(m/s)')
ylabel('Amplitude(dB)')
[Mk1 Indexk1]=max(bb(:));

```

```


%plot jarak
range=ifft(dop.',Nc);
squ=(abs(range)).^2;
xaxism=((1:length(squ(:,1)))/length(squ(:,1))
)*max_range;
cc=10*log10(squ);
figure(2)
plot(xaxism,cc);
ylim([-50 0]);
xlim([0 307200]);
title('Deteksi Jarak Radar MIMO OFDM Antena
Pertama')
xlabel('Jarak(m)')
ylabel('Amplitude(dB)')
[Mj1 Indexj1]=max(cc(:));

```

### 3.3. Konfigurasi Sistem Pada USRP

Implementasi sistem yang telah didesain pada USRP memerlukan program tambahan yang mengatur parameter-parameter USRP. Pada tugas akhir ini, perangkat yang digunakan sebagai pemancar adalah dua USRP 2922, sedangkan satu USRP RIO (2943R) sebagai penerima. USRP RIO memiliki dua kanal sehingga bisa digunakan untuk dua elemen antenna penerima berbeda dengan USRP 2922 yang hanya memiliki satu channel. USRP 2922 merupakan perangkat *single device* dengan *single channel* sedangkan USRP RIO merupakan perangkat *single device* dengan *multiple channel* karena memiliki dua *daughterboards*.

Untuk menerjemahkan data dari host (laptop) ke USRP dan sebaliknya, perlu perlu program tambahan untuk konfigurasi antara LabVIEW Comm. 2.0 dan perangkat keras USRP. Beberapa parameter-parameter utama saat konfigurasi USRP pada LabVIEW:

- x ID dari perangkat USRP (*DevicH*,  ). Parameter ini berfungsi untuk menentukan USRP menjadi pemancar atau penerima. Biasanya ID USRP berupa IP address USRP tersebut dengan default 192.168.10.2.

- x Menentukan kanal RF yang digunakan dalam perangkat USRP. Selanjutnya, setiap kanal tersebut akan diatur parameter seperti *active antenna* dan *gain*.
- x Menentukan port antena yang digunakan (*active antenna*), misalnya TX1 merupakan port yang bisa digunakan untuk pemancar dan RX1 dan RX2 merupakan port yang bisa digunakan untuk penerima.
- x IQ Rate yang merupakan sampel per detik. Pada LabVIEW Comm 2.0 dan USRP yang diproduksi perusahaan National Instrument, IQ rate sebanding dengan bandwidth dari sistem tersebut.
- x Frekuensi carrier yang akan digunakan.
- x Besarnya gain dari pemancar ataupun penerima dimana gain di sini bukanlah gain antenna tetapi gain dari USRP sesuai dengan spesifikasi perangkat keras USRP tersebut.

### 3.3.1. Pengaturan Sistem pada Pemancar

Dalam membuat program untuk mengatur parameter pemancar pada USRP, kita perlu mengetahui konfigurasi perangkatnya terlebih dahulu. Dua pemancar menggunakan dua perangkat USRP 2922 yang dihubungkan dengan kabel MIMO. Kemudian, salah satu perangkat dihubungkan dengan laptop menggunakan kabel gigabit Ethernet. Perangkat USRP yang terhubung ke laptop menggunakan gigabit Ethernet ini akan menjadi kanal 0 sedangkan perangkat USRP yang hanya terhubung kabel MIMO menjadi kanal 1. Kabel MIMO berfungsi untuk sinkronisasi kedua perangkat USRP.

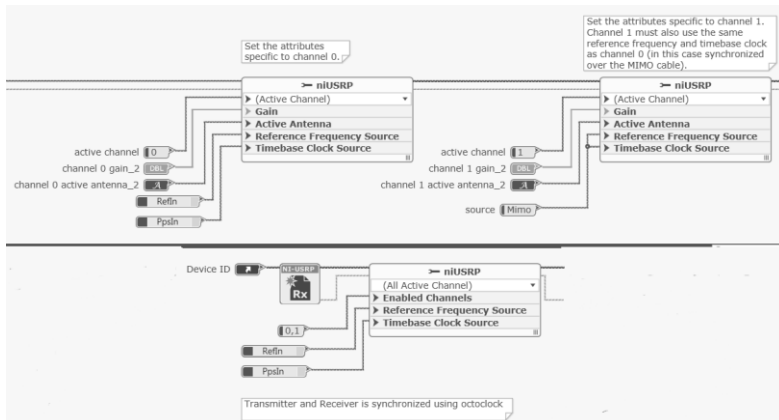
Program untuk implementasi sistem pemancar pada USRP menggunakan LabVIEW Comm 2.0 bisa dilihat di **Gambar C.6** pada bagian **LAMPIRAN C**. niUSRP Open Tx Session digunakan untuk memulai program implementasi pada USRP dan memilih *IP address* atau nama USRP yang digunakan sebagai pemancar. Setelah kanal 0 dan 1 diaktifkan, selanjutnya bisa mengatur parameter-parameter setiap kanal. Untuk kanal 1, *Reference Frequency Source* dan *Timebase Clock Source* diatur sumbernya MIMO karena kanal 1 merupakan perangkat USRP yang terhubung melalui kabel MIMO. Program write Tx Data merupakan program yang penting karena program ini, berfungsi untuk memasukkan sinyal yang telah dibuat sedemikian rupa untuk diproses di perangkat USRP.

### 3.3.2. Pengaturan Sistem pada Penerima

USRP RIO memiliki kelebihan, yaitu memiliki dua *daughterboards* dibanding USRP 2922 yang hanya memiliki satu *daughterboards* sehingga mampu menyokong dua RF kanal.

Pada dasarnya program untuk sistem penerima pada **Gambar C.6** memiliki kesamaan dengan program untuk sistem pemancar di **Gambar C.7** pada bagian **LAMPIRAN C**, yaitu inisialisasi penerima, mengaktifkan kanal 0 dan 1, mengatur parameter-parameter di setiap kanal 0 dan dan kanal 1. Hal yang sangat penting untuk diperhatikan pada program penerima ini adalah variabel *Number of Samples Per Fetch* pada niUSRP Fetch Rx Data, karena variabel ini menentukan jumlah data yang diterima pada perangkat lunak LabVIEW Comm 2.0. Variabel ini sebaiknya diatur sama dengan jumlah data yang dikirim pada sisi penerima. Misalnya saya mengirim data dengan jumlah subcarrier sebanyak 1024 dan jumlah symbol sebanyak 256 atau setelah data berbentuk serial yaitu data array sebanyak 1 x 294912 yang berbentuk *complex double*. Sehingga saya harus mengatur *Number of Samples Per Fetch* sebesar 294912 agar saya bisa melakukan operasi sesuai **persamaan 2.26**.

### 3.3.3. Sinkronisasi Antara Pemancar dan Penerima.



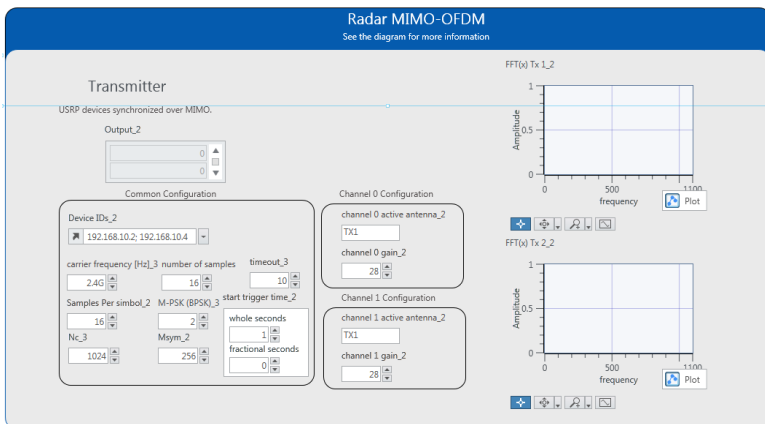
**Gambar 3.20** Program untuk sinkronisasi menggunakan Octoclock

Sistem yang didesain adalah sistem radar, sehingga semua perangkat harus sinkron terutama perangkat untuk pemancar dan penerima karena informasi jarak, laju radial dan DoA didapat dari perbandingan data pada penerima dengan data pada pemancar.

**Gambar 3.20** menjelaskan penambahan program dari **Gambar C.6** dan **Gambar C.7** pada **LAMPIRAN C** saat menggunakan octoclock sebagai sinkronisasi, yaitu menambahkan *Reference Frequency Source* dengan konstanta *RefIn* dan *Timebase Clock Source* dengan konstanta *PpsIn*. Bagian atas dari **Gambar 3.20** merupakan pengaturan untuk bagian pemancar, dimana penambahan program diletakkan pada kanal 0 karena kanal 1 sudah menggunakan kabel Mimo sebagai sinkronisasi. Sedangkan pada penerima, program sinkronisasi ditambahkan pada kanal 0 dan 1.

### 3.4. Perancangan Sistem Pengujian

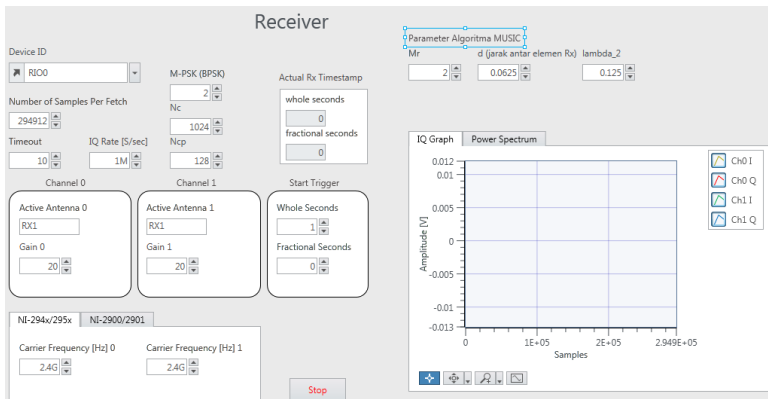
Pengujian sistem yang dibuat melalui pengukuran bertujuan untuk evaluasi sistem yang telah dibuat. Desain sistem yang digunakan untuk pengujian adalah program yang berisi sub sistem yang telah dijelaskan pada **subbab 3.2** dan **subbab 3.3**, yaitu sub sistem pemancar, sub sistem, algoritma MUSIC pada sub sistem pengolahan informasi, dan konfigurasi sistem pada USRP. Program sistem untuk pengujian akan saya lampirkan pada bagian lampiran.



**Gambar 3.21** Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW Comm. 2.0 (a)

**Tabel 3.2** Panel Pemancar saat Pengujian

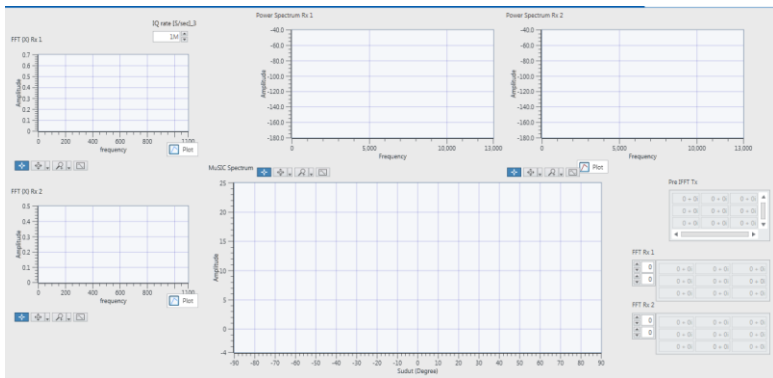
Pemancar	
<i>Device ID's</i>	192.168.10.2; 192.168.10.4
<i>Carrier Frequency</i>	2,4 GHz
M-PSK	2
Jumlah <i>Subcarrier</i>	1024
Jumlah Simbol	256
<i>IQ Rate</i>	500 k
Timeout	10 detik
Kanal 0	
Antena Aktif	TX1
Gain	28
Kanal 1	
Antena Aktif	TX1
Gain	28



**Gambar 3.22** Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW Comm. 2.0 (b)

**Gambar 3.21**, **Gambar 3.22**, dan **Gambar 3.23** merupakan tampilan panel LabVIEW Comm 2.0 pada saat dilakukan pengukuran. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengukuran adalah data apa saja yang ingin didapatkan.





**Gambar 3.23** Panel sistem radar MIMO-OFDM pada LabVIEW Comm. 2.0 (c)

**Tabel 3.3** Panel Penerima saat Pengujian

Penerima	
<i>Device ID's</i>	RIO0
<i>Number of Samples per Fetch</i>	294912
<i>Carrier Frequency</i>	2,4 GHz
M-PSK	2
Jumlah <i>Subcarrier</i>	1024
Jumlah <i>Cyclic Prefix</i>	128
<i>IQ Rate</i>	1 M
<i>Timeout</i>	10 detik
Jumlah elemen antena (Mr)	2
Jarak antar elemen penerima (d)	0.0625 m
Panjang Gelombang	0.125 m
Kanal 0	
Antena Aktif	RX1
Gain	20
Kanal 1	
Antena Aktif	RX1
Gain	20

Data tersebut harus dimasukkan di bagian panel karena LabVIEW Comm. 2.0 hanya mengambil (*capture data*) data-data yang

ditampilkan pada panel. Untuk menyesuaikan kemampuan perangkat dan laptop dalam menjalankan program agar berjalan lancar tanpa terjadi *not responding*, maka data yang diambil adalah MuSIC Spectrum, Power Spectrum Rx 1, Power Spectrum Rx 2, FFT Rx 1, FFT Rx 2, Pra IFFT Tx. Untuk pemrosesan DoA bisa secara real-time yang ditampilkan pada MuSIC Spectrum, sedangkan plot jarak dan laju radial dilakukan terpisah yang telah dijelaskan pada **subbab 3.2.5. Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3** merupakan pengaturan yang dilakukan selama pengukuran.

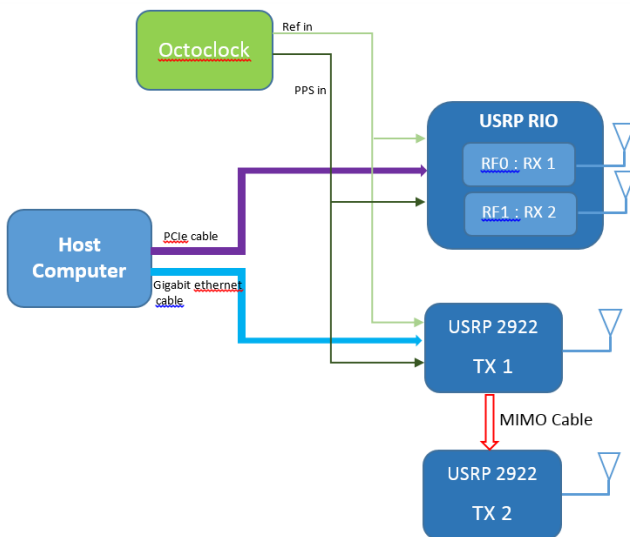
Pada sistem untuk pengujian, program untuk pemancar dan penerima dijadikan satu program sehingga operasi pada program tersebut akan banyak dan menyebabkan prosenya lambat. untuk memperbaiki performa saat menjalankan program, beberapa bagian program perlu dijadikan fungsi-fungsi sehingga pada saat *running* program, beban operasi akan terbagi-bagi sehingga operasi menjadi lebih ringan. Pada program ini, beberapa bagian saya jadikan fungsi, yaitu, fungsi untuk menentukan jumlah cyclic prefix, menghapus cyclic prefix, menghitung spectrum daya penerima, algoritma MUSIC, dan beberapa bagian lain yang akan saya lampirkan pada bagian lampiran.

### **3.5. Metode Pengujian**

Untuk melakukan evaluasi kinerja sistem radar MIMO-OFDM yang telah dibuat maka dilakukan beberapa skenario pengujian, yaitu melalui pengukuran secara *real-time*. Beberapa skenario pengukuran yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

#### **3.5.1. Konfigurasi Perangkat saat Pengujian**

Sistem radar yang dibuat merupakan sistem radar MIMO-OFDM dengan sistem MIMO 2x2 sehingga memerlukan 2 pemancar dan 2 penerima. sistem yang dibuat juga membutuhkan sinkronisasi antara pemancar dan penerima agar data pada penerima dan pemancar sinkron sehingga bisa dilakukan pemrosesan informasi radar. Sinkronisasi pada tugas akhir ini menggunakan kabel MIMO dan octoclock. **Gambar 3.24** merupakan skema konfigurasi perangkat keras yang dilakukan saat pengukuran.



**Gambar 3.24** Skema konfigurasi perangkat keras

**Tabel 3.4** Daftar Perangkat Keras saat Pengukuran

Host PC	1
USRP RIO + Kabel Power	1
USRP 2922 + Kabel Power	2
Octoclock + Kabel Power	1
Kabel MIMO	1
Kabel Gigabit Ethernet	1
Kabel PCIe	1
NI Express Card	1
Kabel SMA-SMA	8
<i>Microstrip Log Periodic Antenna</i>	4

Dari skema konfigurasi tersebut, **Tabel 3.4** merupakan daftar perangkat yang digunakan selama pengukuran. Pada pengukuran ini dibutuhkan kabel SMA sebanyak 8 buah. 4 buah kabel SMA akan digunakan untuk menyambungkan octoclock dengan pemancar dan penerima, sedangkan 4 buah lainnya digunakan untuk menyambungkan

antenna ke USRP. Foto dari semua perangkat keras yang terdapat pada **Tabel 3.4** akan saya lampirkan pada bagian lampiran bersama dokumentasi selama pengukuran.

**Tabel 3.5** Link Budget Radar

LINK BUDGET RADAR MIMO-OFDM	
<b>Parameter</b>	
Bandwidth	0.5 kHz
Frekuensi	2.4 GHz
Jarak	392 m
RCS (asumsi)	100
Panjang Gelombang	0.125 m
<b>Transmitter</b>	
Daya pancar maksimal	100 mWatts
in dBm	20 dBm
in dBW	-10 dB
Gain USRP maksimal	0 dB
in linier	1
Gain antenna	6 dBi
in linier	3.981071706
<b>Penerima</b>	
Gain antenna	6 dBi
in linier	3.981071706
Gain USRP maksimal	20 dB
in linier	100
Noise Figure	7 dB
In linier	5.011872336
Standard temperature ( $T_o$ )	290 K
Konstanta Boltzman (k)	1.38E-23 wattsec/K
Daya terima	5.27864E-09 Watt
In dB	-82.7747814 dB
In dBm	-52.7747814 dBm
Daya termal noise	1.00288E-17
SNR	87.21274773 dB

SNR minimum untuk sistem radar adalah 20 dB. Berdasarkan perhitungan link budget pada **Tabel 3.5**, jarak maksimum untuk SNR minimum 20 dB adalah sekitar 18500 km.

### 3.5.2. Antena Radar

Pada tugas akhir ini, antenna yang digunakan adalah LP0965. LP0965 merupakan *log periodic PCB antenna* yang diproduksi oleh Ettus Research, anak perusahaan National Instrument. LP0965 adalah antenna *directional* dengan gain 5-6 dBi. Antenna ini bisa bekerja dengan semua daughterboards USRP yang bekerja pada frekuensi 850 MHz sampai 6,5 GHz. Untuk menghubungkan antenna ini dengan USRP, membutuhkan kabel SMA-SMA. Foto antenna LP0965 bisa dilihat pada **Gambar 3.25**.



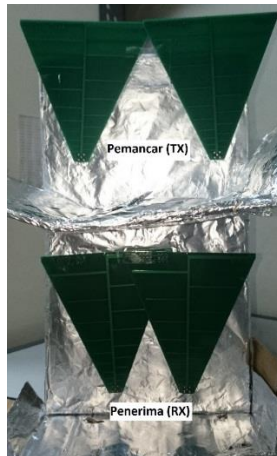
**Gambar 3.25** Microstrip Log Periodic Antenna

Konfigurasi antenna pada saat pengukuran dibuat sesuai dengan **subbab 2.5.1**, yaitu *uniform linear array*. Tujuan utama sistem MIMO agar sistem radar memiliki kemampuan untuk mendeteksi sudut kedatangan target (DoA). Jadi konfigurasi antenanya adalah sebagai berikut:

- x Dua elemen antenna pemancar terpisah dengan jarak  $\lambda$ , dimana frekuensi yang digunakan adalah 2,4 GHz sehingga antenna pemancar terpisah sejauh 0,125 m atau 12,5 cm.

- x Dua elemen antenna penerima terpisah dengan jarak  $\lambda/2$ , sehingga antenna penerima akan terpisah sejauh 0.0625 m atau 6,25 cm.
- x Elemen antenna penerima dan pemancar diletakkan sejajar, dan pada tugas akhir ini antenna penerima dan pemancara saya buat sejajar secara vertical.
- x Untuk menghindari radiasi secara langsung Antara pemancar dan penerima, saya memberikan reflector di antara antenna pemancar dan penerima. Reflektor yang digunakan saya buat dari kardur yang dilapisi aluminium foil.

Bentuk konfigurasi antena yang saya buat dan saya gunakan bisa dilihat pada **Gambar 3.26**.



**Gambar 3.26** Konfigurasi antena pemancar dan antena penerima

### 3.5.3. Target Radar

Pada tugas akhir ini, saya telah melakukan beberapa kali pengukuran dengan 2 objek utama yang menjadi target. Saya menjadikan *Research Centre ITS* dan *MIPA Tower* sebagai target untuk sistem radar saya. Penentuan target ini dilakukan setelah parameter-parameter yang maksimal, tanpa error, dan berjalan dengan lancar pada host PC setelah implementasi pada USRP. **Gambar 3.27** dan **Gambar 3.28** merupakan foto keadaan target dari radar.



**Gambar 3.27** Research Centre ITS sebagai target



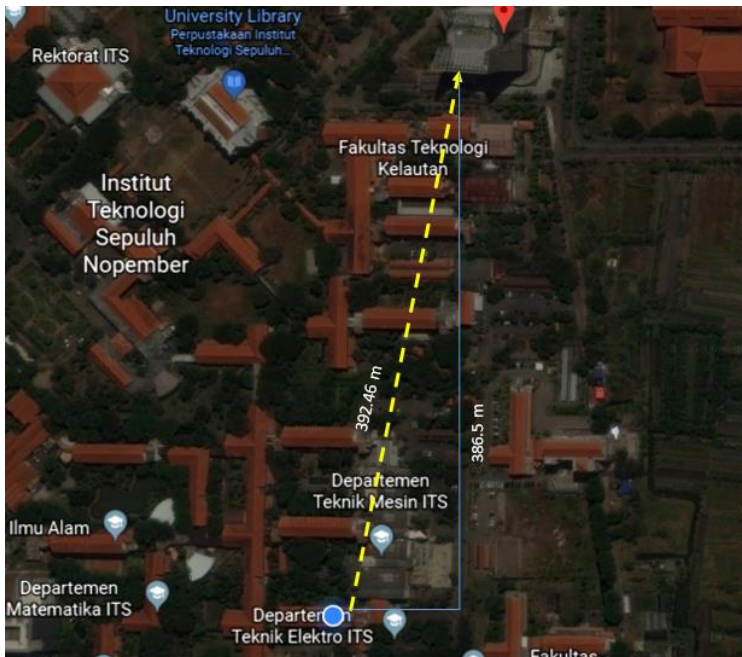
**Gambar 3.28** MIPA Tower sebagai target

Pengukuran yang menjadikan *research centre* sebagai target sistem radarnya diletakkan di lantai 4 gedung B Teknik Elektro ITS, tetapnya ruang terbuka di sebelah ruangan B406. Sedangkan yang targetnya adalah MIPA Tower ITS, sistem radarnya diletakkan di ruang terbuka sebelah ruangan B401.

Research Centre dan MIPA Tower merupakan gedung dengan 11 lantai. Gedung Research Centre memiliki ketinggian 50,5 meter dengan struktur utama adalah struktur beton bertulang dengan balok dan pelat pracetak. Sisi yang menghadap radar memiliki lebar sekitar 72 m.

### 3.5.4. Skema dan Konfigurasi Pengujian

Penentuan lokasi dan skenario pengukuran dilakukan berdasarkan spesifikasi radar optimum yang bisa berjalan dengan perangkat keras dan laptop yang ada. Dari implementasi sistem ke USRP, didapat spesifikasi yang paling optimum tanpa menyebabkan error underflow/overflow dan LabVIEW Comm 2.0 berjalan lancar adalah dengan IQ Rate 500k atau setara dengan bandwidth 500 kHz. Dengan IQ Rate 500k tersebut, didapatkan resolusi jarak sistem radarnya adalah 300 m, jadi sistem radar berjalan optimal jika jarak minimum 300 m. Dari resolusi tersebut, pengukuran perlu dilakukan di lokasi yang tinggi dengan target gedung yang cukup tinggi dan didapatkan targetnya adalah *Research Centre ITS* dengan jarak 392,46 m dengan mempertimbangkan bahwa *Research Centre* bangunannya cukup tinggi dan *obstacle* paling sedikit daripada bangunan yang lain. Pada saat pengukuran, antenna akan diarahkan lurus ke target, sehingga target akan berada pada sudut  $0^\circ$  berdasarkan algoritma MUSIC yang telah dibuat.



Gambar 3.29 Target 1 (*Research Centre ITS*)



Lokasi kedua dilakukan pengukuran adalah dengan target MIPA Tower ITS. Hal ini dilakukan untuk membandingkan dengan hasil lokasi kesatu. MIPA Tower dipilih karena gedungnya cukup tinggi dan obstacle antar radar dan MIPA Tower lebih sedikit. Jarak lokasi pengukuran dengan MIPA Tower adalah 168,69 m. Pada pengukuran ini, antenna tidak diarahkan ke MIPA Tower tetapi lurus mengikuti Gedung B Teknik Elektro sehingga MIPA Tower berada pada sudut sekitar  $-4,232^\circ$ .

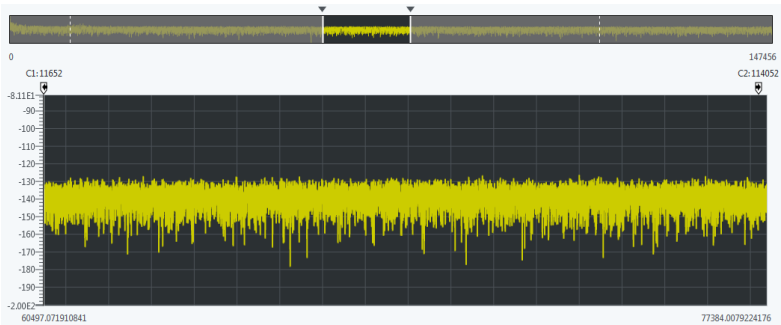


**Gambar 3.30** Target 2 (MIPA Tower ITS)

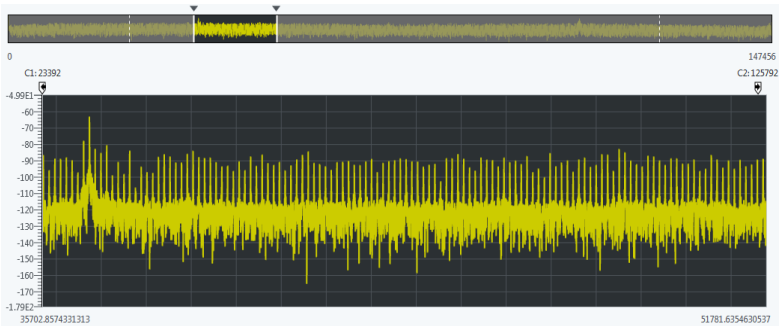
Ilustrasi skema pengukuran dijelaskan menggunakan aplikasi google earth pada **Gambar 3.29** dan **Gambar 3.30**. Pada saat pengukuran, kita perlu memperhatikan lampu indikator pada setiap perangkat, karena lampu tersebut menandakan bahwa perangkat sudah tersambung. Skema dan konfigurasi perangkat saat pengukuran telah dijelaskan pada subbab sebelumnya terutama **subbab 3.5.1**.

### **3.6. Kalibrasi Sistem saat Pengukuran**

Hal yang perlu diketahui saat pengukuran adalah noise yang terjadi pada kanal agar kita bisa membedakan sampel mana yang mengandung sinyal dan mana yang hanya noise. Untuk mengetahui sinyal noise saja, perlu dilakukan pengukuran saat pemancar mati sehingga kita bisa mendapatkan kondisi kanal. Saya melakukannya dengan mengukur spectrum daya pada penerima saat pemancar mati.



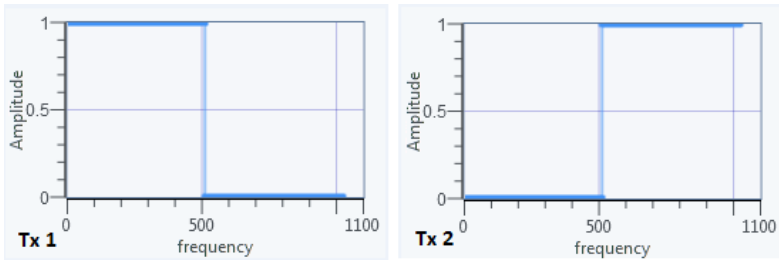
**Gambar 3.31** Spektrum daya penerima saat pemancar mati



**Gambar 3.32** Spektrum daya penerima saat pemancar hidup

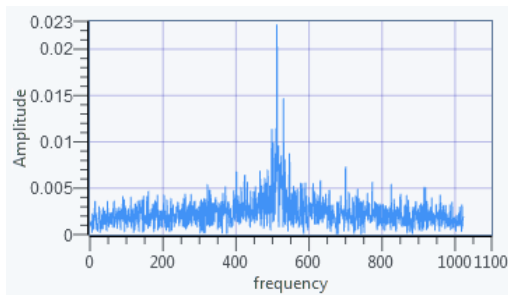
Spectrum daya penerima saat pemancar mati ditunjukkan pada **Gambar 3.31**. Pada **Gambar 3.31**, terlihat bahwa daya noise yang diterima sekitar -130 dB. **Gambar 3.32** merupakan spectrum daya penerima saat pemancar menyala dan penerima berhasil menerima sinyal dari pemancar. Daya maksimum yang diterima sekitar -64 dB. Spectrum daya yang diterima berbentuk puncak-puncak menunjukkan sinyal yang diterima merupakan sinyal OFDM yang terdiri dari banyak *subcarrier*.

**Gambar 3.31** dan **Gambar 3.32** menjadi referensi dalam menentukan apakah deteksi sudut, FFT Rx, dan Pra IFFT Tx merupakan hasil sinyal pantulan atau hanya noise. Saat mengambil data (capture data) pada LabVIEW Comm. 2.0, spectrum daya penerima bisa menjadi parameter yang penting menentukan data tersebut noise atau tidak.

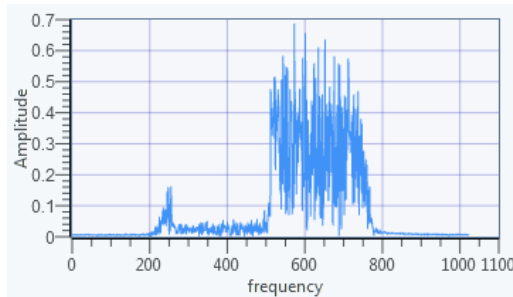


**Gambar 3.33** Spektrum sinyal yang dikirim pemancar

Selain itu, perlu juga memastikan bahwa sinyal yang diterima merupakan sinyal yang dikirim bukan sinyal lain. Untuk mengetahui hal tersebut, sebelumnya saya menjalankan program yang hanya berisi blok penerima. Saya menjalankan program tersebut dalam durasi tertentu untuk memastikan apakah ada sinyal lain yang bisa diproses melalui program yang saya buat. Jika selama menjalankan program tersebut didapat sinyal seperti **Gambar 3.34** maka tidak ada sinyal yang diterima. Selama pengukuran yang saya lakukan, program saya tidak bisa menerima sinyal selain sinyal yang dikirimkan oleh pemancar melalui USRP.



**Gambar 3.34** Spektrum frekuensi pada penerima saat pemancar mati



**Gambar 3.35** Spektrum frekuensi pada penerima saat pemancar hidup

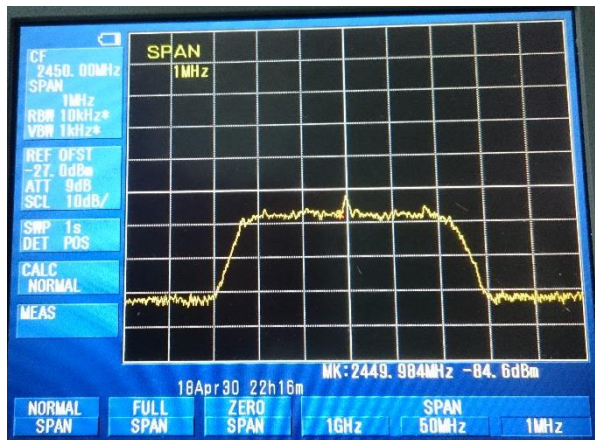
**Gambar 3.33** merupakan spectrum sinyal yang dikirim melalui LabVIEW, sedangkan **gambar 3.35** merupakan spectrum sinyal pantulan yang diterima. Pada saat pengukuran, saya mengatur IQ rate pada penerima dua kali dari IQ rate pemancar untuk memudahkan saya dalam menentukan apakah penerima sudah berhasil menerima sinyal yang dikirim selama pengukuran secara *real-time*. Pengaturan IQ rate ini, menyebabkan bandwidth penerima dua kali lebih lebar dari bandwidth pemancar.

## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Sinyal Radar MIMO-OFDM dengan USRP 2922

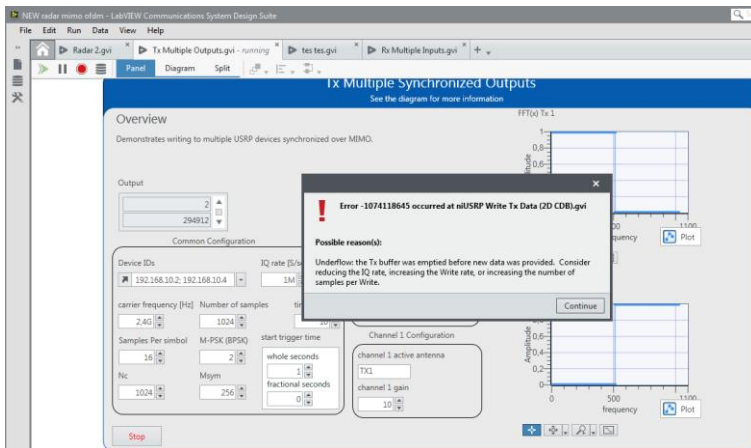
Ada beberapa kegiatan yang dilakukan selama proses pengujian sistem radar MIMO-OFDM, yaitu implementasi sistem pada USRP, pengujian sinyal yang dipancarkan USRP menggunakan *spectrum analyzer* (SA), Pengujian pemancar dan penerima pada USRP, dan pengukuran menggunakan gedung sebagai target. Pada **subbab 4.2** ini, akan dijelaskan hasil pengujian sinyal yang dipancarkan USRP menggunakan *spectrum analyzer* (SA). Pada proses ini, konfigurasi yang dilakukan adalah pemancar menggunakan dua buah USRP 2922 dan penerimanya adalah *spectrum analyzer*. Pada pengujian ini, frekuensi yang digunakan adalah 2,45 GHz dan IQ rate sebesar 500k. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa USRP berhasil memancarkan sinyal OFDM, dan juga memastikan bahwa IQ rate yang digunakan setara dengan bandwidth.



**Gambar 4.1** Spektrum frekuensi menggunakan *Spectrum Analyzer*

**Gambar 4.1** merupakan sinyal yang ditangkap oleh *spectrum analyzer*. Frekuensi tengah (Centre Frequency) pada *spectrum analyzer* diatur pada 2450 MHz sehingga didapat gambar seperti itu. Daya terima maksimal yang dideteksi adalah sekitar -84,6 dBm sedangkan *noise floor*

yang terjadi adalah  $-108,4$  dBm. SPAN pada *spectrum analyzer* diatur sebesar 1 MHz sehingga jadi lebar bandwidth yang ditampilkan sebesar 1 MHz dan setiap kotak lebarnya sebesar 100 kHz. **Gambar 4.1** menunjukkan bahwa lebar bandwidth sinyal yang dideteksi sekitar 500 kHz sehingga dapat dipastikan IQ rate pada LabVIEW Comm. 2.0 setara dengan bandwidth sinyal yang dipancarkan.



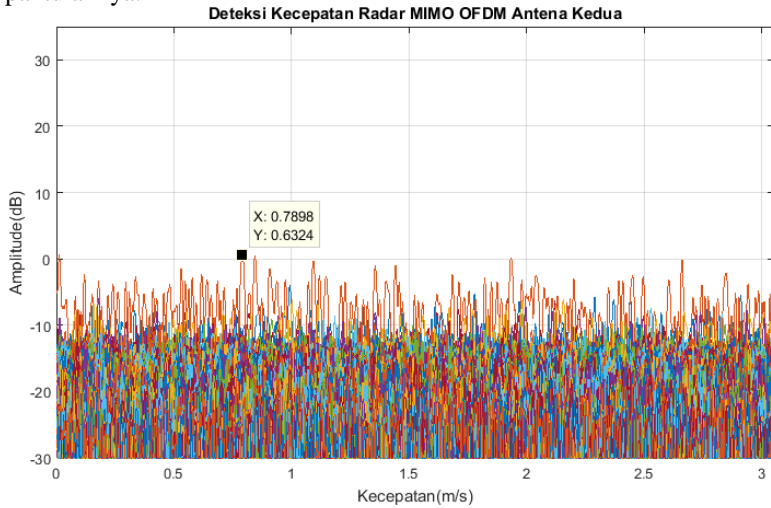
**Gambar 4.2** Error *Underflow* saat pemancar saja yang Hidup

Pada pengujian ini juga dilakukan untuk IQ rate di atas 500k, yaitu 1M, 5M, 10M. Namun, pada saat IQ rate diatur di atas 500k, pada LabVIEW dan USRP akan muncul error underflow. Hal tersebut yang menjadikan IQ rate 500k menjadi IQ rate maksimal pada sistem ini sehingga spesifikasi radar yang optimal seperti **Tabel 3.1**. Pada pengujian ini, program untuk pemancar dan penerima terpisah, jadi hanya pemancar yang berjalan.

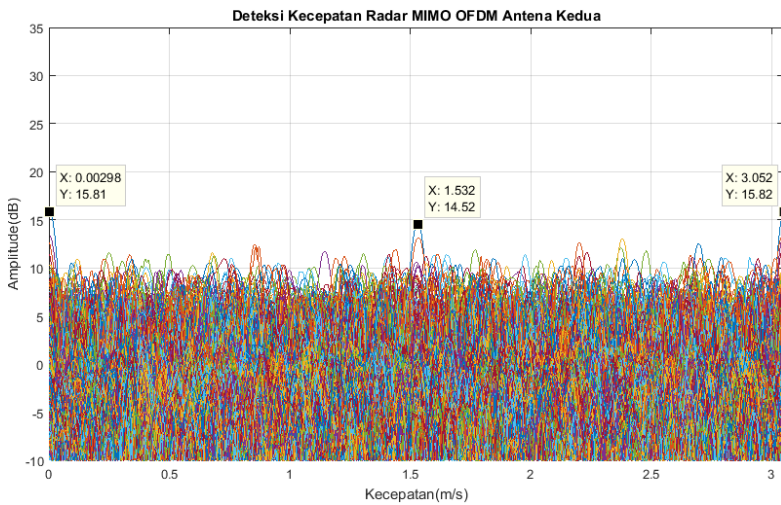
## 4.2. Analisis Hasil Deteksi Radar

Pada pengujian kinerja sistem radar yang telah dibuat, saya melakukan pengukuran saat pemancar dimatikan dan saat pemancar dinyalakan. Hal ini saya lakukan untuk mendapatkan kondisi kanal sebagai referensi untuk membandingkannya dengan hasil deteksi yang didapat. Jika pemancar saya matikan, kita tidak akan bisa mendapatkan hasil deteksi jarak dan laju radial karena untuk processing deteksi tersebut

memerlukan data dari pemancar sehingga saya menggunakan data dimana pemancar menyala namun penerima tidak berhasil menerima sinyal pantulannya.

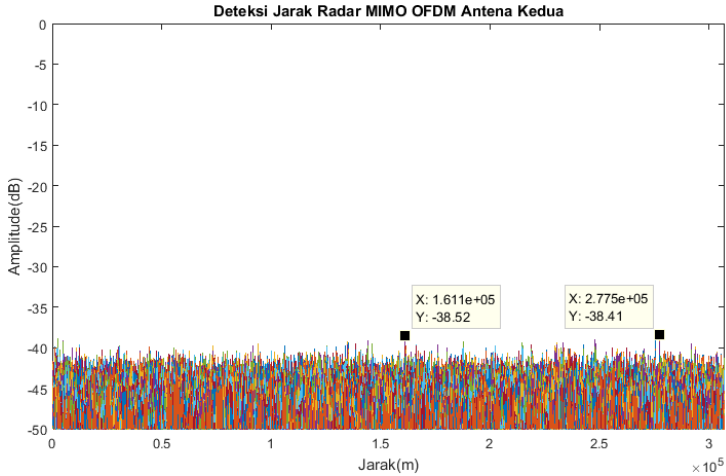


**Gambar 4.3** Hasil deteksi laju radial saat pemancar mati

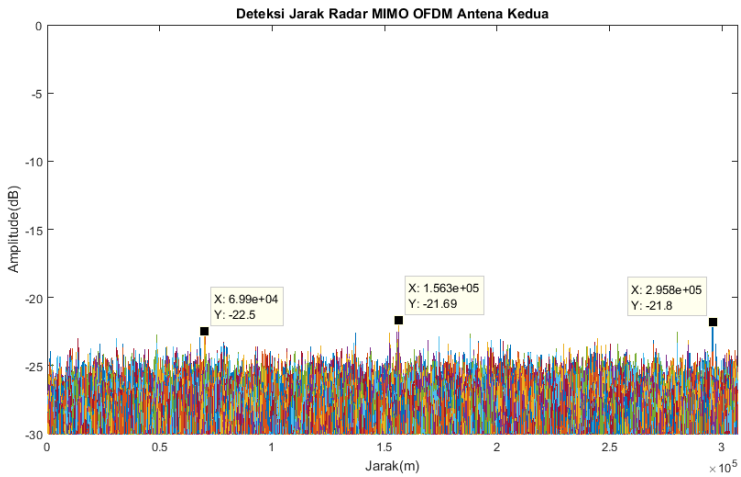


**Gambar 4.4** Hasil deteksi laju radial saat pemancar menyala

**Gambar 4.3** merupakan hasil deteksi laju radial saat pemancar dimatikan dengan amplitude dari puncak tertinggi adalah 0 dB. Sedangkan **Gambar 4.4** merupakan hasil deteksi laju radial saat pemancar menyala dengan amplitude puncak tertinggi adalah 15,81 dB.



**Gambar 4.5** Hasil deteksi jarak saat pemancar menyala



**Gambar 4.6** Hasil deteksi jarak saat pemancar menyala

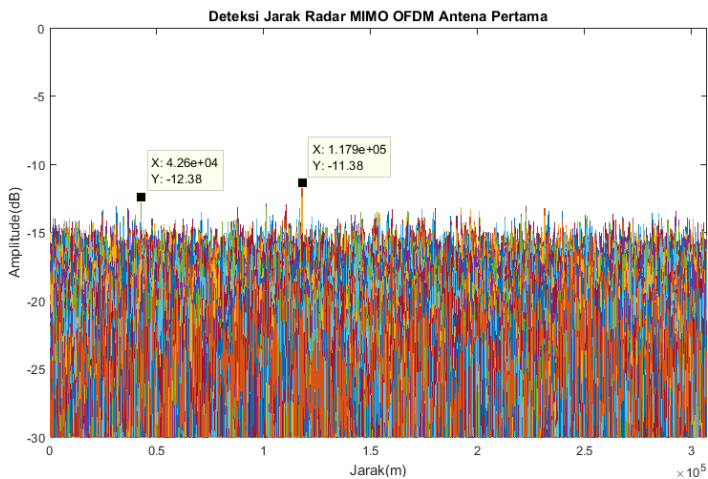


**Gambar 4.5** merupakan hasil deteksi jarak saat pemancar dimatikan dengan amplitude dari puncak tertinggi adalah -38,52 dB. Sedangkan **Gambar 4.6** merupakan hasil deteksi laju radial saat pemancar menyala dengan amplitude puncak tertingginya adalah -21,69 dB.

Dari **Gambar 4.3**, **Gambar 4.4**, **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**, bisa dilihat perbedaannya. Saat pemancar mati, level sinyalnya lebih kecil dibanding saat pemancar menyala. Saat pemancar mati, deteksi yang didapat untuk jarak dan laju radial sulit menentukan *mainlobe* karena perbedaan amplitude puncak-puncak yang ada tidaklah signifikan. Pada deteksi laju radial saat pemancar hidup, terdapat tiga puncak yang cukup signifikan terhadap puncak lainnya dengan puncak tertinggi pada 0,00298 m/s. Dari **Gambar 4.4**, level sidelobanya cukup tinggi karena daya sidelobe hanya berbeda di bawah 1 dB dari main lobe. Hal ini juga terjadi pada deteksi jarak yang memiliki level sidelobe sangat tinggi karena amplitude main lobe hanya berbeda di bawah 1 dB juga. Sehingga perlu adanya tambahan metode untuk menekan side lobe pada sistem radar yang dirancang seperti penambahan window hamming.

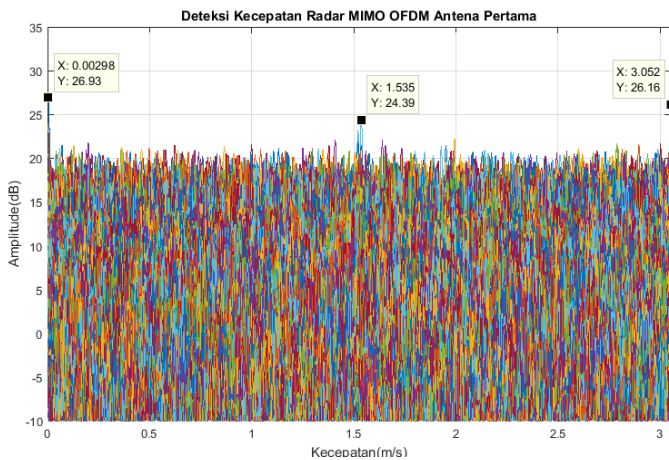
### **4.3. Analisis Hasil Pengukuran dengan Target *Research Centre ITS***

Pada subbab sebelumnya dijelaskan bahwa ada error *underflow* saat IQ rate lebih dari 500k dan yang menyala hanya pemancar, namun jika program untuk pemancar dan penerima dijadikan satu, program bisa berjalan untuk IQ rate di atas 500k. Pengukuran yang dilakukan pengambilan sampel untuk IQ rate 500k, 5M, 10M, 15M. Pengambilan setiap sampel dilakukan dengan menjalankan program, kemudian pengambilan data (*capture data*) dan menghentikan program, selanjutnya proses tersebut diulang untuk sampel berikutnya. Untuk IQ rate 500k, sampel yang berhasil diambil sebanyak 33 sampel, IQ rate 5M 32 sampel, 10M sebanyak 6 sampel, dan IQ rate 15M sebanyak 4 sampel. Hal ini dilakukan karena semakin tinggi IQ rate laptop akan berjalan semakin lambat hingga terjadi *not responding* sehingga pada IQ rate yang tinggi hanya diambil beberapa sampel. Skenario pengukuran dengan target *Research Centre ITS* diatur gedung berada pada sudut 0° dan berjarak 392,46 m.

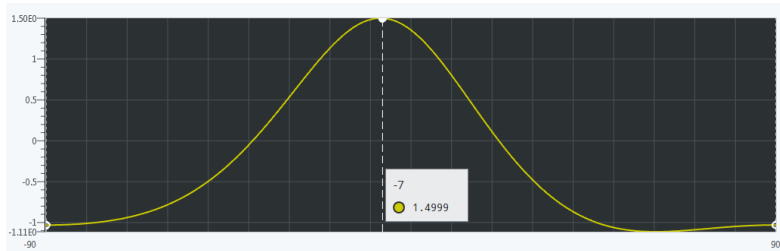


**Gambar 4.7** Hasil deteksi jarak RX 1 (B = 500 kHz)

**Gambar 4.7** merupakan sampel grafik dari hasil deteksi jarak oleh penerima satu saat IQ rate 500k. Sedangkan **Gambar 4.8** dan merupakan sampel grafik dari hasil deteksi kecepatan oleh penerima satu saat IQ rate 500k. **Gambar 4.9** menunjukkan hasil algoritma MUSIC untuk deteksi sudut kedatangan.



**Gambar 4.8** Hasil deteksi kecepatan RX 1 (B = 500 kHz)



**Gambar 4.9** Hasil deteksi DoA RX 1 (B = 500 kHz)

Dalam **subbab 3.6** telah dijelaskan karakteristik spectrum daya penerima saat penerima berhasil menerima sinyal pantulan atau saat hanya terdapat noise pada penerima. Dari hasil deteksi untuk bandwidth didapatkan ada 5 sampel dimana hanya ada noise pada penerima, yaitu yang memiliki daya terima maksimal dibawah -110 dB. Sedangkan sampel lainnya memiliki daya penerima maksimal di atas -70 dB.

**Tabel 4.1** Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 500 kHz

500k	RX 1			RX 2		
Sudut (θ)	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)
9	277500	0.5097	-110	277500	0.7898	-110
13	203400	1.189	-114	203400	1.362	-120
-6	182700	1.288	-118	182700	2.322	-118
-6	182700	1.288	-118	182700	2.322	-118
11	210600	2.939	-120	210600	1.583	-120
-25	73200	0.00298	-70	73200	0.00298	-70
-25	37500	1.529	-63	37500	1.529	-70
-26	173700	0.00298	-62	173700	1.529	-70
-26	99900	0.00298	-62	99900	0.00298	-69
-27	147600	3.052	-63	147600	1.529	-70
-28	256200	1.529	-63	256200	3.046	-70
-24	149100	1.529	-63	149100	1.529	-72

-25	207900	1.529	-63	207900	1.529	-70
-27	107400	1.529	-63	107400	0.00298	-72
36	117900	0.00298	-63	117900	3.052	-69
30	205200	1.529	-64	205200	0.00298	-72
32	191700	0.00298	-61	191700	0.00298	-71
32	191700	0.00298	-63	191700	0.00298	-72
-23	184500	0.00298	-64	184500	0.00298	-72
-23	184500	0.00298	-63	184500	0.00298	-72
-23	184500	0.00298	-63	184500	0.00298	-72
-24	200700	0.00298	-63	200700	0.00298	-72
-23	200700	0.00298	-63	200700	0.00298	-72
-23	200700	0.00298	-63	200700	0.00298	-72
30	85200	1.529	-63	85200	1.529	-74
32	292200	1.529	-63	292200	1.529	-75
30	269100	0.00298	-64	269100	1.529	-72
-22	148200	1.529	-63	148200	0.00298	-74
-18	240000	1.523	-64	240000	0.00298	-76
-20	38400	0.00298	-64	38400	1.532	-76
-7	113400	0.00298	-63	113400	1.532	-74
-8	113400	0.00298	-63	113400	1.532	-73
44	157500	0.00298	-62	157500	0.00298	-72

Bisa dilihat pada **Tabel 4.1** bagian deteksi sudut bahwa tidak ada satupun sampel yang mendeteksi gedung target pada sudut  $0^\circ$  sehingga terjadi error deteksi 100%. Deteksi sudut yang paling mendekati adalah  $-7^\circ$ . Simpangan rata-rata hasil deteksi sudut yang didapat terhadap sudut  $0^\circ$  adalah  $22,9697^\circ$ . Kesalahan deteksi ini, bisa disebabkan oleh keadaan yang tidak steril antara radar dan target. Hal ini bisa dilihat pada **Gambar 3.27**, yang memperlihatkan keadaan saat pengukuran, terdapat banyak rintangan, seperti atap bangunan, bangunan yang juga berlantai 4, dan tower telekomunikasi.

Pada hasil deteksi jarak, penerima 1 dan penerima 2 memberikan hasil deteksi jarak yang sama, namun deteksi jarak dengan jarak target sebenarnya berbeda sangat jauh sehingga error yang terjadi adalah 100%. Untuk hasil deteksi laju radial, beberapa sampel berhasil mendeteksi pada laju 0 m/s. Dari beberapa data yang didapat, 54,5% data laju radial penerima 1 berhasil mendeteksi pada 0 m/s sedangkan 45,4% data laju radial penerima 2 berhasil mendeteksi pada 0 m/s.

**Tabel 4.2** Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 5 MHz

5M	RX 1			RX 2		
	Sudut ( $\theta$ )	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)
-33	78900	14.0667	-108	78900	2.861	-110
-33	137700	15.1396	-100	137700	0.1885	-110
-26	100200	8.1062	-100	100200	10.4904	-114
-46	200700	15.9144	-108	200700	4.1425	-110
-21	47100	21.1298	-104	47100	25.1	-118
-21	47100	21.7259	-104	47100	15.2886	-110
17	139500	14.87	-104	139500	0.7451	-114
6	130800	10.0434	-104	130800	20.4146	-110
-1	152100	12.7852	-101	152100	19.4907	-110
6	33900	21.8451	-108	33900	24.1995	-118
17	150000	29.7725	-104	150000	16.5701	-104
-6	228900	15.7058	-101	228900	12.6064	-110
20	31800	17.9708	-104	31800	30.2196	-114
17	88500	6.3777	-104	88500	19.5801	-114
8	206700	12.9938	-110	206700	14.7521	-114
0	72600	28.3122	-104	72600	13.262	-114
0	72600	28.3122	-104	72600	13.262	-114
18	65700	20.7424	-104	65700	30.3984	-114
-46	246000	8.6725	-104	246000	6.4671	-114
8	102300	15.4674	-104	102300	30.2196	-114

8	102300	15.4674	-104	102300	30.2196	-114
8	102300	15.4674	-104	102300	30.2196	-114
12	252600	8.5235	-104	252600	18.7755	-114
23	112500	7.1824	-104	112500	23.8121	-114
23	112500	7.1824	-104	112500	23.8121	-114
20	47400	10.55	-104	47400	18.53	-114
20	186300	26.8817	-104	186300	19.8185	-114
20	186300	26.8817	-104	186300	19.8185	-114
-53	189600	13.8283	-104	189600	19.1033	-114
-46	155400	13.4706	-104	155400	23.4842	-114
17	18000	0.02682	-104	18000	10.4904	-114
-7	169200	7.5698	-104	169200	18.7457	-114

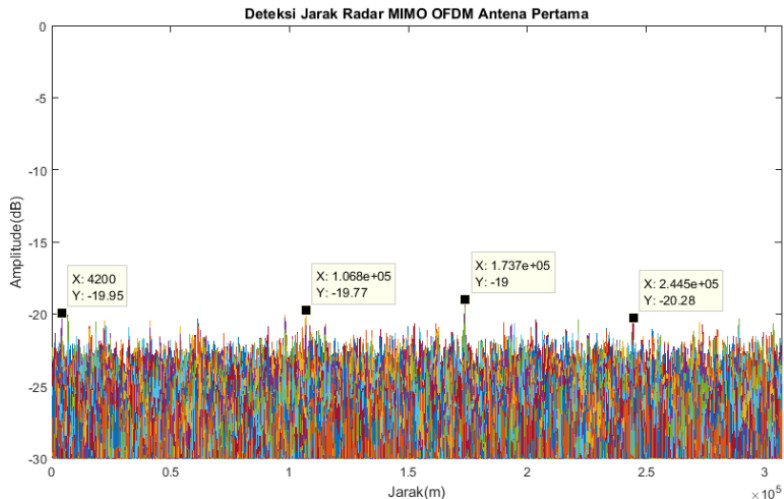
**Tabel 4-3** Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 10 MHz dan 15 MHz

	Sudut ( $\theta$ )	RX 1			RX 2		
		Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)
10 MHz	-15	12930	44.2861	-104	12930	59.7833	-114
	12	228000	18.537	-100	228000	4.2915	-114
	16	124650	17.6429	-101	124650	59.7237	-114
	-49	115050	29.1466	-100	115050	21.7556	-114
	16	75000	1.3709	-101	75000	26.524	-114
	16	75000	1.3709	-101	75000	26.524	-114
15 MHz	5	238000	82.9696	-110	238000	51.5878	-116
	5	238000	82.9696	-110	238000	51.5878	-116
	17	198000	28.2526	-110	198000	75.9959	-116
	-38	865000	8.2254	-108	865000	1.4305	-116

**Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3** merupakan hasil deteksi saat menggunakan IQ rate yang lebih tinggi. Bisa dilihat pada table tersebut, daya penerima semua sampel yang didapat berada pada level di bawah -100 dB. Jadi pada hasil deteksi untuk IQ rate 5M, 10M, dan 15M, tidak ada sinyal pantulan yang diterima oleh penerima sehingga semua hasil deteksi jarak, laju radial, dan DoA tidak valid. Hal tersebut terjadi karena selama pengambilan data saat sinyal belum diterima dan belum stabil, sudah dilakukan *capture data*. Spesifikasi dan performa laptop menjadi alasan utama program pada LabVIEW berjalan lambat bahkan terjadi *not responding*.

#### 4.4. Analisis Hasil Pengukuran dengan Target MIPA Tower ITS

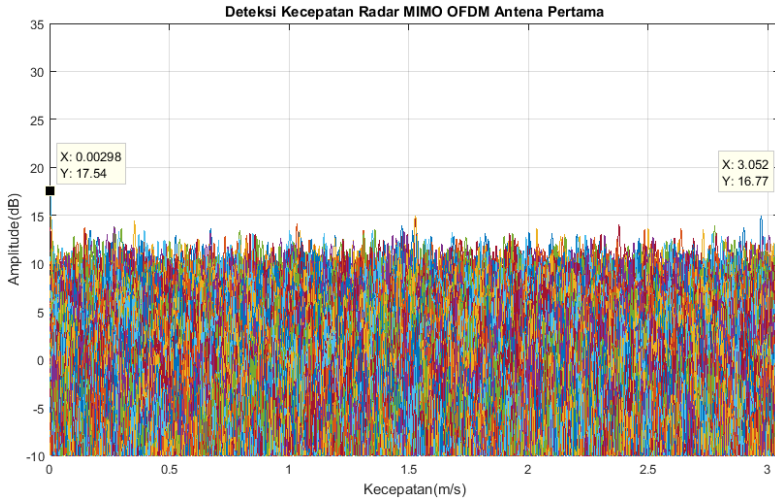
Pengukuran kedua dilakukan dengan targetnya adalah MIPA Tower ITS. Pada konfigurasi selama pengukuran, target berada pada jarak 168,69 m dan sudut  $-4,232^\circ$ . Mempertimbangkan performa dan kemampuan laptop yang digunakan, pada IQ rate 5M, 10M, 15M hanya diambil satu sampel masing-masing IQ rate tersebut. Sedangkan pada IQ rate 500k, sampel yang berhasil diambil adalah sebanyak 29 sampel.



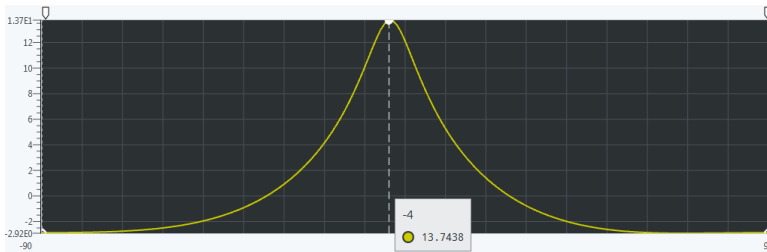
**Gambar 4.10** Hasil deteksi jarak RX 1 (B = 500 kHz)

**Gambar 4.10** dan **Gambar 4.11** adalah salah satu sampel yang didapat pada pengukuran kedua ini. **Gambar 4.10** menampilkan plot hasil

deteksi jarak oleh penerima 1, sedangkan **Gambar 4.11** menampilkan plot hasil deteksi kecepatan oleh penerima 1.



**Gambar 4.11** Hasil deteksi kecepatan RX 1 (B = 500 kHz)



**Gambar 4.12** Hasil deteksi DoA RX 1 (B = 500 kHz)

**Tabel 4.4** merupakan hasil deteksi dari pengukuran kedua, yaitu dengan target MIPA Tower ITS. Deteksi sudut yang didapat lebih baik daripada pengukuran pertama dengan jarak *Research Centre* ITS. Rata-rata simpangan yang terjadi adalah  $8,53269^\circ$  dengan target berada pada  $-4,232^\circ$ . Beberapa sampel juga berhasil mendeteksi di sudut  $-4^\circ$  yang hanya menyimpang sebesar  $0,232^\circ$ , seperti pada **Gambar 4.12** yang merupakan spectrum MUSIC yang didapat. Sudut  $-4^\circ$  bisa dikatakan cukup akurat dan berhasil mendeteksi target mengingat deteksi sudut pada program



menggunakan sampling sebesar 1 untuk sudut antar -90 samu 90 derajat. Kondisi yang terjadi antara radar dan MIPA Tower terdapat *obstacle* berupa atap bangunan dan pohon yang bisa dilihat pada **Gambar 3.28**.

**Tabel 4.4** Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 500 kHz

500k	RX 1			RX 2		
Sudut ( $\theta$ )	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)	Jarak (m)	Kecepatan max (m/s)	Pr max (dB)
-31	156300	0.00298	-70	156300	0.00298	-68
-24	45000	0.006	-71	45000	0.006	-68
-22	194400	1.529	-70	194400	1.529	-68
38	173700	0.00298	-69	173700	0.00298	-69
-20	134100	0.00298	-70	134100	0.00298	-68
-24	165600	0.00298	-68	165600	0.00298	-68
37	237600	0.00298	-69	237600	0.00298	-69
10	155100	1.529	-68	155100	1.529	-68
7	103800	0.00298	-68	103800	0.00298	-68
8	189900	1.529	-68	189900	0.00298	-64
9	129000	0.00298	-68	129000	0.00298	-64
12	111300	1.529	-68	111300	1.529	-68
-31	111900	1.529	-70	111900	1.529	-68
-8	305100	1.529	-72	305100	1.529	-62
-6	99600	0.00298	-72	99600	0.00298	-61
17	146100	2.817	-120	146100	1.773	-122
3	126300	1.529	-62	126300	0.00298	-59
-4	295500	1.529	-76	295500	1.529	-60
-3	48900	1.532	-76	48900	0.00298	-60
-3	48900	1.532	-78	48900	0.00298	-60
-5	19200	1.529	-78	19200	1.529	-60
5	156900	1.529	-62	156900	1.529	-59

5	156900	1.529	-62	156900	1.529	-59
-6	2901	1.529	-76	2901	1.529	-60
-3	228900	1.529	-72	228900	1.529	-61
-4	155700	0.00298	-74	155700	0.00298	-61
-4	181800	0.00298	-78	181800	0.00298	-60
-4	200400	0.00298	-73	200400	0.00298	-61
-3	96000	0.005961	-72	96000	0.005961	-62

Bila dilihat pada **Tabel 4.4**, terdapat satu sampel yang tidak valid karena yang diterima oleh penerima hanyalah noise, yaitu sampel dengan deteksi sudut pada  $17^\circ$  karena daya yang diterima berada pada level di bawah  $-120$  dB. Hasil deteksi jarak pada **Tabel 4.4** berbeda sangat jauh dari jarak target yang sebenarnya, yaitu berjarak 168,69 m. Error deteksi jaraknya adalah 100% sama seperti pengukuran pertama. Dari beberapa data yang didapat, 44,8% data laju radial penerima 1 berhasil mendeteksi pada 0 m/s sedangkan 58,6% data laju radial penerima 2 berhasil mendeteksi pada 0 m/s.

**Tabel 4.5** menunjukkan hasil untuk IQ rate 5M, 10M, 15M. sama seperti pengukuran pertama, dimana penerima hanya menerima noise karena daya penerima berada pada level di bawah  $-110$  dB. Pada IQ rate 5M, hasil deteksi jarak dan kecepatan kosong karena terjadi error pada data yang diterima.

**Tabel 4.5** Hasil Deteksi Menggunakan Bandwidth 5, 10, 15 MHz

		5 MHz	10 MHz	15 MHz
Deteksi Sudut		-13	16	31
RX 1	Jarak (m)	~	4570	2240
	Kecepatan max (m/s)	~	62.9425	21.9941
	Pr max (dB)	-118	-120	-113
RX 2	Jarak (m)	~	4570	2240
	Kecepatan max (m/s)	~	65.8035	25.2128
	Pr max (dB)	-126	-122	-120
Noise Floor (dB)		-128	-128	-128

#### 4.5. Analisis Metode Pengukuran dan Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dibahas pada subbab sebelumnya, bisa diketahui bahwa hasil yang didapat belum berhasil digunakan untuk evaluasi kinerja radar MIMO-OFDM. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil radar pada tugas akhir ini.

Sebelumnya perlu dibahas parameter yang penting dalam melakukan pengukuran. Implementasi radar MIMO-OFDM yang dibuat pada perangkat keras bekerja optimal dan tanpa error pada bandwidth 500 kHz. Dengan bandwidth sebesar 500 kHz, didapat resolusi jarak dari radar adalah 300 m yang berarti jarak minimal radar dengan target adalah 300 m dan tidak ada *obstacle* apapun di antara radar dan target sehingga tidak terjadi ambiguitas target dengan objek lain. Kemudian radar dan target seharusnya berada satu garis lurus, atau jika target merupakan pelat datar maka radar dan pelat tersebut harus tegak lurus sebesar  $90^\circ$ . Target juga harus berada pada *far field* antenna radar. Selain itu, juga didapat resolusi laju radial adalah 0.106 m/s sehingga laju radial minimum target adalah 0.106 m/s. Selanjutnya adalah menentukan RCS dari target yang nantinya digunakan untuk menghitung daya terima dan SNR radar.

Metode pengujian tugas akhir ini dijelaskan pada **subbab 3.5**. saya menentukan gedung Research Centre karena jaraknya lebih dari 300 m untuk memenuhi kriteria penjelasan di atas namun target ini tidak memenuhi kriteria di antara target dan radar tidak ada *obstacle*. Hal ini terpaksa dilakukan karena saya tidak menemukan tempat yang sesuai dengan penjelasan di atas dan keterbatasan lainnya. Saya juga memilih MIPA Tower sebagai target karena hasil pengukuran gedung Research centre yang tidak bagus dan memiliki *obstacle* lebih sedikit.

Jika gedung Research Centre dan MIPA Tower diasumsikan sebagai pelat datar maka dengan permukaan yang terlihat, yaitu lebar 72 m dan tinggi yang tidak terhalang *obstacle* sekitar 25 m, RCSnya adalah 94,16 dB (persamaan 2.1) sehingga daya terimanya didapat sebesar 21,38 dBm (persamaan 2.34). Berdasarkan perhitungan tersebut, gedung yang digunakan sebagai target tidak bisa dilakukan pendekatan sebagai pelat datar karena daya terimanya lebih besar dari daya pancarnya yaitu 20 dBm. Selain itu, posisi radar dan target tidaklah tegak lurus melainkan ada kemiringan. Pada target MIPA Tower, gedung miring terhadap radar sedangkan pada target Research Centre, radar dibuat miring menghadap gedung yang dijelaskan pada **subbab 3.5.4** sehingga ada kemungkinan sinyal pantulan tidak kembali ke radar. Ilustrasi sinyal pantulan terhadap permukaan miring bisa dilihat pada **Gambar 4.13**.



**Gambar 4.13** Sinyal pantulan dari permukaan miring

Pada tugas akhir ini, hasil yang didapat dari pengujian dipengaruhi factor-faktor lain yang telah dijelaskan di atas, seperti permukaan target yang miring, terdapat banyak *obstacle* antara radar dan target sehingga hasil pengujian yang dilakukan tidak bisa dijadikan sebagai evaluasi kinerja radar MIMO-OFDM yang dibuat pada tugas akhir ini. Jika terdapat penelitian selanjutnya yang meneruskan penelitian ini, perlu ditentukan metode pengujian yang benar dan bisa diterapkan di ITS sehingga hasilnya bisa digunakan sebagai evaluasi kinerja radar yang telah dibuat.

#### **4.6. Sistesis**

Sistem radar yang didesain adalah sistem Radar MIMO-OFDM sehingga sistem ini akan mampu melakukan deteksi jarak, laju radial, dan sudut kedatangan (DoA). Agar radar memiliki kemampuan mendeteksi sudut kedatangan, maka radar perlu menggunakan sistem MIMO. Pada sistem MIMO ini, bentuk sinyal yang digunakan harus saling orthogonal. Berdasarkan kriteria tersebut, bentuk sinyal OFDM dipilih karena memiliki keunggulan ortogonalitas antar *subcarrier* yang baik. Selain itu, sinyal OFDM memiliki keunggulan lain, yaitu sensitive terhadap pergeseran Doppler sehingga bisa digunakan untuk deteksi laju radial.

Sistem radar MIMO-OFDM yang didesain pada LabVIEW Comm. 2.0 merujuk pada referensi tugas akhir [3] , namun karena ada keterbatasan perangkat dan laptop, spesifikasi radar harus dimodifikasi dan disesuaikan dengan perangkat dan laptop untuk sistem yang paling optimum. Sistem radar MIMO-OFDM ini menggunakan konfigurasi MIMO 2x2, yaitu terdapat dua antenna pemancar dan dua antenna penerima. Implementasi radar MIMO-OFDM menggunakan perangkat yang berbasis *software define radio*, juga menggunakan perangkat lunak MATLAB dalam pemrosesan data yang didapat pada LabVIEW untuk melakukan plot jarak dan alju radial karena kendala performa dan kemampuan laptop. Pada tahap awal dilakukan simulasi sistem pada LabVIEW Comm. 2.0 untuk memastikan bahwa program yang dibuat

sudah benar dan mampu melakukan deteksi jarak, laju radial, dan sudut kedatangan.

Proses pengujian dilakukan dengan meletakkan radar pada tempat yang tinggi dengan target suatu gedung untuk mendapatkan nilai jarak, kecepatan, dan sudut kedatangan. Pada pengujian ini, kecepatan target adalah konstan atau tidak bergerak. Radar akan diletakkan dan diatur lurus menghadap target sehingga sudut antara target dan radar adalah  $0^\circ$ .

Dari hasil yang diperoleh pada bab 3 dan 4, spesifikasi perangkat USRP, laptop, kondisi target, dan konfigurasi sistem mempengaruhi kinerja radar seperti IQ rate, frekuensi, dan performa laptop dalam melakukan pengukuran. Resolusi jarak, dan laju radial pada sistem radar ini sangat tergantung besar bandwidth yang digunakan. Semakin besar bandwidth maka semakin baik resolusinya. Nilai bandwidth setara dengan IQ rate yang digunakan pada program sehingga pada sistem yang didesain pada tugas akhir ini resolusi kinerja radar kurang baik karena IQ rate optimal laptop bekerja dengan baik hanya sebesar 500k.

Hasil yang didapat dari pengujian pada tugas akhir ini juga dipengaruhi factor-faktor lain, seperti permukaan target yang miring, terdapat banyak *obstacle* antara radar dan target sehingga hasil pengujian yang dilakukan tidak bisa dijadikan sebagai evaluasi kinerja radar MIMO-OFDM yang dibuat pada tugas akhir ini. Jika terdapat penelitian selanjutnya yang meneruskan penelitian ini, perlu ditentukan metode pengujian yang benar dan bisa diterapkan di ITS sehingga hasilnya bisa digunakan sebagai evaluasi kinerja radar yang telah dibuat.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pada penelitian tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan kedalam beberapa poin:

1. Dalam mendesain sistem radar MIMO-OFDM yang menggunakan perangkat berbasis SDR, yaitu menggunakan USRP NI-2943R dan USRP 2922 perlu memperhatikan spesifikasi dan kemampuan perangkat dan host PC. Spesifikasi host PC ini menjadi hal yang paling penting pada implementasi pada perangkat berbasis SDR karena sistem akan lebih banyak diproses pada perangkat lunak yang terpasang pada host PC.
2. Tingkat error deteksi jarak sangatlah besar, yaitu 100% sehingga perlu adanya perbaikan sistem dan penggunaan perangkat yang memiliki spesifikasi lebih baik. Spesifikasi dan kemampuan perangkat yang lebih baik berdampak pada spesifikasi radar yang lebih baik, yaitu bisa menggunakan bandwidth yang lebih besar dan sistem masih bisa berjalan dengan lancar.
3. Hasil deteksi sudut pada radar yang dibuat cukup baik. Terdapat 4 sampel hasil pengukuran yang berhasil mendeteksi pada sudut  $-4^\circ$  dimana targetnya MIPA tower berada pada sudut  $-4,232^\circ$  dari radar pada waktu pengukuran.
4. Radar yang didesain pada tugas akhir ini, tidak berhasil melakukan deteksi target karena hasil deteksi jarak dari semua sampel yang didapat berbeda sangat jauh dengan jarak sebenarnya.
5. Deteksi sudut pada MIPA Tower lebih baik dibandingkan deteksi sudut pada *Research Centre*. Pada target *Research Centre* rata-rata simpangan deteksi sudut yang terjadi sebesar  $22,9697^\circ$  sedangkan pada target MIPA Tower, rata-rata simpangan yang terjadi sebesar  $8,53269^\circ$ . Hal ini bisa terjadi karena pada target MIPA Tower memiliki *obstacle* lebih sedikit daripada *Research Centre*.
6. Kinerja deteksi sudut sistem radar ini kurang baik karena dari data yang didapat belum bisa mendeteksi sudut target (*research centre*).
7. Hasil deteksi sudut untuk target MIPA Tower lebih baik dari pada target *Research Centre* karena beberapa data berhasil mendeteksi pada sudut  $4^\circ$ .

8. Kinerja deteksi jarak pada sistem radar yang dibuat tidak baik karena tidak berhasil mendeteksi jarak target yang sebenarnya.
9. Kinerja deteksi laju radial cukup baik karena sekitar setengah dari beberapa sampel yang didapat mendeteksi pada 0 m/s.
10. Obstacle di antara target dan radar mempengaruhi hasil deteksi DoA. Semakin banyak obstacle, semakin tidak akurat deteksi DoA oleh radar yang didesain.
11. Bandwidth yang digunakan pada radar sangat mempengaruhi spesifikasi radar yang nantinya juga mempengaruhi kinerja radar. Bandwidth yang kecil menyebabkan resolusi jarak dan resolusi laju radial kurang baik karena frekuensi antar subcarrier juga akan kecil.

## 5.2. Saran

Sebagai hasil penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang untuk dilakukan penelitian lanjutan mengenai topik yang serupa:

1. Untuk melakukan implementasi sistem radar MIMO-OFDM diperlukan host PC dengan spesifikasi yang bagus untuk meningkatkan performa sistem.
2. Sistem radar yang telah dibuat perlu adanya metode untuk menekan level sidelobe misalnya ditambahkan window hamming.
3. Untuk meningkatkan kinerja menggunakan perangkat SDR perlu diperhatikan kapasitas kinerja dari perangkat seperti perangkat *host device*, kabel, dan port penghubung pada perangkat USRP.
4. Jika memungkinkan, program sistem perlu dibuat sederhana mungkin untuk mengurangi beban operasi program pada perangkat lunak.
5. Metode pengujian yang dilakukan perlu diperbaiki untuk mendapatkan hasil yang bisa digunakan sebagai evaluasi kinerja radar MIMO-OFDM.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wiesbeck, "Sistem Concepts for the Radar of the Future," Karlsruhe Institute of Technology, 2014.
- [2] J. S. W. H. M. Richards, Principles of Moder Radar. Vol 1. Basic Principles, 2010.
- [3] M. Rizky, "Desain Gelombang Radar MIMO Menggunakan Teknik Interleaved-OFDM," Tugas Akhir Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2016.
- [4] T. T. HA, Theory and Design of Digital, 2011.
- [5] W. Wiesbeck, L. Sit, M. Younis, T. Rommel, G. Krieger and A. Moreira, "Radar 2020: The Future of Radar Systems," *IEEE*, 2015.
- [6] Y. L. Sit, T. T. Nguyen, C. Sturm and T. Zwick, "2D Radar Imaging with Velocity Estimation using a MIMO OFDM-Based Radar for Automotive Applications," *IEEE*, 2013.
- [7] P. Frank B. Gross, Smart Antennas for Wireless Communications With MATLAB, McGraw-Hill.
- [8] J. Huang, C. A. Balanis dan C. M. Furse, "Modern Antenna Handbook," Kanada, Wiley, 2008.
- [9] W. Wiesbeck, "The Radar of The Future," in *Radar Conference (EuRAD)*, Paris, 2013.
- [10] I. S. Merrill, Introduction to Radar Systems, 3d ed., New York: McGraw-Hill, 2003.
- [11] M. S. I, Introduction of Radar Sistem, New York: McGraw-Hill, 2003.
- [12] M. Braun, M. M<sup>u</sup>ller, M. Fuhr and a. F. K. Jondral, "A USRP-based Testbed for OFDM-based Radar and Communication Systems," *IEEE*.
- [13] D. Kuswidiastuti, M. Rizky, P. H. Mukti and G. Hendranto, "MIMO Radar Waveform Design Using InterleavedOFDM Technique," *IEEE*, 2016.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# LAMPIRAN A

## PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro – FTE  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Chandra Hidayatul Akbar  
Nomor Pokok : 0711144000046  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap 2017/2018  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng. Ph.D  
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

09 FEB 2018

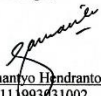
Judul Tugas Akhir : **Implementasi Radar *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dengan Sinyal *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada Perangkat *Transceiver* Berbasis *Software Defined Radio* (SDR)**  
*(Implementation of MIMO-OFDM Radar on Software Defined Radio (SDR) based Transceiver)*

### Uraian Tugas Akhir :


Sistem radar OFDM dikembangkan karena keuntungannya terhadap pergeseran frekuensi Doppler untuk mendeteksi kecepatan target tidak mempengaruhi pengolahan jarak pada sistem. Sedangkan untuk mendeteksi sudut kedatangan target diperlukan antenna MIMO. Untuk menggunakan antenna MIMO, sinyal yang digunakan harus tidak berkorelasi satu sama lain dimana sinyal OFDM menjadi kandidat yang cocok untuk sistem radar MIMO karena sinyal OFDM menghasilkan subcarrier yang saling independen. Sistem radar MIMO-OFDM ini digunakan untuk mendeteksi jarak, laju radial, dan sudut kedatangan dari suatu objek.

Sistem MIMO-OFDM akan diimplementasikan pada perangkat berbasis SDR. Sistem MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2 dimana 2 antenna *transmitter* dan 2 antenna *receiver*. Perancangan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak LabVIEW Communication kemudian implementasi pada perangkat berbasis SDR. Pengujian dan pengukuran dilakukan untuk validasi dan evaluasi kinerja sistem radar MIMO-OFDM dalam mendeteksi jarak dan sudut kedatangan suatu target.

Dosen Pembimbing 1,


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

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1,

  
Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197311192000031001



Dosen Pembimbing 2,

  
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.  
NIP. 196605101992032002

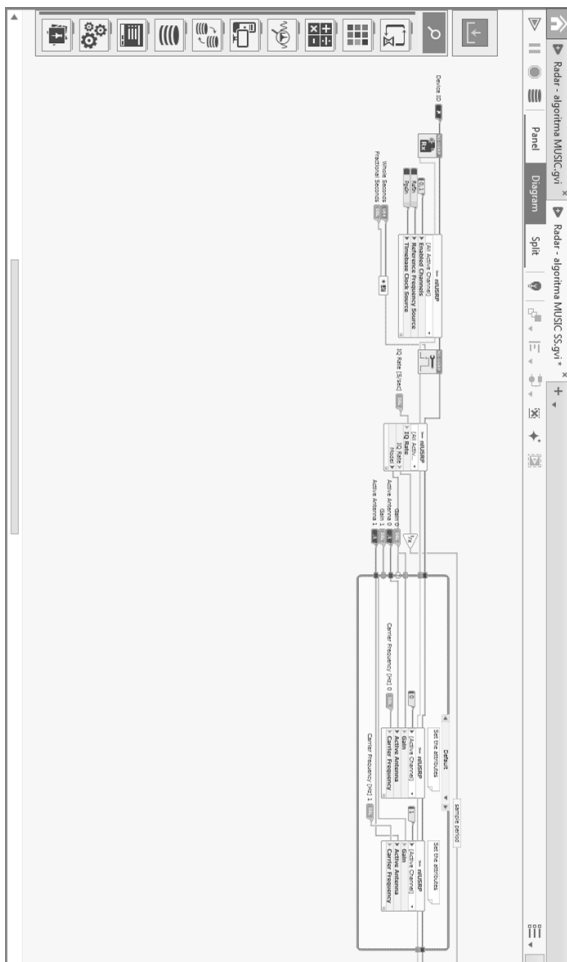
Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi,

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng. Ph.D  
NIP. 197011111992031002

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

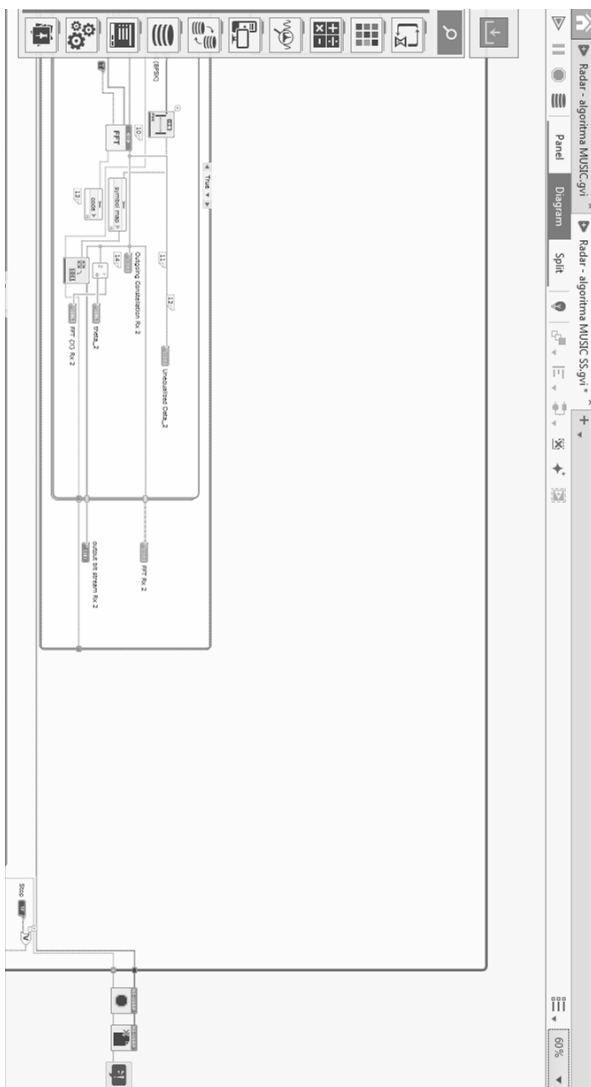
# LAMPIRAN B

## PROGRAM UTAMA PADA PERANGKAT LUNAK LABVIEW COMMUNICATION 2.0

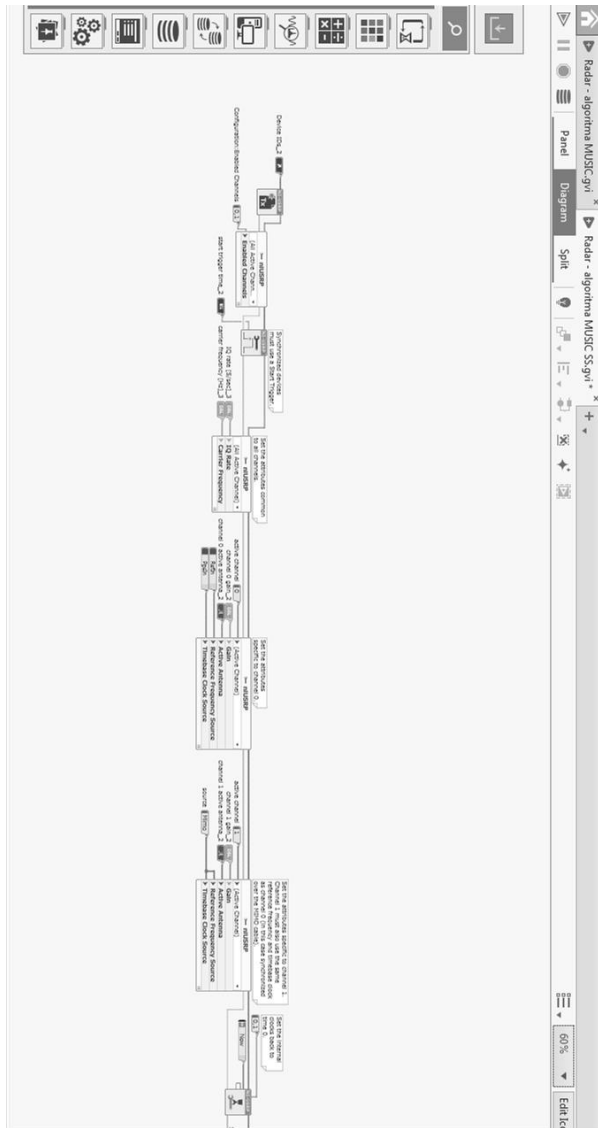


Gambar B. 1 Program Utama (a)



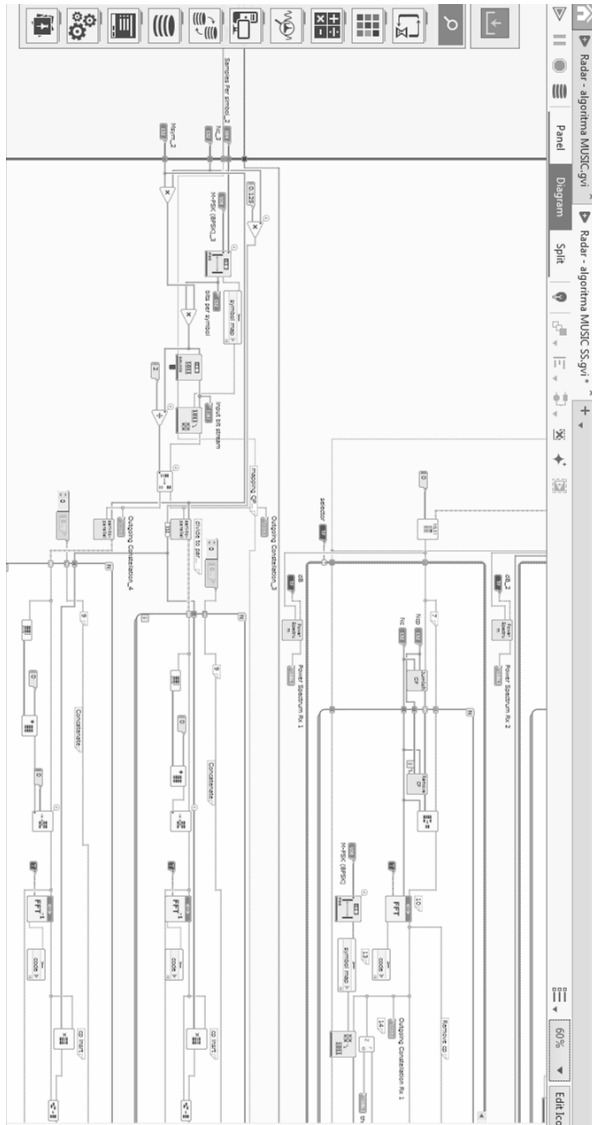


**Gambar B. 3** Program Utama (c)

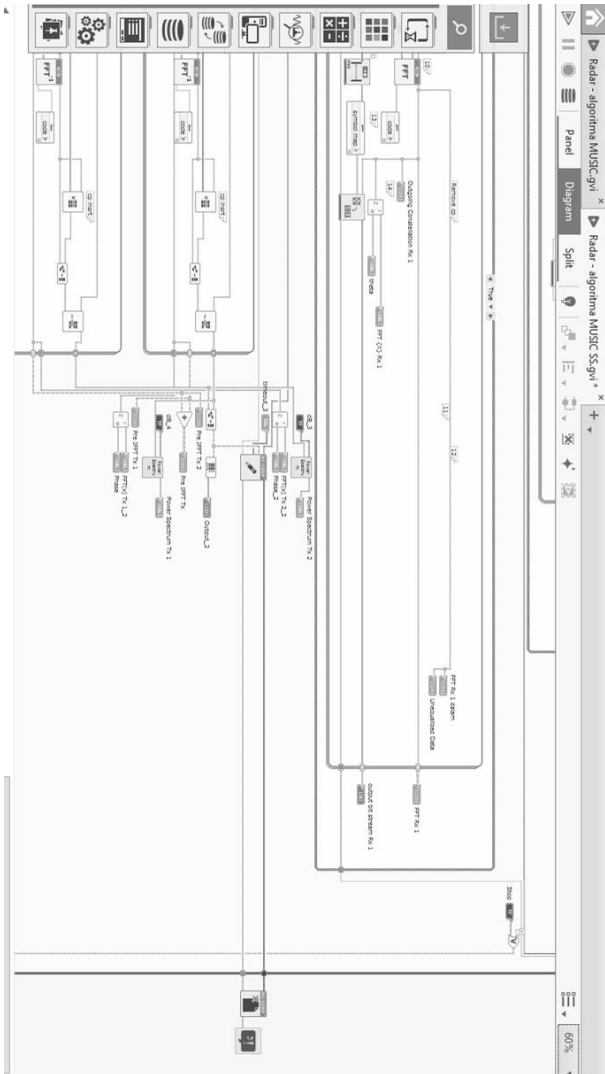


**Gambar B. 4** Program Utama (d)

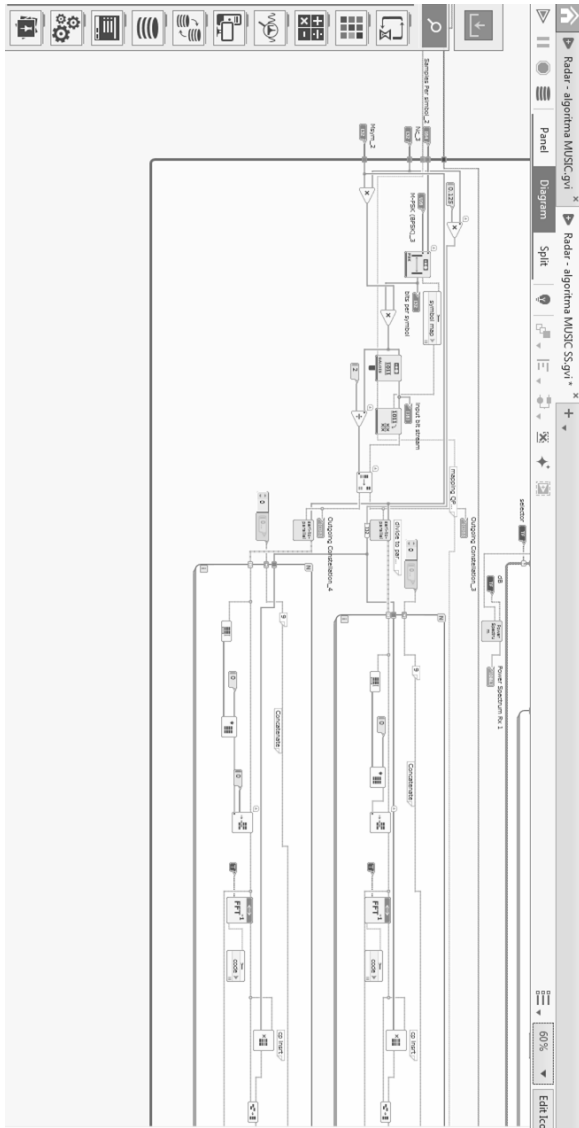




**Gambar B. 5** Program Utama (e)



Gambar B. 6 Program Utama (f)



**Gambar B. 7** Program Utama (g)

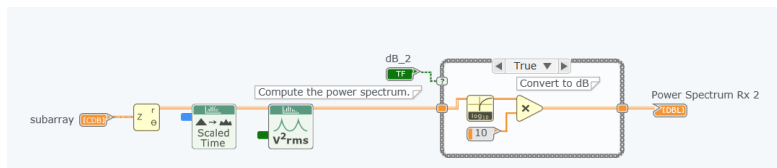


**Gambar B. 8** Program Utama (h)

## LAMPIRAN C

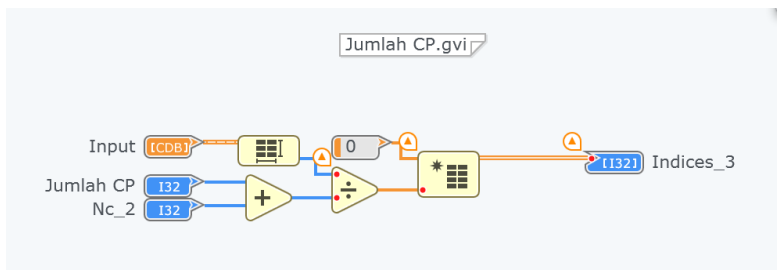
### PROGRAM LAIN PADA PERANGKAT LUNAK LABVIEW COMMUNICATION 2.0

C.1 Fungsi yang digunakan untuk mencari spectrum daya pada program utama



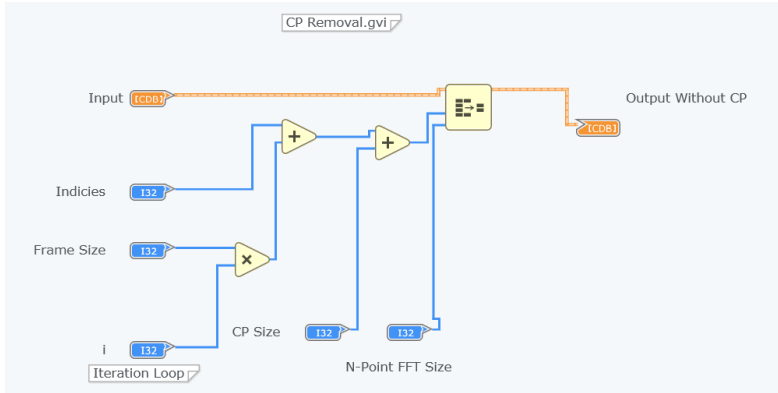
**Gambar C. 1** Power Spectrum.gvi

C.2 Fungsi untuk menentukan jumlah cyclic prefix dan index dimana saja cyclic prefix berada



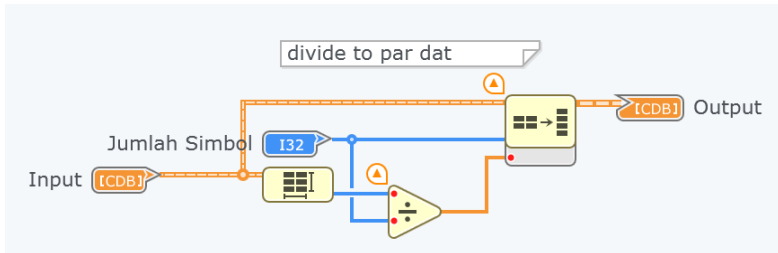
**Gambar C. 2** Jumlah CP.gvi

C.3 Fungsi untuk menghapus cyclic prefix setelah mendapat index dimana saja cyclic prefix berada

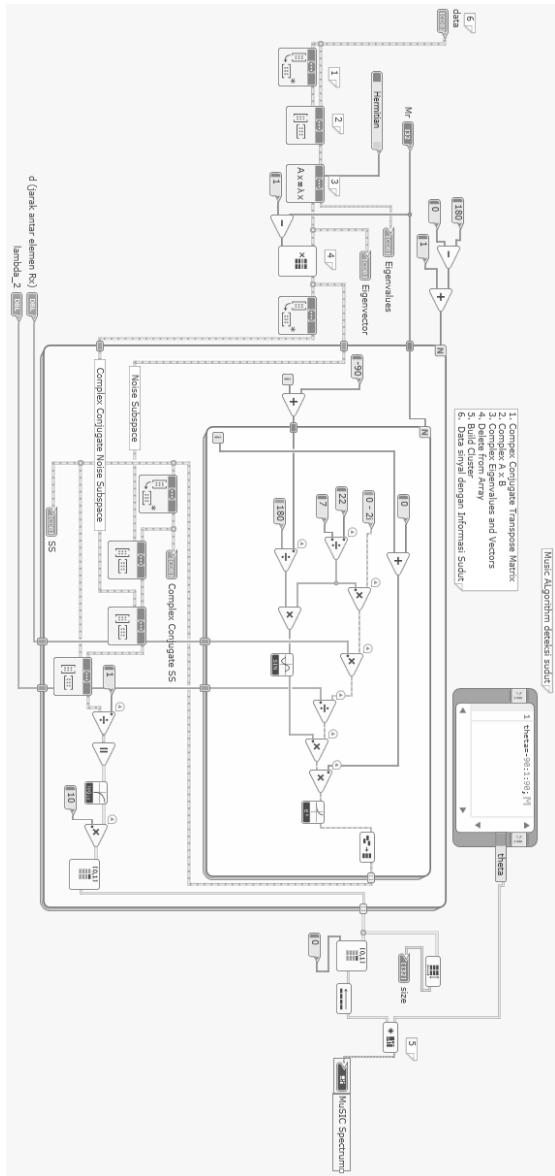


**Gambar C. 3** CP Removal.gvi

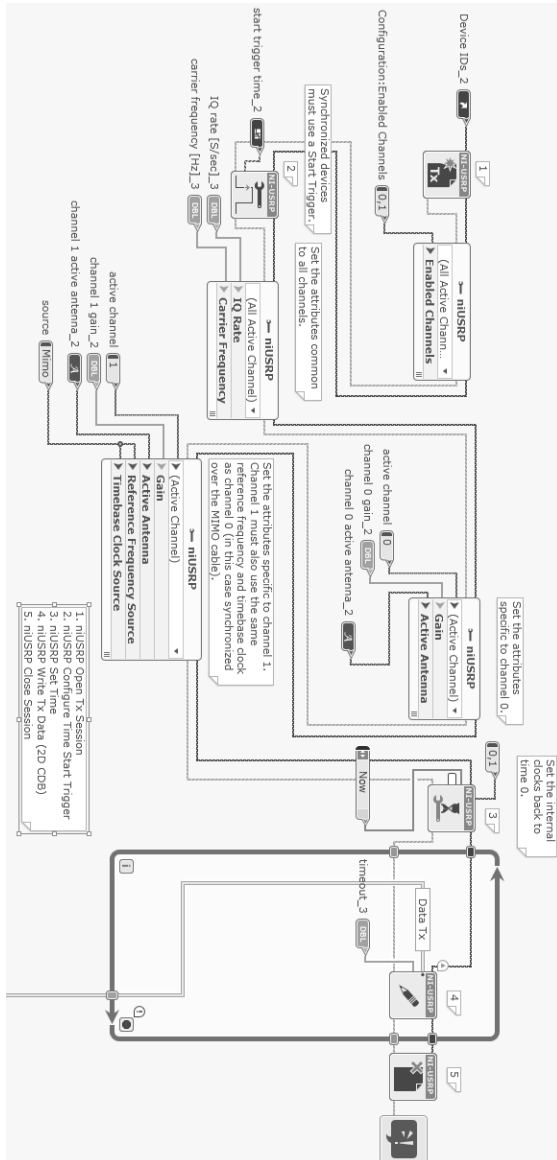
C.4 Fungsi untuk mengubah data berbentuk seri ke bentuk parallel pada pemancar



**Gambar C. 4** seri-toparallel.gvi

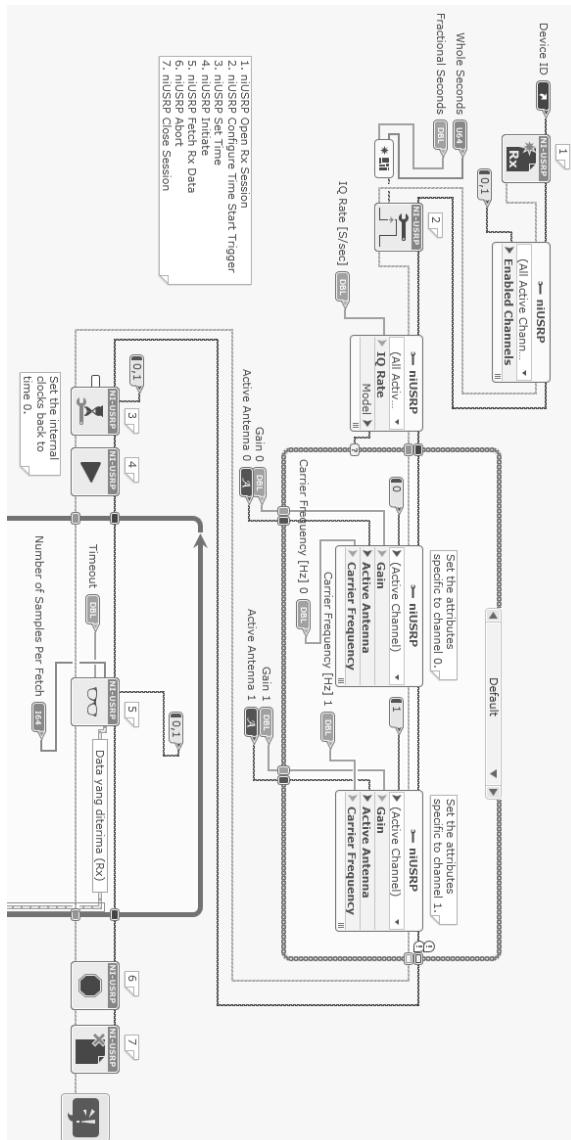


Gambar C. 5 Algoritma MUSIC untuk deteksi DoA



Gambar C. 6 Implementasi Sistem Pemancar pada USRP





**Gambar C. 7** Implementasi Sistem Penerima pada USRP

## LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENGUJIAN

### A. Perangkat yang Digunakan pada Tugas Akhir ini



**Gambar D. 1** USRP 2922 sebagai Pemancar



**Gambar D. 2** USRP RIO sebagai Penerima



**Gambar D. 3** Octoclock sebagai sinkronisasi

**B. Pengujian di Lantai 4 Gedung B dengan Target Gedung Research Centre ITS**

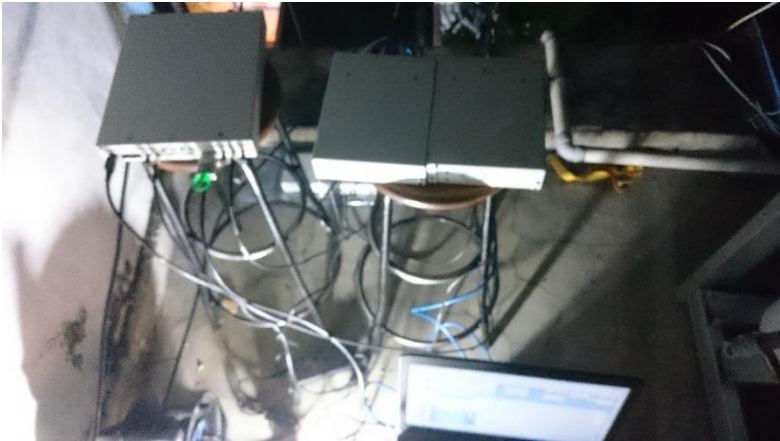


**Gambar D. 4**



**Gambar D. 5**

**C. Pengujian di Lantai 4 Gedung B dengan Target Gedung MIPA Tower ITS**



**Gambar D. 6**



**Gambar D. 7**

#### **D. Pengujian Spektrum Frekuensi dari Sinyal yang Dipancarkan Menggunakan Spectrum Analyzer**



**Gambar C. 8**

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## RIWAYAT PENULIS



Chandra Hidayatul Akbar, lahir di Surabaya pada tanggal 25 April 1996. Anak kedua dari dua bersaudara, merupakan anak dari pasangan Kusnan yang berprofesi sebagai wiraswasta dan Churotul Aini seorang ibu rumah tangga. Menempuh pendidikan formal dari SDN Kertajaya X No. 216 Surabaya, lalu SMPN 6 Surabaya, dilanjutkan pada SMAN 5 Surabaya. Dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menumpuh Pendidikan S1, penulis aktif pada berbagai kegiatan dalam bidang akademik dan non-akademik.