

TUGAS AKHIR - EE 184801

TEKNIK PENGKODEAN GOLAY UNTUK MEREDUKSI PAPR PADA SISTEM RADAR OFDM

ALIF YUDHA PRASETYA

NRP 07111840000225

Dosen Pembimbing

Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.

NIP 198109252008122003

Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

NIP 196411301989032001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE 184801

TEKNIK PENGKODEAN GOLAY UNTUK MEREDUKSI PAPR PADA SISTEM RADAR OFDM

ALIF YUDHA PRASETYA

NRP 07111840000225

Dosen Pembimbing

Devy Kuswidiastuti

NIP 198109252008122003

Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

NIP 196411301989032001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - EE 184801

GOLAY CODING TECHNIQUE FOR REDUCING PAPR ON OFDM RADAR SYSTEM

ALIF YUDHA PRASETYA

NRP 07111840000225

Advisor

Devy Kuswidiastuti

NIP 198109252008122003

Dr. Ir. Titiék Suryani, MT.

NIP 196411301989032001

Undergraduate Study Program of Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Information Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TEKNIK PENGKODEAN GOLAY UNTUK MEREDUKSI PAPR PADA SISTEM RADAR OFDM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ALIF YUDHA PRASETYA**

NRP. 07111840000225


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.



Pembimbing

2. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.



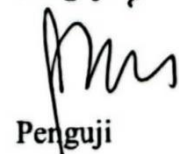
Pembimbing

3. Dr. Ir. Wirawan, DEA.



Penguji

4. Sri Rahayu, ST., M.Kom.



Penguji

5. Prasetiyono Hari Mukti, ST., M.Sc.



Penguji

SURABAYA
Juni, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

GOLAY CODING TECHNIQUES FOR REDUCING PAPR ON OFDM RADAR SYSTEM

FINAL PROJECT PROPOSAL

Submitted to fulfill one of the requirements
For obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Electrical Intelligent Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **ALIF YUDHA PRASETYA**

NRP. 07111840000225

Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

1. Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.



Advisor

2. Dr. Ir. Titiiek Suryani, MT.




Co-Advisor

3. Dr. Ir. Wirawan, DEA.



Examiner

4. Sri Rahayu, ST., M.Kom.



Examiner

5. Prasetiyono Hari Mukti, ST., M.Sc.



Examiner

SURABAYA
Juni, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Alif Yudha Prasetya / 07111840000225
Program studi : Telekomunikasi Multimedia
Dosen Pembimbing / NIP : Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc. / 198109252008122003
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT. / 196411301989032001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Teknik Pengkodean Golay untuk Mereduksi PAPR pada Sistem Radar OFDM” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 24 Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
NIP. 198109252008122003

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
NIP. 196411301989032001

Mahasiswa



Alif Yudha Prasetya
NRP. 07111840000225

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Alif Yudha Prasetya / 07111840000225
Department : Electrical Engineering
Advisor / NIP : Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc. / 198109252008122003
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT. / 196411301989032001

Hereby declare that the Final Project with the title of "Teknik Pengkodean Golay untuk Mereduksi PAPR pada Sistem Radar OFDM" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

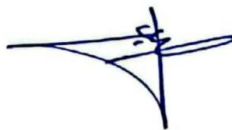
Surabaya, 24 June 2022

Acknowledged
Advisor



Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
NIP. 198109252008122003

Acknowledged
Advisor



Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
NIP. 196411301989032001

Student



Alif Yudha Prasetya
NRP. 07111840000225

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRAK

TEKNIK PENGKODEAN GOLAY UNTUK MEREDUKSI PAPR PADA SISTEM RADAR OFDM

Nama Mahasiswa / NRP : Alif Yudha Prasetya / 0711184000225
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

Abstrak

Sinyal Radar OFDM sangat baik dalam penggunaan sistem komunikasi karena keunggulan modulasi subcarrier fleksibel, pemanfaatan spektrum tinggi, dan sinkronisasi mudah. Keunggulan sistem radar OFDM guna mendapatkan hasil deteksi laju radial dan jarak dari objek. Sinyal OFDM memiliki kelemahan yang terdapat pada PAPR yang tinggi. PAPR tinggi akan menyebabkan sinyal OFDM rentan terkena distorsi nonlinier sehingga OFDM mengalami intermodulasi dan kebocoran spektral. Kemudian nilai PAPR yang tinggi menyebabkan penggunaan Power Amplifier tidak efisien. Penelitian ini akan mereduksi nilai PAPR dengan pengkodean Golay. Ditemukan penelitian yang memperkenalkan modifikasi Golay Pairs yang saling melengkapi dalam fungsi autokorelasi kuadrat dan mempertahankan sifat komplementernya ketika ditransmisikan melalui frekuensi yang berbeda, karena itu Golay cocok pada sistem Radar.

Permasalahan yang akan diteliti pada tugas akhir ini adalah karakteristik sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR yang tinggi sehingga menimbulkan permasalahan dan akan dianalisis karakteristik PAPR sebelum dan sesudah diimplementasikan pengkodean golay pada sistem radar OFDM. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sistem radar OFDM yang diteliti untuk surveillance yang bekerja pada frekuensi S-Band, penelitian akan dititikberatkan dari sisi pemancar, dan pengujian kinerja golay code untuk mereduksi PAPR akan dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan software.

Hasil yang didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut: Nilai PAPR pada sinyal Radar OFDM dapat direduksi dengan penggunaan kode Golay sebesar 21 dB pada Skema 1, 18.2 dB pada Skema 2, dan 21.55 dB pada Skema 3. Dilihat dari plot CCDFnya pun penggunaan kode Golay cukup efisien dengan stabilnya nilai PAPR jika dibandingkan dengan *Hadamard Matrix*. Sehingga tidak diperlukan pemilihan kombinasi yang cukup berarti dalam penggunaan kode Golay untuk mereduksi nilai PAPR. Berbeda dengan *Hadamard Matrix* yang hasil plot CCDFnya cenderung tidak stabil.

Kata kunci: *OFDM, Golay Code, Hadamard Matrix, PAPR.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

GOLAY CODING TECHNIQUES FOR REDUCING PAPR ON OFDM RADAR SYSTEM

Student Name / NRP : Alif Yudha Prasetya / 0711184000225
Department : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Advisor : Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

Abstract

OFDM Radar signals are excellent in the use of communication systems due to the advantages of flexible subcarrier modulation, high spectrum utilization, and easy synchronization. Advantages of OFDM radar system to get the results of radial rate detection and distance from objects. OFDM signals have weaknesses found in high PAPR. High PAPR will cause OFDM signals to be susceptible to nonlinear distortions so that OFDM undergoes intermodulation and spectral leakage. Then a high PAPR value led to inefficient use of power amplifiers. This research will reduce the value of PAPR with Golay encoding. It found that research introduced complementary modifications of Golay Pairs in quadratic autocorrelation functions and maintained their complementary properties when transmitted over different frequencies, therefore Golay fits on radar systems.

The problem that will be examined in this final task is the characteristics of OFDM signals that have high PAPR values that cause problems and will be analyzed the influence of PAPR characteristics before and after the implementation of golay encoding on the OFDM radar system. The limitations of the problem in this final task are the OFDM radar system studied for surveillance working on S-Band frequencies, research will be emphasized from the transmitter side, and golay code performance testing to reduce PAPR will be done through simulation using software.

The results obtained based on the research that has been carried out are as follows: The PAPR value on the OFDM Radar signal can be reduced by the use of Golay and Hadamard Matrix codes. Judging from the CCDF plot, the use of golay codes is quite efficient with the stable PAPR value when compared to the Hadamard Matrix. So there is no need to choose a combination that is meaningful enough in the use of the Golay code to reduce the PAPR value. Unlike the Hadamard Matrix, whose CCDF plot results tend to be unstable.

Keyword: *OFDM, Golay Code, Hadamard Matrix, PAPR.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur yang sebesar-besarnya yang penulis panjatkan kehadirat Allah swt. Yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Teknik Pengkodean Golay untuk Mereduksi PAPR pada Sistem Radar OFDM**. Tugas Akhir yang mempunyai beban 6 SKS ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi S1 pada Fakultas Teknologi Elektro (FTE) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Melalui kegiatan ini mahasiswa dapat melakukan kegiatan laporan yang bersifat penelitian ilmiah dan menghubungkannya dengan teori yang selama ini dipelajari dalam masa perkuliahan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Ayah dan Ibu saya yang selalu mendoakan serta kedua kakak saya Sabrina Indah dan Ulfa Aprillia yang ikut mendoakan agar bisa menjadi yang terbaik untuk menyelesaikan masa perkuliahan S1 dengan sebaik-baiknya.
2. Ibu Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc. dan Ibu Dr. Ir. Titiék Suryani, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Elektro yang memberikan materi perkuliahan selama 8 semester, serta memberikan saran dalam ujian Tugas Akhir.
4. Teman-teman e57 dan e58 terutama Nadhif Ramadhan yang memberikan bantuan informasi maupun dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Resqi Abdurrazzaq, Rifqi Rahmadrian, Rayhan Bram, Fairuz Lathifah (kuvuu) yang menemani saya selama pengerjaan Tugas Akhir ini selama 1 tahun terakhir.
6. Cesia Callista (Bawel) yang menyemangati dan mendoakan saya untuk terus menyelesaikan TA.

Harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Fakultas Teknologi Elektro pada khususnya.

Surabaya, September 2021

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2
BAB 2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	3
2.2 Dasar Teori	4
2.2.1 Sistem Radar	4
2.2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing	8
2.2.3 Radar OFDM	8
2.2.4 <i>Peak to Average Power Ratio</i>	12
2.2.5 <i>Golay Code</i>	13
2.2.6 <i>Hadamard Code</i>	14
BAB 3 BAB III METODOLOGI	17
3.1 Pendahuluan	17
3.2 Desain Sistem	17
3.2.1 Parameter Radar OFDM	20
3.3 Bahan dan peralatan yang digunakan	20
3.3.1 <i>Personal Computer</i> atau Laptop	20
3.3.2 Matlab R2021b	20
3.4 Skema Simulasi	21
	xv

3.4.1	Skema 1	21
3.4.2	Skema 2	21
3.4.3	Skema 3	22
3.4.4	Skema 4	23
3.5	Pemodelan Sistem Sinyal Radar OFDM	24
3.5.1	Pembangkitan Bit	24
3.5.2	Kode Golay	25
3.5.3	Memisahkan Kode Golay dan yang tidak menggunakan kode Golay	26
3.5.4	IFFT	26
3.5.5	Perhitungan PAPR	26
3.5.6	Membuat Plot <i>Complementary Cumulative Distribution Function</i>	26
BAB 4	BAB IV Hasil dan Pembahasan	29
4.1	Hasil Penelitian	29
	Transmisi 2 Sinyal OFDM dengan menggunakan 2 Subband yang Berbeda	29
4.1.1	Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-1	29
4.1.2	Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-2	31
4.1.3	Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-3	33
4.1.4	Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-4	35
4.2	Hasil Perhitungan PAPR	36
4.2.1	Hasil Analisa PAPR Skema-1	36
4.2.2	Hasil Analisa PAPR Skema-2	37
4.2.3	Hasil Analisa PAPR Skema-3	37
4.2.4	Hasil Analisa PAPR Skema-4	38
4.3	Hasil Perhitungan CCDF	39
4.3.1	Hasil Analisa CCDF Skema-2	39
4.3.2	Hasil Analisa CCDF Skema-3	39
4.4	Sintesis	40
BAB 5	BAB V Kesimpulan dan Saran	41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
	DAFTAR PUSTAKA	43
	LAMPIRAN	45
A.	Lembar Pengesahan Proposal	45
B.	Listing Program Tugas Akhir	46
C.	Hasil dari Program Matlab	53
	BIODATA PENULIS	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Sistem Radar	5
Gambar 2.2 Prinsip Kerja OFDM dalam Blok Diagram	9
Gambar 2.3 Ilustrasi K-simbol OFDM dengan N-subcarrier (Lellouch, 2019)	10
Gambar 2.4 Representasi Peak Power dengan Average Power	13
Gambar 2.5 Prinsip mutually orthogonal Golay complementary sets untuk $M=2, L=8$	13
Gambar 2.6 Contoh Implementasi Golay Code pada sinyal OFDM	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Radar OFDM yang Digunakan	18
Gambar 3.3 Diagram Blok Parameter Radar OFDM	19
Gambar 3.4 Skema-1	21
Gambar 3.5 Skema-2	22
Gambar 3.6 Skema-3	23
Gambar 3.7 Skema-4	24
Gambar 3.8 Contoh Bit di Bangkingkat ukuran 32×32	25
Gambar 3.9 Contoh Kode Golay(32)	25
Gambar 3.10 Transmitted Signal dengan Kode Golay	26
Gambar 3.11 Salah Satu Grafik CCDF pada Penelitian	27
Gambar 4.1 Sinyal Radar OFDM Skema-1 (TANPA Kode)	30
Gambar 4.2 Sinyal Radar OFDM skema-1 menggunakan Kode Hadamard	30
Gambar 4.3 Sinyal Radar OFDM skema-1 menggunakan Kode Golay	30
Gambar 4.4 Plot CCDF dari skema-1	31
Gambar 4.5 Sinyal Radar OFDM skema-2 menggunakan Kode Golay	32
Gambar 4.6 Sinyal Radar OFDM skema-2 menggunakan Kode Hadamard	32
Gambar 4.7 Plot CCDF dari skema-2	33
Gambar 4.8 Sinyal Radar OFDM skema-3 menggunakan Kode Hadamard	34
Gambar 4.9 Sinyal Radar OFDM skema-3 menggunakan Kode Golay	34
Gambar 4.10 Plot CCDF dari skema-3	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemetaan Hasil Penelitian Terdahulu.....	4
Tabel 2.2 Standar Frekuensi Radar.....	7
Tabel 3.1 Parameter Radar OFDM.....	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop Razer Blade Stealth.....	20
Tabel 4.1 Penamaan Skema.....	29
Tabel 4.2 Parameter Radar OFDM Skema-1.....	29
Tabel 4.3 Parameter Radar OFDM Skema-2.....	31
Tabel 4.4 Parameter Radar OFDM Skema-3.....	33
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari Skema-1.....	36
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari skema-2.....	37
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari skema-3.....	38

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah yang dihadapi, batasan permasalahan, tujuan, metodologi penulisan, sistematika penulisan, dan relevansi.

1.1 Latar Belakang

Penginderaan radar dan komunikasi nirkabel merupakan aplikasi yang paling umum dan penting dalam teknologi radio modern. Mereka dirancang dan dikembangkan secara independen sesuai dengan fungsi dan pita frekuensi yang berbeda. Namun, dengan peningkatan eksponensial dalam jumlah perangkat nirkabel dan kebutuhan bandwidth yang lebih tinggi untuk transmisi data berkecepatan tinggi, spektrum elektromagnetik menjadi sangat penuh (Li et al., 2019a). Disamping itu sinyal OFDM telah banyak digunakan dalam system komunikasi praktis karena keunggulan modulasi subcarrier fleksibel, pemanfaatan spektrum tinggi, sinkronisasi mudah, dll. N. Levanon pertama kali memperkenalkan teknologi modulasi OFDM di bidang radar dan diusulkan sinyal kode fase pelengkap multicarrier. Dari perspektif fungsi ambiguitas sinyal OFDM, telah dibuktikan bahwa radar OFDM memiliki ambiguitas jarak Doppler yang lebih baik daripada radar LFM tradisional.

Dalam sistem OFDM, sinyal OFDM terdiri atas penjumlahan sejumlah subcarrier yang dimodulasi secara independen. Apabila fasa setiap subcarrier sama maka akan dihasilkan daya sinyal maksimum sebesar N kali daya rata-ratanya. Perbandingan antara daya sinyal maksimum dengan daya rata-ratanya biasa disebut sebagai Peak to Average Power Ratio (PAPR). Umumnya nilai PAPR dideskripsikan secara statistik dengan menggunakan Complementary Cumulative Distribution. Keunggulan sistem radar OFDM guna mendapatkan hasil deteksi laju radial dan jarak dari objek. Kelemahan OFDM terdapat pada PAPR yang tinggi. PAPR tinggi akan menyebabkan sinyal OFDM rentan terkena distorsi nonlinier sehingga OFDM mengalami intermodulasi dan kebocoran spektral. Kemudian nilai PAPR yang tinggi mengakibatkan rentan terkena distorsi nonlinier karena sistem OFDM membutuhkan amplifier dengan dynamic range yang lebar untuk mengakomodasi amplitudo sinyal.

Dalam penginderaan dan komunikasi seringkali diperlukan untuk melokalisasi sinyal yang diterima pada waktunya. Misalnya, untuk memperkirakan jangkauan target dari radar berdasarkan penundaan pengembalian radar atau untuk menyinkronisasi handset seluler dengan sinyal pilot yang dikirim dari pangkalan stasiun. Biasanya, lokalisasi dilakukan dengan menyaring sinyal yang diterima dengan bentuk gelombang yang ditransmisikan (Pezeshki et al., 2008). Output dari filter yang cocok idealnya adalah impuls pada penundaan yang diinginkan. Oleh karena itu, bentuk gelombang dengan fungsi autokorelasi seperti impuls sangat berharga dalam aplikasi ini. Namun tidak mungkin untuk mencapai fungsi autokorelasi aperiodik impuls dengan urutan unimodular tunggal. Hal ini menyebabkan ide untuk menggunakan set komplementer dari urutan unimodular untuk pengkodean fase.

Kelas yang paling terkenal dari urutan komplementer adalah urutan komplementer biner yang diperkenalkan oleh Marcel Golay. Urutan komplementer Golay (pasangan Golay) memiliki korelasi silang nol pada nol set, banyak digunakan untuk representasi sinyal, pengkodean, modulasi, dan penyebaran spektrum aplikasi, meskipun autokorelasi ideal (yaitu, nol pada offset yang bukan-nol) tidak mungkin untuk sebuah finite urutan panjang, jumlah autokorelasi masing-masing fungsi dalam satu set urutan bisa jadi ideal (Xiaojing Huang, 2006). Jadi, jika sekuens ditransmisikan secara terpisah dan fungsi autokorelasi ditambahkan bersama, jumlahnya akan menjadi impuls.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana Karakteristik sinyal OFDM yang mempunyai nilai PAPR yang tinggi dapat menimbulkan permasalahan?
2. Bagaimana karakteristik PAPR pada sistem radar OFDM?
3. Bagaimana karakteristik PAPR pada sistem radar OFDM setelah diimplementasikan pengkodean golay?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu Mereduksi nilai Peak to Average Power Ratio (PAPR) yang tinggi pada sinyal radar Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) dengan menggunakan pengkodean Golay.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Sistem radar OFDM yang akan di teliti pada tugas akhir ini adalah sistem radar untuk *Surveillance* yang bekerja pada frekuensi *S-Band*.
2. Penelitian akan dititikberatkan pada sisi pemancar dari radar OFDM.
3. Pengujian kinerja *Golay Code* untuk mereduksi PAPR akan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk membantu dan menyempurnaan penelitian selanjutnya mengenai metode reduksi nilai PAPR pada system radar.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai istilah-istilah serta materi dasar yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir.

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai reduksi PAPR pada sinyal OFDM sudah banyak diteliti, disini saya mengambil 2 penelitian yaitu yang diteliti oleh Wanlu Li dan Zeming DONG. Disamping itu penelitian terdahulu membantu peneliti untuk menghindari anggapan kesamaan dari penelitian sebelumnya sehingga dapat menunjukkan orisinalitas dari penelitian. Pada bagian ini peneliti mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu yang terkait pada topik yang diambil pada Tugas Akhir ini. Berikut merupakan hasil penelitian terdahulunya.

Penelitian yang dilakukan oleh Wanlu Li (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “*Waveform Design for Dual-Function Radar-Communication System with Golay Block Coding*”. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa sistem Radar OFDM yang berbasis Golay Block Coding. Hasil dari penelitian ini mendemonstrasikan sistem radar dengan Golay Block Coding dapat mengurangi *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) dari bentuk gelombang dan *bit error rate* (BER) dapat berkurang secara efektif, sedangkan jangkauan *side lobes* dapat dikurangi untuk kinerja deteksi radar yang lebih baik. Penggunaan sistem radar yang mengintegrasikan basis antara bentuk gelombang radar dan sinyal komunikasi sangat diperlukan pada teknologi radio modern. Salah satu sinyal komunikasi yang paling sering diimplementasikan pada sistem komunikasi adalah sinyal *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) karena memiliki banyak keunggulan.

Sinyal dengan teknologi modulasi OFDM pada dunia radar pertama kali diperkenalkan oleh N. Levanon dan diajukan sebagai *multicarrier complementary phase-coded signal*. Sinyal OFDM sudah dibuktikan jika diimplementasikan pada sistem radar dari segi fungsi ambiguitas memiliki jarak ambiguitas Doppler yang lebih baik daripada jenis sinyal komunikasi lain seperti *Linear Frequency Modulation* (LFM). Namun, sinyal OFDM adalah jumlah total dari semua komponen *subcarrier* dari operasi *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), sehingga menyebabkan masalah tingginya PAPR. Maka dari itu pada penelitian ini diinvestigasi penggunaan Golay code, mengingat bahwa hubungan antara Golay *complementary sequence* dan Reed Muller (RM) *code*, peneliti mengkodekan secara acak bit komunikasi ke dalam Golay *complementary sequence* dengan RM *code* menghasilkan PAPR berkurang menjadi kurang dari 3 dB, serta kemampuan deteksi dan koreksi ikut meningkat. Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saya adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang diteliti adalah sama-sama sistem Radar OFDM.
2. Jenis pengkodean yang digunakan untuk penelitian juga sama berbasis kode Golay.
3. Subjek dalam penelitiannya sama-sama PAPR.

Sedangkan perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saya adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi yang digunakan dalam penelitian sebelumnya adalah sistem radar komunikasi, sedangkan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian saya adalah sistem radar *surveillance* yang biasanya digunakan untuk mendeteksi pesawat.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Zeming DONG (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*A Study on PAPR Reduction in OFDM Using Complex Hadamard Matrices*”. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis masalah PAPR yang terjadi pada sistem OFDM yang diatasi dengan *Complex*

Hadamard Matrice. Hasil dari penelitian ini mensimulasikan desain sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR yang cukup besar bisa di reduksi dengan Hadamard matrix. Sinyal OFDM diketahui sangat efektif untuk mengirim data sekaligus dikarenakan sifat ortogonalistanya, tetapi ada kekurangan yang dimiliki oleh sinyal OFDM itu sendiri, seperti membutuhkan daya yang besar dikarenakan memiliki nilai PAPR yang cukup tinggi. Terkadang ada beberapa Receiver yang cukup sensitive jika menerima sinyal dan ada radiasi yang cukup besar yang biasanya dihasilkan oleh *High Power Amplifier*. Maka dari itu penelitian ini mengusulkan metode Hadamard matrix untuk OFDM dalam menyelesaikan masalah PAPR yang cukup tinggi. Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saya adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang diteliti sama-sama *PAPR*.
2. Basis dari jenis sinyalnya sama-sama menggunakan OFDM.
3. Tujuan dari penelitian sama-sama mengurangi nilai PAPR.

Sedangkan perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saya adalah sebagai berikut:

1. Jenis pengkodean yang digunakan penelitian sebelumnya adalah Hadamard
2. Spesifikasi yang digunakan dalam penelitian sebelumnya adalah system komunikasi nirkabel.

Tabel 2.1 Pemetaan Hasil Penelitian Terdahulu

Nama, Judul (Tahun), Penerbit, Metode Penelitian	Teori Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
Li Wanlu, <i>Waveform Design for Dual-Function Radar-Communication System with Golay Block Coding</i> (2019), Xidian University, Deskriptif Kuantitatif	Pengaruh Kode Golay	Mereduksi PAPR dan BER	Mendemonstrasikan sistem radar dengan Golay Block Coding dapat mengurangi <i>Peak-to-Average Power Radio</i> (PAPR) dari bentuk gelombang dan <i>bit error rate</i> (BER) dapat berkurang secara efektif, sedangkan jangkauan <i>side lobes</i> dapat dikurangi untuk kinerja deteksi radar yang lebih baik.
Zeming DONG, <i>A Study on PAPR Reduction in OFDM Using Complex Hadamard Matrices</i> (2017), Yamaguchi University, Deskriptif Kuantitatif	Pengaruh Kode Hadamard	Mengatasi masalah <i>PAPR</i> yang tinggi pada sinyal OFDM	Mensimulasikan desain sinyal komunikasi nirkabel yang memiliki PAPR tinggi dan bisa meningkatkan performa dengan menggunakan matrix Hadamard.

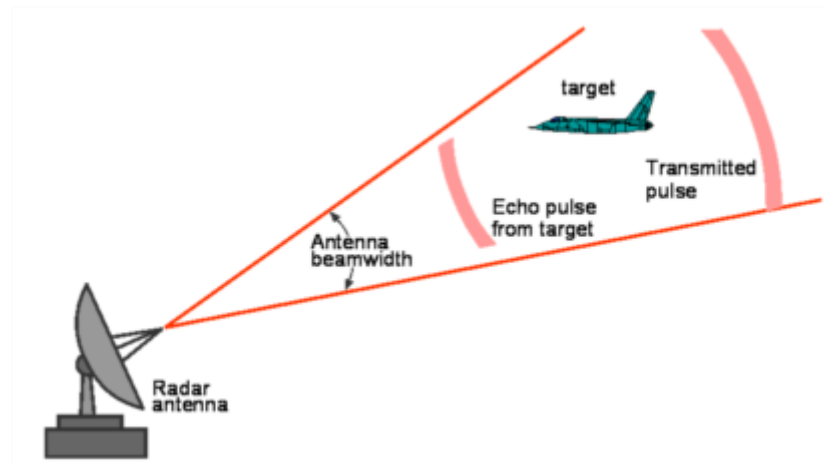
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Radar

Radar adalah sistem kelistrikan yang mentransmisikan *Radio Frequency* (RF) *Electromagnetic* (EM) *Waves* menuju wilayah yang diinginkan dan menerima serta mendeteksi gelombang EM ini ketika dipantulkan dari objek di wilayah itu (Richards et al., 2010). Radar yang diambil dari bahasa Inggris yaitu *Radio Detection and Ranging*. Radar Doppler sendiri merupakan gabungan dari sistem radar yang menggunakan efek doppler sebagai reaksi sinyal radiasi yang dipancarkan, ditujukan untuk mengetahui data tentang jarak dan laju suatu objek. Sinyal yang ditransmisikan merupakan *microwave* (gelombang mikro) yang berisi tentang

informasi hasil deteksi target. Data yang diterima merupakan radiasi sinyal pantulan (*echo*) dari objek yang terdeteksi, digambarkan dengan pergeseran frekuensi setelah terpantul dari suatu objek yang menyebabkan pergeseran fasa sinyal tersebut dan didapatkan dari hasil perbandingan sinyal yang diterima dengan sinyal yang dipancarkan berupa data jarak, posisi, laju radial, dan karakteristik target lainnya.

Radar mentransmisikan gelombang mikro (*microwave*) berisi hasil dari deteksi pantulan objek yang disebut target. Data yang diterima berupa radiasi sinyal pantulan (*echo*) dari target yang terdeteksi. Untuk meningkatkan deteksi target digunakannya Radar Doppler. Radar Doppler sendiri merupakan suatu gabungan sistem radar yang memakai efek Doppler sebagai peningkatan reaksi sinyal radiasi yang dipancarkan untuk mengetahui data jarak dan laju sebuah objek (Skolnik, 2008).



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Sistem Radar

2.2.1.1 Deteksi Target

Pendeteksian target dilakukan dengan memanfaatkan waktu yang dibutuhkan ketika sinyal berpropagasi menuju target, lalu kembali ke penerima radar (T_R) atau *receiver*. Waktu yang diperlukan sinyal untuk berpropagasi di kasus ini adalah $2R/c$, dimana R adalah jarak dari sinyal untuk berpropagasi dan c adalah kecepatan cahaya dengan nilai 3×10^8 m/s, sehingga jarak target dapat dirumuskan dengan persamaan 2.1 (Skolnik, 2001).

$$R = \frac{cT_R}{2} \quad (2.1)$$

untuk menentukan jarak yang ditempuh oleh radar sebelum sinyal setelahnya, dapat ditransmisikan dengan *Maximum Unambiguous Range* yang dirumuskan dalam persamaan 2.2

$$R_{unamb} = \frac{cT_p}{2} \quad (2.2)$$

Dimana T_p adalah periode waktu suatu sinyal yang dipancarkan untuk mengetahui sinyal yang diterima tanpa terjadi ambiguitas antar sinyal yang diterima oleh radar. Selain itu, terdapat juga penentuanaju radial target yang dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan 2.3

$$V = \frac{cf_p}{2f} \quad (2.3)$$

Dimana f_D merupakan frekuensi Doppler yang terjadi akibat pergerakan dari objek atau target radar yang memantulkan sinyal (*echo*) dan menyebabkan pergeseran frekuensi dalam satuan Hertz. Dan f sendiri merupakan frekuensi kerja yang dipancarkan yang juga dalam satuan Hertz. Sedangkan, untuk menentukan laju radial yang dapat terdeteksi dapat dijelaskan dalam persamaan 2.4

$$V_{unamb} = \frac{c}{2fT} \quad (2.4)$$

Dimana T merupakan periode sinyal kedalam satuan detik (s). 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 yang terlalu rendah. Dijelaskan dengan persamaan (2.4), dimana T adalah periode sinyal yang sebanding dengan satu per frekuensi perulangan pulsa sinyal radar, dimana saat nilai frekuensinya terlalu rendah dapat menyebabkan ambiguitas jarak radar.

2.2.1.2 Frekuensi S-Band

Radar konvensional umumnya beroperasi dalam wilayah gelombang mikro (*microwave*). Radar operasional pada masa lalu berada di frekuensi mulai dari sekitar 100 MHz hingga 36 GHz, yang mencakup lebih dari delapan oktaf. Ini belum tentu menjadi batasannya. Radar *over-the-horizon* HF operasional beroperasi pada frekuensi serendah beberapa megahertz. Di sisi lain spektrum, radar dengan gelombang *experimental millimeter* telah berada pada frekuensi yang lebih tinggi dari 240 GHz. Maka dari itu radar memiliki berbagai frekuensi sesuai kebutuhan yang digunakan, pembagiannya dapat dilihat pada tabel (Skolnik, 2001).

Pada penelitian ini digunakan S-band yang mempunyai frekuensi rentang 2,0 hingga 4,0 GHz. Pengaplikasian S-Band atau Radar Surveillance terdapat pada bidang militer, *Air Traffic Control* (ATC). Pada bidang ATC contohnya untuk mengontrol lalu lintas udara dengan aman di sekitar bandara bernama *Airport Surveillance Radar* (ASR). Jangkauannya biasanya 50 hingga 60 nmi. Jika diinginkan radar 3D (yang menentukan jangkauan, sudut azimuth, dan sudut elevasi), itu dapat dicapai di S-band. Dijelaskan sebelumnya bahwa pengawasan jarak jauh lebih baik dilakukan pada frekuensi rendah dan pengukuran lokasi target yang akurat lebih baik dilakukan pada frekuensi tinggi. Jika hanya satu radar yang beroperasi dalam satu pita frekuensi yang dapat digunakan, maka pita S adalah pilihan yang terbaik (Skolnik, 2008)

Tabel 2.2 Standar Frekuensi Radar

Radar Band	Frequency
HF	3 — 30 MHz
VHF	30 — 300 MHz
UHF	300 — 1000 MHz
L	1 — 2 GHz
S	2 — 4 GHz
C	4 — 8 GHz
X	8 — 12 GHz
Ku	12 — 18 GHz
Ka	27 — 40 GHz
mm (V & W)	40 — 300 GHz

2.2.1.3 Metode Pemrosesan Radar

Pada proses yang paling penting untuk mendapatkan informasi jarak dan laju radial dari sistem radar OFDM yang dengan memperhitungkan jumlah *subcarrier* dan simbol yang dibangkitkan oleh radar, dengan mengkalkulasikan adanya delay yang diakibatkan jarak tempuh dari sinyal *echo* dan juga frekuensi Doppler yang terjadi akibat pergerakan dari target yang terdeteksi (Wiesbeck, 2014).

Metode ini dapat dilakukan dengan pemrosesan berdasarkan simbol dan periodogram. Proses pengolahan data yang diterima oleh radar pada umumnya menggunakan korelasi silang yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang jarak dan laju radial tetapi pada tugas akhir ini tidak digunakan karena membutuhkan durasi simbol yang cukup panjang atau perlunya terjadi koherensi waktu, *sidelobe* yang tidak diperhitungkan harus diperkirakan, dan juga membutuhkan komputasi dengan usaha yang lebih besar.

Ada pula metode yang dilakukan untuk melakukan proses pengolahan berdasarkan simbol yang pertama dengan cara membandingkan nilai hasil FFT di penerima dan nilai sebelum IFFT pada pemancar pada tiap simbol elemennya yang terdapat informasi tentang laju radial dan jarak target terhadap radar. Seperti pada persamaan

$$I_{div} = e^{-j2\pi\Delta f \frac{2R}{c}}, \quad 0 \leq n \leq N_c - 1 \quad (2.5)$$

Selanjutnya dilakukan proses FFT per simbol yang dibangkitkan untuk mendapatkan informasi tentang laju radial dari target seperti pada persamaan (2.6). Proses IFFT kemudian dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang jarak dari target pada persamaan (2.7) yang kemudian dilakukan proses pengkuadratan untuk menghilangkan nilai negatif dari data yang telah diterima.

$$r(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N_c-1} I_{div}(n) e^{j2\pi \frac{n}{N} k}, \quad 0 \leq n \leq N_c - 1 \quad (2.6)$$

$$v(l) = \sum_{m=0}^{N_{sym}-1} d_{div}(m) e^{-j \frac{2\pi}{N_{sym}} ml}, \quad l = 0 \leq n \leq N_{sym} - 1 \quad (2.7)$$

Dimana proses pengolahan laju radial dan jarak berdasarkan simbol yang dibangkitkan pada sistem radar Doppler OFDM (Wiesbeck et al., 2015).

2.2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Teknik sinyal OFDM terkenal dalam sistem komunikasi. Spektrum yang tersedia dan/atau diperlukan dicakup oleh beberapa *subcarrier orthogonal*, yang semuanya terkait untuk pergeseran waktu yang singkat, karena durasi pulsanya T_0 berbanding terbalik dengan jarak *subcarrier* Δf (Wiesbeck et al., 2015). Pada prinsipnya OFDM membagi laju transmisi berkecepatan tinggi menjadi beberapa laju berkecepatan rendah yang ditransmisikan secara simultan dengan menggunakan *subchannel* atau *subcarrier* yang saling *orthogonal*. Jadi untuk setiap *subcarrier* memiliki frekuensi yang saling *orthogonal* sehingga membuat setiap *subcarrier overlap* namun tidak saling menimbulkan interferensi. Untuk jarak setiap frekuensi *subcarrier* agar *orthogonal* minimal harus dipisahkan sejauh $1/T_s$ dan dapat dinyatakan pada persamaan 1.

$$\Delta f = \frac{1}{T_s} \quad (2.8)$$

Di mana Δf menunjukkan *frequency carrier spacing* dan T_s menunjukkan *interval* simbol OFDM. Keunggulan teknik OFDM adalah efisiensi *bandwidth*, tahan terhadap *frequency selective fading* dan mengatasi masalah *inter-symbol interference* (ISI).

Keuntungan OFDM bila dibandingkan dengan single carrier dan multicarrier konvensional FDM, di antaranya adalah OFDM lebih efisien dalam pemakaian frekuensi di mana antarfrekuensi yang bersebelahan diperbolehkan karena masing-masing telah saling orthogonal sedangkan pada sistem multicarrier konvensional untuk mencegah interferensi antarfrekuensi yang bersebelahan perlu disisipkan guard band. OFDM tahan dalam menghadapi frequency selective fading dan tidak sensitif terhadap sinyal delay karena rendahnya kecepatan transmisi di setiap subcarrier yang berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga sensitivitas terhadap delay spread atau penyebaran sinyal yang delay relatif berkurang.

Sedangkan beberapa kelemahan dari teknologi OFDM selain besarnya nilai PAPR, di antaranya adalah frequency offset yang disebabkan oleh jitter pada carrier wave dan juga terhadap efek doppler yang disebabkan oleh pergerakan transmitter maupun receiver, OFDM mudah terkena distorsi non linier yang terjadi pada amplifier dari daya transmisi (Wiesbeck, 2014).

2.2.3 Radar OFDM

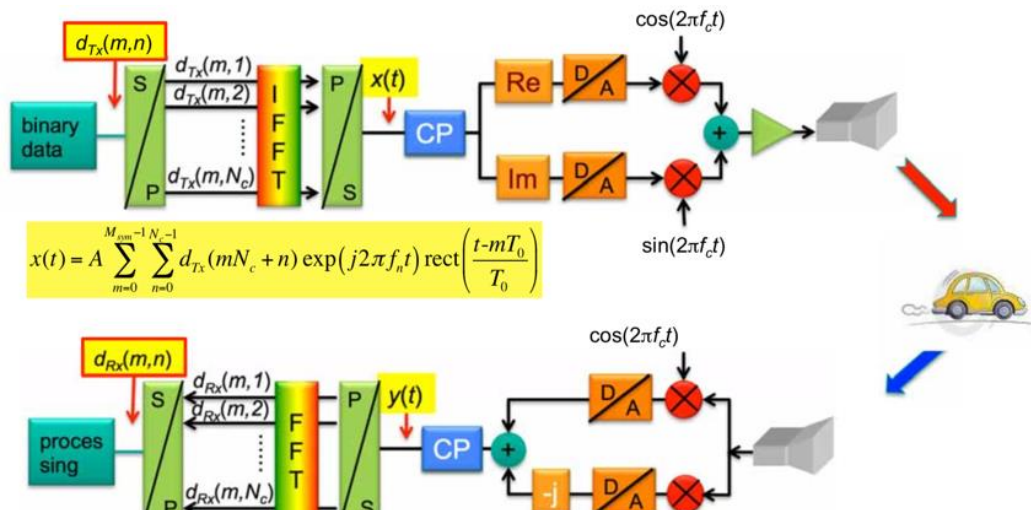
Sinyal OFDM telah banyak digunakan dalam sistem komunikasi praktis karena keunggulan modulasi *subcarrier* fleksibel, pemanfaatan spektrum tinggi, sinkronisasi mudah, dll. N. Levanon pertama kali memperkenalkan teknologi modulasi OFDM di bidang radar dan diusulkan sinyal kode fase pelengkap *multicarrier*. Dari perspektif fungsi ambiguitas sinyal OFDM, telah dibuktikan bahwa radar OFDM memiliki ambiguitas jarak Doppler yang lebih baik daripada radar LFM tradisional.

Teknik sinyal OFDM ini dibagi menjadi beberapa simbol dari satu *bandwidth* pada beberapa *subcarrier* yang ortogonal secara bersamaan tanpa terjadi interferensi namun terjadi *overlapping* pada frekuensi dari *subcarrier*. Sejumlah modulasi pembawa OFDM seperti QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) dan PSK (*Phase Shift Keying*) dapat digunakan. Informasi seperti musik atau data kemudian dapat dimodulasi pada *subcarrier* (Li et al., 2019b).

Radar dengan teknik sinyal OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) telah menjadi salah satu solusi mengenai permasalahan ini. Dengan konsep radar OFDM ini,

dimungkinkan terjadinya fungsi radar untuk mendeteksi target jamak dan fungsi komunikasi secara bersamaan. Hal ini merupakan suatu solusi untuk sistem transportasi cerdas masa depan dimana radar OFDM ini dapat melakukan penginderaan lingkungan (fungsi radar) dan komunikasi adhoc antar kendaraan (fungsi komunikasi V2V 'vehicle to vehicle') yang memungkinkan terjadinya interaksi antar kendaraan, sehingga - sebagai contoh- fungsi rem secara otomatis dapat dilakukan oleh kendaraan dan kendaraan tersebut dapat terhindar dari kecelakaan (tabrakan).

Konsep implementasi OFDM pada sistem radar dapat dijelaskan melalui diagram berikut (Wiesbeck, 2014).



Gambar 2.2 Prinsip Kerja OFDM dalam Blok Diagram (Wiesbeck, 2014)

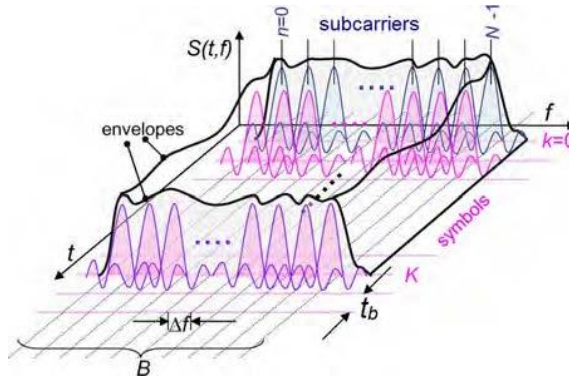
Secara umum prinsip kerja OFDM, sinyal informasi yang akan dikirim berupa data serial, lalu sinyal tersebut diubah ke dalam bentuk paralel yang kemudian akan dimodulasi. Selanjutnya sinyal yang termodulasi masuk ke *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) agar sinyal saling ortogonal serta membentuk simbol OFDM. Selanjutnya bisa ditambahkan *cycle prefix* yang fungsinya sebagai pemisah antara sinyal frekuensi pembawa yang dapat saling bertindihan. *Cycle prefix* ini juga dapat untuk mengurangi *Intersymbol Interference* (ISI) dan *Intercarrier Interference* (ICI). Sinyal yang dikirim dalam bentuk serial diubah lagi dari bentuk paralel. Pada sinyal yang ditransmisikan, sinyal akan saling overlapping untuk menghemat *bandwidth* yang digunakan. Pada kasus OFDM hal ini tidak menimbulkan interferensi antar kanal.

Pada awalnya sinyal informasi yang akan dikirim merupakan sinyal yang berbentuk data serial, pada sistem OFDM sinyal tersebut diubah kedalam bentuk paralel yang kemudian akan dimodulasikan. Selanjutnya sinyal yang telah dimodulasi masuk kedalam *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) yang bertujuan agar sinyal saling ortogonal dan juga membentuk simbol OFDM. Selanjutnya ditambahkan *cycle prefix* yang berfungsi untuk pemisah antara sinyal frekuensi pembawa yang dapat saling bertindihan, *cycle prefix* ini juga dimaksudkan untuk mengurangi *Intersymbol Interference* (ISI) dan *Intercarrier Interference* (ICI). Lalu sinyal dikirim dalam bentuk serial setelah diubah lagi dari bentuk paralel. Pada sinyal yang ditransmisikan, sinyal akan saling overlapping untuk menghemat *bandwidth* yang digunakan. Pada kasus OFDM hal ini tidak menimbulkan interferensi antar kanal.

Keuntungan lain yang didapatkan dengan memanfaatkan teknik sinyal OFDM dalam aplikasi radar adalah bahwa teknik sinyal OFDM sensitif terhadap pergeseran frekuensi. Hal

ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur kelajuan target dengan lebih baik karena dengan sedikit saja ada pergeseran frekuensi maka hal tersebut memberi informasi bahwa ada target yang bergerak. Pergeseran frekuensi sistem radar sama dengan frekuensi Doppler yang dirasakan oleh radar, hal ini memberitahu kelajuan target yang sedang bergerak..

Pemodelan sinyal yang dipancarkan pada sistem radar OFDM $x(t)$ dapat digambarkan sebagai berikut (Lellouch, 2019):



Gambar 2.3 Ilustrasi K-simbol OFDM dengan N-subcarrier (Lellouch, 2019)

Pada sinyal OFDM transmit pada domain *baseband* $x(t)$ dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Wiesbeck et al., 2015):

$$x(t) = \sum_{\mu=0}^{N_{sym}-1} \sum_{n=0}^{N_c-1} D(\mu N_c + n) \exp(j2\pi f_n t) \text{rect}\left(\frac{t - \mu T}{T}\right) \quad (2.9)$$

dimana N_c merupakan jumlah *subcarrier* dengan n adalah indeks dari setiap *subcarrier*, N_{sym} adalah total simbol OFDM yang dikirimkan oleh transmitter, μ adalah indeks dari setiap simbol OFDM, $D(n)$ adalah deretan bilangan kompleks dari modulasi yang digunakan, f_n adalah frekuensi setiap *subcarrier*, dan T adalah durasi simbol OFDM. Fungsi $\text{rect}(t/T)$ adalah akar persegi dari durasi T . Keortogonalitas dari *subcarrier* bisa dituliskan dalam persamaan (Rizky et al., 2016):

$$f_n = n\Delta f = \frac{n}{T}, \quad n = 0, \dots, N_c - 1 \quad (2.10)$$

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 (Wiesbeck et al., 2015):

$$y(t) = \sum_{m=0}^{M_{sym}-1} \sum_{n=0}^{N_c-1} a(m, n) d_{Tx}(mN_c + n) \exp\left(j2\pi f_n \left(t - \frac{2R}{c_0}\right)\right) \exp(j2\pi f_D t) \text{rect}\left(\frac{t - mT_0}{T_0}\right) \quad (2.11)$$

2.2.3.1 FFT / IFFT

Salah satu hal yang paling penting dalam teknik sinyal OFDM adalah membentuk simbol OFDM dan mengalokasikan frekuensi *subcarrier* agar saling ortogonal sehingga tidak terjadi interferensi antar sinyal yang berurutan meskipun saling *overlap*. IFFT dapat dijelaskan pada persamaan

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \exp\left(\frac{j2\pi ik}{N}\right) \quad (2.12)$$

dimana:

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

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

$$N = \text{jumlah titik IFFT.}$$

Pada teknik sinyal OFDM, operasi ini penting karena sinyal yang dikirim akan melewati IFFT terlebih dahulu yang mengubah fungsi domain frekuensi ke domain waktu. Sedangkan, sinyal yang diterima akan melewati FFT dimana fungsi domain waktu diubah menjadi domain frekuensi. Operasi IFFT dapat dijelaskan dalam persamaan 2.12 dan FFT dalam persamaan 2.13.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2.13)$$

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) e^{j2\pi ft} dt \quad (2.14)$$

2.2.3.2 Frekuensi Doppler

Pergeseran frekuensi Doppler merupakan salah satu aspek penting dalam mendapatkan informasi radial dari suatu target yang dijelaskan dalam persamaan laju

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \quad (2.15)$$

Dimana v merupakan laju radial relatif dari target yang terdeteksi (m/s) dan merupakan panjang gelombang dari sinyal pembawa yang dibangkitkan (m). nilai maksimum dari laju maksimum radial target yang dapat dihitung berdasarkan rancangan yang diinginkan dari sistem radar OFDM (Lellouch, n.d.).

2.2.3.3 Spasi Frekuensi Antar *Subcarrier*

Spasi frekuensi antar *subcarrier* (Δf) itu sendiri perlu ditentukan dalam menjaga keortogonalitas dari *subcarrier*, serta berkaitan dengan jarak maksimal deteksi target, dan ditentukannya besaran nilai dari harus sepuluh kali lebih besar dari frekuensi Doppler maksimum [1]. Dapat ditentukan dengan rumus

$$\Delta f = \frac{B}{N_c} \quad (2.16)$$

2.2.3.4 Jarak Maksimal dan Resolusi Laju Radial

Jarak maksimal yang dapat dideteksi oleh radar tanpa menimbulkan ambiguitas atau disebut *maximum unambiguous range* (R_{max}) ditentukan dengan persamaan

$$R_{max} = \frac{C}{2\Delta f} \quad (2.17)$$

Untuk resolusi jarak (ΔR) yaitu jarak paling pendek diantara dua targer yang bisa terdeteksi, ditentukan dengan persamaan

$$\Delta R = \frac{C}{2N_c\Delta f} \quad (2.18)$$

Dimana jumlah *subcarrier* yang dibangkitkan adalah N_c dan spasi antar *subcarrier* Δf .

2.2.4 Peak to Average Power Ratio

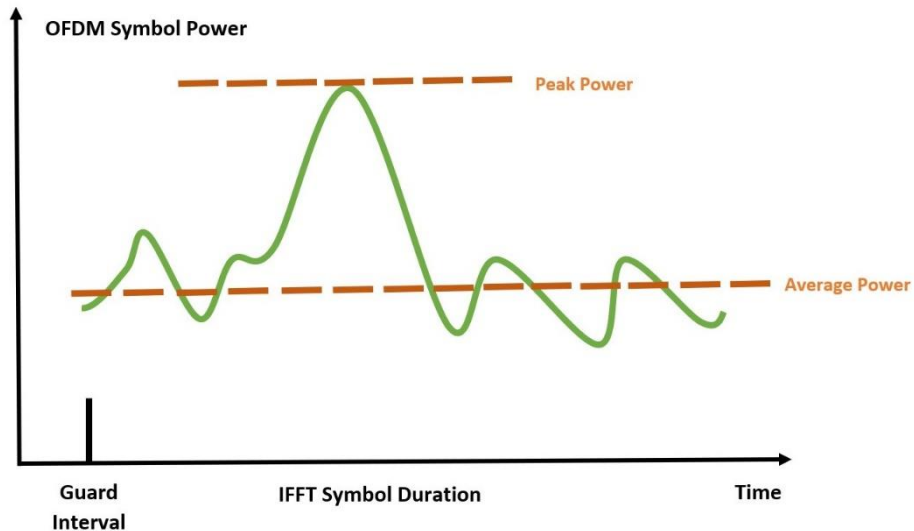
PAPR adalah perbandingan antara daya sinyal puncak dengan daya rata-ratanya. PAPR terjadi karena dalam sistem OFDM terdiri atas penjumlahan sejumlah *subcarrier* yang dimodulasi secara independen (Rizkha Ajeng Rochmatika, 2016). Apabila fase setiap *subcarrier* sama maka akan menghasilkan daya sinyal puncak sebesar N kali daya rata-ratanya. Oleh karena itu, dalam implementasinya nilai PAPR yang tinggi dapat menurunkan SQNR (*Signal to Quantization Noise Ratio*), mengurangi efisiensi daya amplifier dan meningkatkan cost dari RF power amplifier. Sehingga sistem OFDM membutuhkan dynamic range yang lebar untuk mengakomodasi amplitud sinyal pada power amplifier. Jika hal tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi distorsi nonlinear yang menyebabkan *subcarrier* menjadi tidak lagi *orthogonal* dan dapat menurunkan kinerja dari sistem OFDM. *Power amplifier* merupakan salah satu komponen sistem yang tidak linier. Idealnya, *output* dari PA setara dengan input yang diberikan dikalikan dengan *gain factor*. Namun pada kenyataannya, *power amplifier* mempunyai daerah linear yang terbatas diluar daerah saturasi, Sehingga dengan nilai PAPR yang tinggi akan berpengaruh sehingga HPA bekerja di luar daerah linearitasnya. Secara matematis PAPR suatu sinyal $s(t)$ dirumuskan pada persamaan 2 sebagai berikut:

$$PAPR = \frac{\max |s(t)|^2}{E\{|s(t)|^2\}} \quad (2.21)$$

Untuk nilai PAPR dideskripsikan secara statistic dengan menggunakan *Complementary Cumulative Distribution Function* (Rezgui et al., 2012). CCDF merupakan parameter untuk mengukur daya puncak dari sinyal OFDM yang berisi informasi mengenai sinyal OFDM yang memiliki PAPR di atas level tertentu dinyatakan sebagai berikut:

$$CCDF = 1 - CDF \quad (2.22)$$

$$CCDF = 1 - (1 - e^{-PAPR})^N \quad (2.23)$$



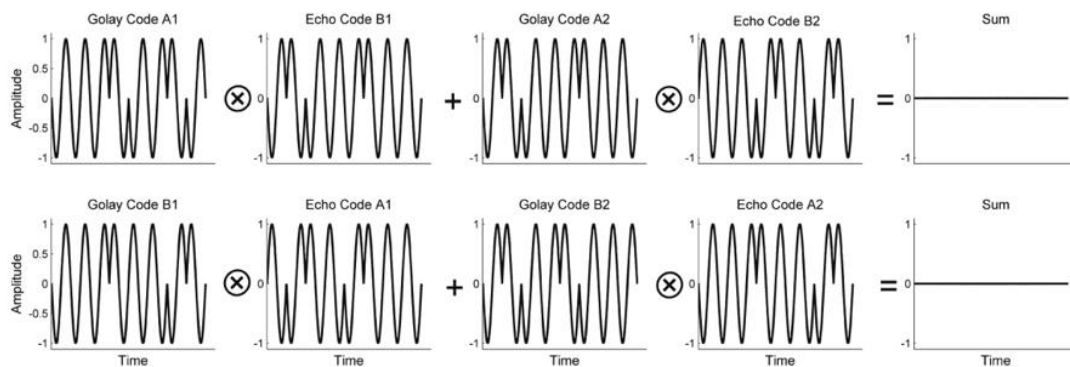
Gambar 2.4 Representasi Peak Power dengan Average Power

2.2.5 Golay Code

Golay Code ditemukan oleh Marcel Golay, Fungsi utamanya adalah *multiple error detection* dan *multiple error correction*. Kode Golay ini bisa digunakan untuk mereduksi PAPR dari sinyal OFDM.

Urutan komplementer Golay (pasangan Golay) memiliki korelasi silang nol pada nol set, banyak digunakan untuk representasi sinyal, pengkodean, modulasi, dan penyebaran spektrum aplikasi, meskipun autokorelasi ideal (yaitu, nol pada *offset* yang bukan-nol) tidak mungkin untuk sebuah *finite* urutan panjang, jumlah autokorelasi masing-masing fungsi dalam satu set urutan bisa jadi ideal (Rezgui et al., 2012).

Keuntungan utama dari urutan pengkodean Golay adalah bahwa mereka dapat saling melengkapi kode ortogonal yang memungkinkan transmisi string kode pada waktu yang sama.



Gambar 2.5 Prinsip mutually orthogonal Golay complementary sets untuk $M=2, L=8$

Hal ini memungkinkan untuk mempertahankan jumlah *frame* tidak berubah sambil meningkatkan SNR (Pezeshki et al., 2008). Dalam kasus di mana kode ortogonal ditransmisikan secara bersamaan, sinyal gema untuk masing-masing kode harus dipisahkan dengan kompresi, yaitu selama proses korelasi [8].

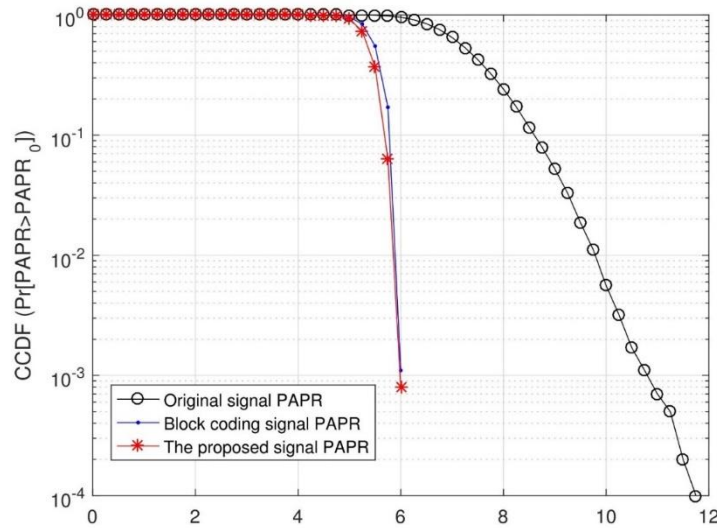
Matriks pasangan Golay dapat dibangun menggunakan matriks Hadamard. Matriks Hadamard orde N (bilangan bulat genap) adalah matriks $N \times N$ persegi dari elemen biner

dengan properti bahwa setiap baris (atau kolom) berbeda dari setiap baris (atau kolom) lainnya pada posisi $N/2$ yang tepat. Jika elemen-elemen dilambangkan dengan ‘+1’ dan ‘-1’, maka baris (atau kolom) matriks Hadamard saling ortogonal [8]. Dapat dituliskan matriks Golay yang dibangun dari rekursi [7]:

$$\mathbf{G}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{N/2} & \tilde{\mathbf{G}}_{N/2} \\ \mathbf{G}_{N/2} & -\tilde{\mathbf{G}}_{N/2} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

dengan matriks inisial $\mathbf{G}_1 = \tilde{\mathbf{G}}_1 = [+1]$, dimana $\tilde{\mathbf{G}}_N$ adalah versi permutasi dari \mathbf{G}_N dapat didefinisikan [7]:

$$\tilde{\mathbf{G}}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{N/2} & -\tilde{\mathbf{G}}_{N/2} \\ \mathbf{G}_{N/2} & \tilde{\mathbf{G}}_{N/2} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$



Gambar 2.6 Contoh Implementasi Golay Code pada sinyal OFDM

2.2.6 Hadamard Code

Kode Walsh Hadamard merupakan kode orthogonal yang dipergunakan untuk memisahkan kanal-kanal. Sebuah simbol Walsh adalah sebuah baris atau kolom yang ada pada hadamard matrik(Xiaojing Huang, 2006). Setiap simbol Walsh terdiri atas chip-chip Walsh, dikarenakan matriks Hadamard berukuran $M \times M$ dimana $M = 2^a$ dan a panjang data input Walsh maka setiap simbol Walsh memiliki panjang M bit dan total simbol Walsh dalam matrik Hadamard adalah sebanyak M simbol. Karakteristik dari matriks Hadamard adalah antar baris atau antar kolom saling orthogonal (Fadhila Andam Dewi, 2015). Dengan kata lain korelasi antar baris atau antar kolom menghasilkan nilai sama dengan nol. Hal tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut :

$$\mathbf{H}_4 = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & -\mathbf{1} & \mathbf{1} & -\mathbf{1} \\ \mathbf{1} & \mathbf{1} & -\mathbf{1} & -\mathbf{1} \\ \mathbf{1} & -\mathbf{1} & -\mathbf{1} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Dalam hal ini diambil elemen-elemen yang ada pada baris 2 dan baris 3. Melalui perhitungan berikut dapat dilihat bahwa baris 2 dan 3 saling orthogonal.

$$1x1 + -1x1 + 1x-1 + -1x-1 = 1 + (-1) + (-1) + 1 = 0$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa perkalian antar elemen yang bersesuaian (baris yang berbeda tetapi kolom yang sama) menghasilkan nilai 0. Korelasi antar pasangan baris berbeda menghasilkan nilai 0 dimana ini menunjukkan bahwa antar baris berbeda pada matriks Hadamard adalah saling orthogonal. Hal yang sama juga berlaku untuk korelasi antar kolom berbeda pada matriks Hadamard. Dengan memperhatikan karakteristik dari matriks Hadamard ini maka simbol Walsh yang berbeda adalah juga saling orthogonal karena kumpulan simbol Walsh dibentuk dari matriks Hadamard. Kode Walsh Hadamard dibangkitkan dari penerapan transformasi matriks Hadamard. Berikut adalah transformasi Walsh Hadamard didapatkan dari persamaan :

$$H_1 = [1] \quad (2.27)$$

$$H_4 = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & H_N \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Dimana H_{2N} adalah invers dari H_N

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

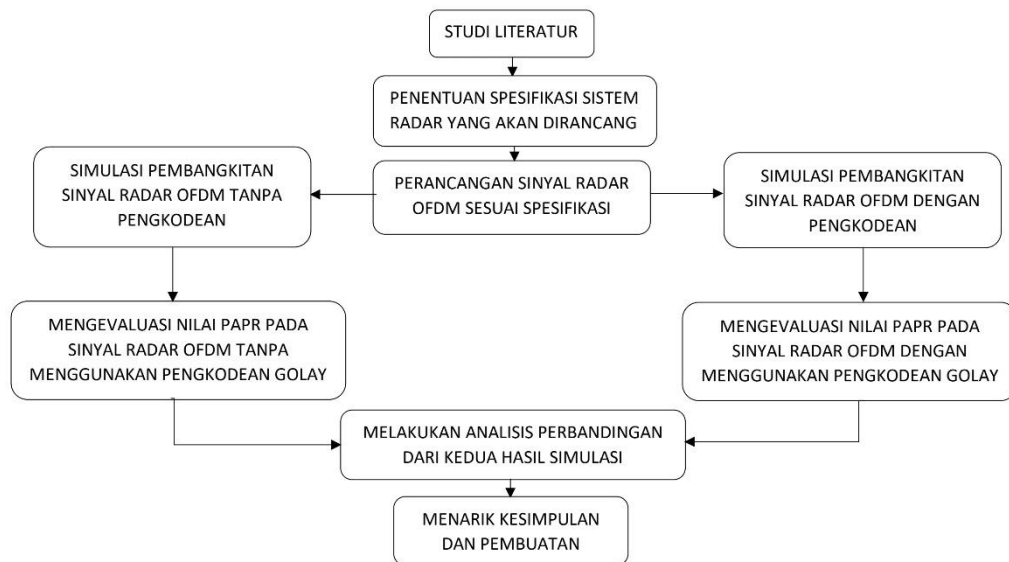
$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Pada bab 3 ini akan diuraikan metodologi desain dan perancangan simulasi untuk selanjutnya dilakukan analisis kinerja. Desain dan Perancangan simulasi terkait dengan penggunaan secara teknis aplikasi simulator. Metodologi desain dan perancangan simulasi dapat diuraikan pada diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Desain Sistem

Penelitian di mulai dari Studi literatur yang dipelajari pada penelitian ini dengan mencari dan mempelajari beberapa buku, jurnal, dan *paper* baik skala nasional maupun internasional yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir.

Desain Sistem berikutnya dijelaskan dibawah ini

1. Dimulai dengan membangkitkan bit integer *Pseudonumeric* pada program sebagai informasi
2. Bit yang sudah dibangkitkan akan diodulasikan M-PSK dengan memetakan bit data ke dalam symbol M-PSK
3. Bit yang telah dipetakan kemudian masuk proses mengubah data serial menjadi paralel untuk mengatur jumlah *subcarrier* dan jumlah simbol yang diinginkan.
4. Kemudian pada proses ini dilakukan 2 kondisi. Pertama tanpa dimasukkannya kode Golay dan yang kedua dengan dimasukkannya kode Golay dengan mengalikan bit yang dimodulasi sebelumnya dengan kode Golay.
5. Berikutnya adalah proses terpenting pada teknik sinyal OFDM, data akan melalui algoritma IFFT untuk membentuk *subcarrier* agar saling ortogonal.
6. Data diubah kembali dari bentuk paralel ke serial sebelum ditransmisikan pada simulasi.
7. Kemudian diambil data yang ada dan dilihat besaran nilai PAPRnya untuk dibandingkan.

Dalam pemrosesan data informasi tentang jarak dan laju radial target dilakukan dengan membandingkan data dari penerima terhadap pemancar kedalam plot bentuk plot jarak, laju radial, dan juga periodogram.

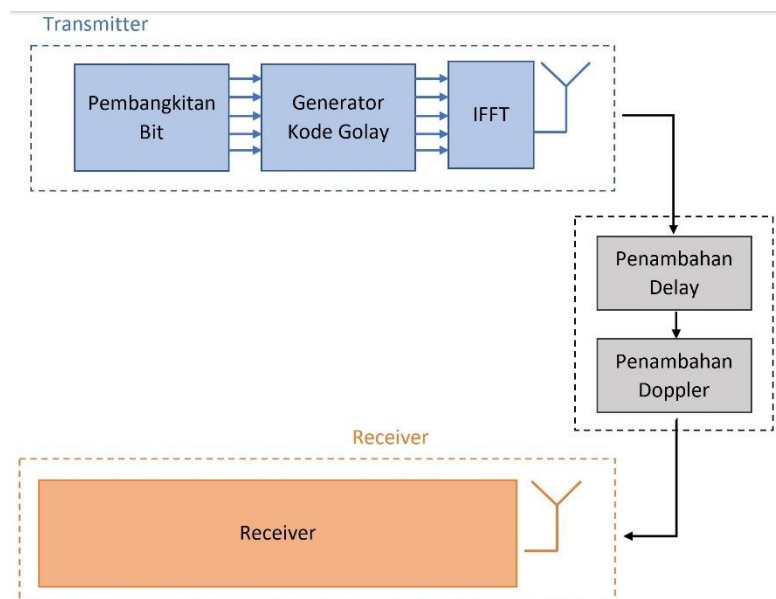
1. Data tiap elemen pada penerima setelah blok FFT dibandingkan dengan data tiap elemen pada pemancar sebelum blok IFFT.
2. Hasil proses perbandingan tersebut akan dilakukan operasi FFT tiap simbol OFDM sejumlah banyaknya simbol OFDM untuk plot laju radial dari target.
3. Selanjutnya, dilakukan operasi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

Parameter desain sistem didasarkan pada spesifikasi radar yang diinginkan sesuai batasan perangkat keras yang ada di dunia nyata dan perangkat lunak simulasi. Tahap awal yang diperhatikan untuk penentuan parameter dengan mengasumsi laju radial relatif maksimum untuk mengetahui frekuensi Doppler yang akan dicari dengan persamaan.

$$f_D = \frac{2v_{rel}}{\lambda} \quad (3.1)$$

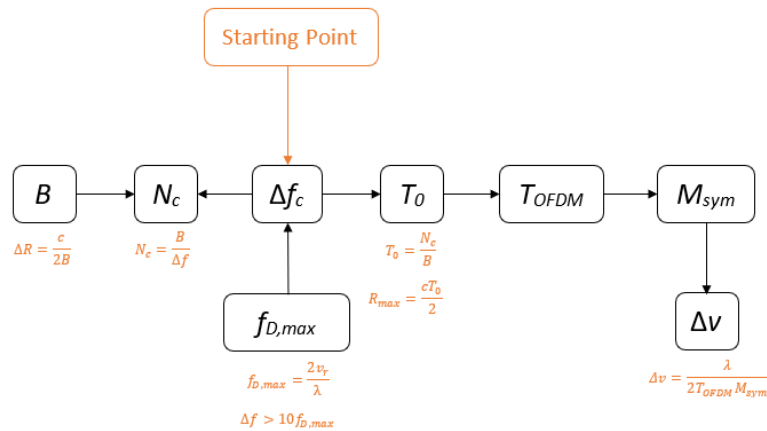
dengan mendapatkan hasil frekuensi Doppler maksimum senilai 2.1 GHz diperlukan sebagai syarat menjaga keortogonalitas dari *subcarrier* ditentukan mengikuti ketentuan persamaan dibawah yang harus terpenuhi.

$$\Delta f > 10f_{Dmax} \quad (3.2)$$



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Radar OFDM yang Digunakan

Untuk mendapatkan informasi tentang jarak dengan ketentuan *delay* maksimum harus mempertimbangkan *coupling* sinyal langsung dari pemancar dan penerima. *Delay* maksimum ini sebanding dengan 2 kali jarak dari objek dengan target. Perancangan desain parameter diperhitungkan dengan bantuan diagram alir dibawah:



Gambar 3.3 Diagram Blok Parameter Radar OFDM

Perancangan desain parameter sistem dimulai dengan menentukan spasi antar *subcarrier* sehingga didapatkan resolusi laju radial dan periode dari sinyal radar OFDM yang dibangkitkan. Tahapan dalam desain parameter ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Sistem bekerja pada frekuensi *carrier* (f_c) 2.7 GHz, dengan panjang gelombang (λ) 0.125 m.
2. *Bandwidth* (B) yang dipilih pada simulasi menyesuaikan perangkat keras aktual seperti USRP Ni yang memiliki *bandwidth* maksimum sebesar 20 MHz untuk lebar bit sampel 16-bit
3. Spasi antar frekuensi *subcarrier* (Δf) dapat dihitung menggunakan rumus (2.14) dengan syarat $\Delta f > 10f_{Dmax}$ telah terpenuhi, sehingga didapatkan sebesar 9.765×10^3 Hz.
4. Laju radial maksimal didapatkan dari rumus (2.17) dan juga harus memenuhi syarat $\Delta f > 10f_{Dmax}$ sehingga laju radial maksimal adalah 610.31 m/s (2197.1 km/h) dengan nilai frekuensi Doppler maksimum sebesar 9764.96 Hz, keudian di bulatkan menjadi 10.000Hz
5. Jumlah *subcarrier* (N_c) yang dibangkitkan berdasarkan perbandingan antar *bandwidth* (B) sinyal dengan spasi antar *subcarrier*, hasil ini dapat disesuaikan dengan jarak maksimum yang dapat terdeteksi. Jumlah *subcarrier* yang dibangkitkan juga harus sebanding dengan bilangan dua pangkat, sehingga dapat jumlah *subcarrier* maksimal sebesar 1024.
6. Durasi symbol OFDM awal (T_0) didapat dari membandingkan jumlah *subcarrier* (N_c) dengan *bandwidth* sinyal OFDM (B) yang digunakan, yaitu $T_0 = 2,304$ ms.
7. Durasi sinyal OFDM didapat dari nilai total durasi OFDM awal, dimana pada percobaan ini tidak memakai durasi *cyclic prefix* (T_p). Sehingga didapatkan $T_{OFDM} = \dots$
8. Resolusi laju radial dapat ditentukan berdasarkan panjang gelombang dari frekuensi *carrier* terhadap durasi symbol OFDM serta jumlah symbol yang dibangkitkan. Sehingga didapat resolusi jarak sebesar ... m dan resolusi laju radial sebesar ... m/s (... km/h).

3.2.1 Parameter Radar OFDM

Berikut adalah Parameter atau Spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini

Tabel 3.1 Parameter Radar OFDM

Parameter	Nilai
Frekuensi	2.7 GHz
Bandwidth	2,56 Mhz
Jumlah subcarrier (N_c)	256
Frekuensi antar subcarrier (Δf)	10.000 Hz
T symbol OFDM awal (T_0)	10^{-4} s
Jarak maksimum (R_{max})	15 km
Jumlah symbol	1

3.3 Bahan dan peralatan yang digunakan

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini tidak banyak. Hal tersebut terjadi karena pada percobaan ini hanya focus terhadap simulasi yang mana tidak membutuhkan alat khusus melainkan hanya membutuhkan PC atau Laptop serta Software yang dibutuhkan

3.3.1 *Personal Computer* atau Laptop

Laptop yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah Razer Blade Stealth (2016). Memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop Razer Blade Stealth

No	Komponen	Spesifikasi
1	Processor	Intel Core i7 6500u (2c/4t) 2.5Ghz
2	RAM	LPDDR3 8GB 1866Mhz Dual Channel
3	GPU	Intel HD Graphics 520
4	Display	4K 12.5 Inch IGZO Panel
5	Storage	256GB SSD PCIe M.2

3.3.2 Matlab R2021b

MATLAB adalah singkatan dari MATrix LABoratory, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc. berbasis matriks dan digunakan untuk analisis dan komputasi numerik, plotting fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan interface pengguna, dan interface dengan program dalam bahasa lainnya. Software MATLAB yang digunakan adalah MATLAB versi R2021b.

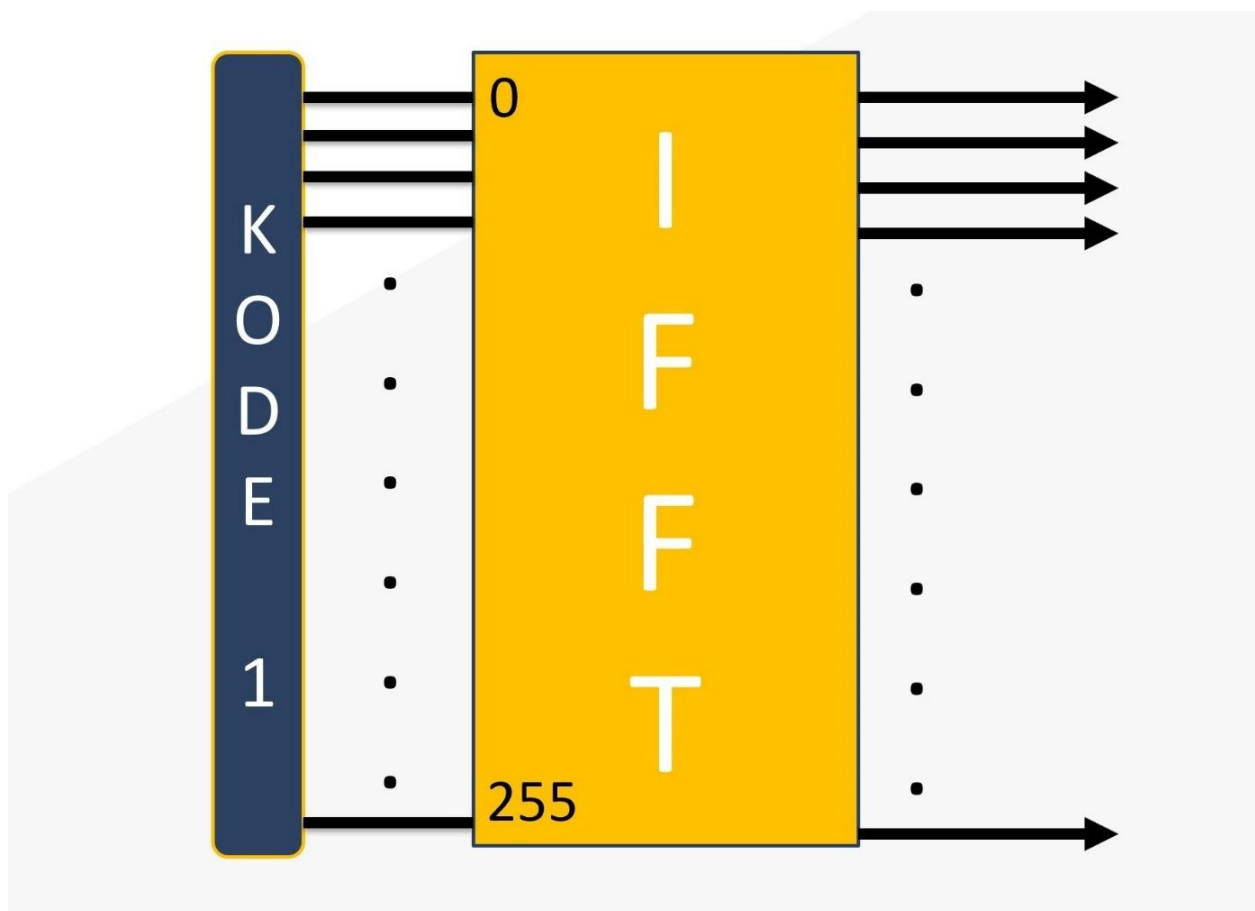
Script MATLAB yang digunakan pada penelitian ini telah terlampir. Laptop yang terdapat program MATLAB selanjutnya akan dikembalikan ke MATLAB untuk dilakukan perhitungan matematisnya.

3.4 Skema Simulasi

Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan 3 skema simulasi Skema 1 yaitu Menstransmisikan 1 sinyal OFDM dengan menggunakan 1 Subband. Skema 2 yaitu Menstransmisikan 2 sinyal OFDM dengan menggunakan 1 Subband yang sama. Skema 3 yaitu Menstransmisikan 2 sinyal OFDM dengan menggunakan 2 Subband yang akan di input 2 Kode yang berbeda.

3.4.1 Skema 1

Pada Skema pertama ini akan dilakukan simulasi yaitu memasukkan 1 Pengkodean Golay dan Hadamard yang akan di input kedalam 1 Subband kemudian akan dilakukan proses IFFT didalamnya. Dimana menggunakan Bandwidth 2,56 Mhz, Jumlah Subcarrier 256, dan 1 Simbol. Berikut adalah gambar skema yang akan dilakukan pada skema 1.



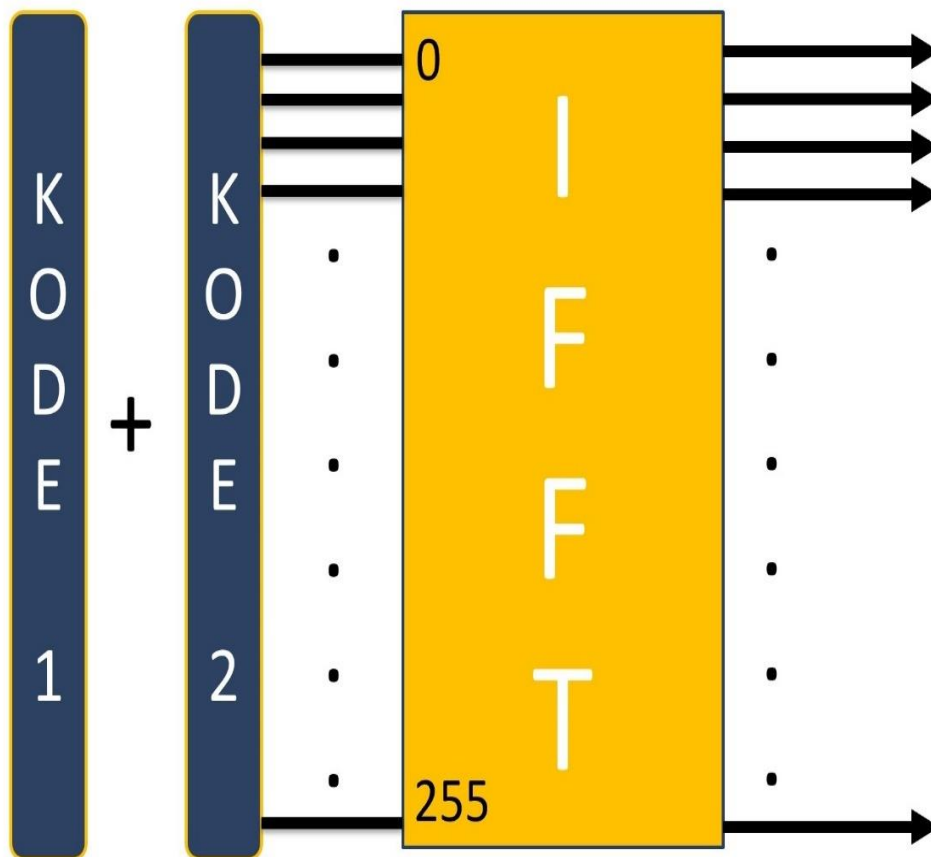
Gambar 3.4 Skema-1

Kemudian setelah dilakukan tiga kali simulasi pada Skema 1 yang mana akan dilakukan dengan menggunakan Kode Golay, Hadamard, dan tanpa pengkodean. Akan di dapatkan grafik transmitted signal yang kemudian akan dihitung nilai PAPR dari hasil simulasi yang kita dapatkan. Selanjut akan dibandingkan dan dianalisis hasil dari ketiga percobaan tersebut.

3.4.2 Skema 2

Pada Skema kedua ini akan dilakukan simulasi yaitu memasukkan 2 Pengkodean Golay dan Hadmaard yang akan di input kedalam 1 Subband kemudian akan dilakukan proses IFFT

didalamnya. Dimana menggunakan Bandwidth 2,56 Mhz, Jumlah Subcarrier 256, dan 1 Simbol. Berikut adalah gambar skema yang akan dilakukan pada skema 2.



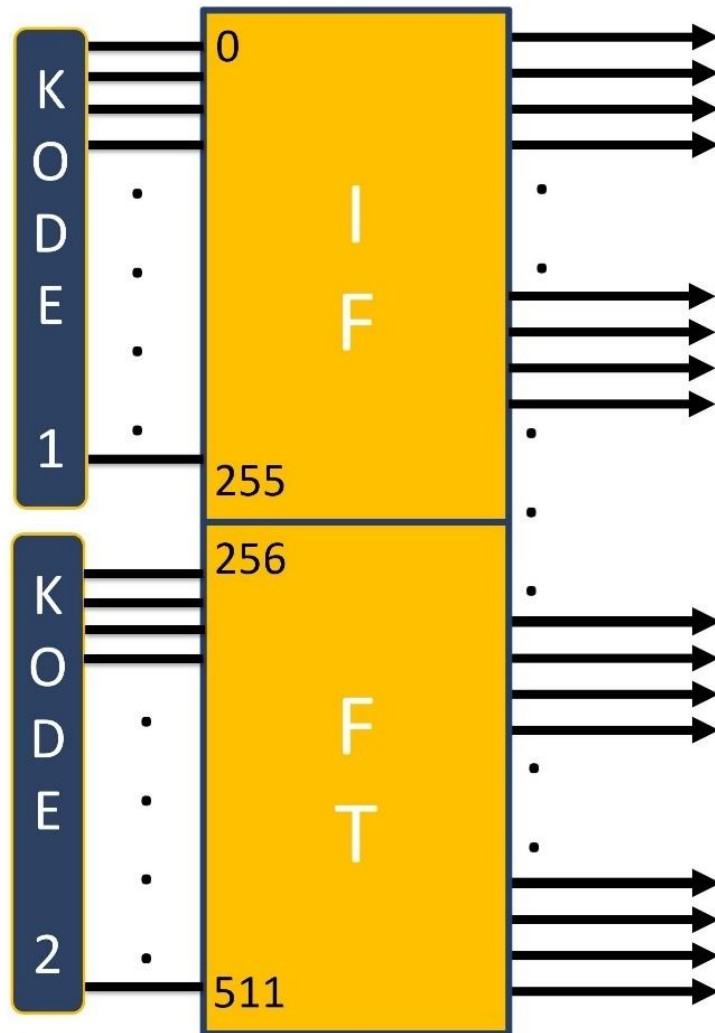
Gambar 3.5 Skema-2

Kemudian setelah dilakukan tiga kali simulasi pada Skema 2 yang mana akan dilakukan dengan menggunakan Kode Golay, Hadamard, dan tanpa pengkodean. Akan di dapatkan grafik transmitted signal yang kemudian akan dihitung nilai PAPR dari hasil simulasi yang kita dapatkan. Selanjut akan dibandingkan dan dianalisis hasil dari ketiga percobaan tersebut.

3.4.3 Skema 3

Pada Skema ketiga ini akan dilakukan simulasi yaitu memasukkan 2 Pengkodean Golay dan Hadamard yang akan di input kedalam 2 Subband kemudian akan dilakukan proses IFFT didalamnya. Dimana menggunakan Bandwidth 5,12 Mhz, Jumlah Subcarrier 512, dan 2 Simbol. Berikut adalah gambar skema yang akan dilakukan pada skema 3.

Kemudian setelah dilakukan tiga kali simulasi pada Skema 3 yang mana akan dilakukan dengan menggunakan Kode Golay, Hadamard, dan tanpa pengkodean. Akan di dapatkan grafik transmitted signal yang kemudian akan dihitung nilai PAPR dari hasil simulasi yang kita dapatkan. Selanjut akan dibandingkan dan dianalisis hasil dari ketiga percobaan tersebut.

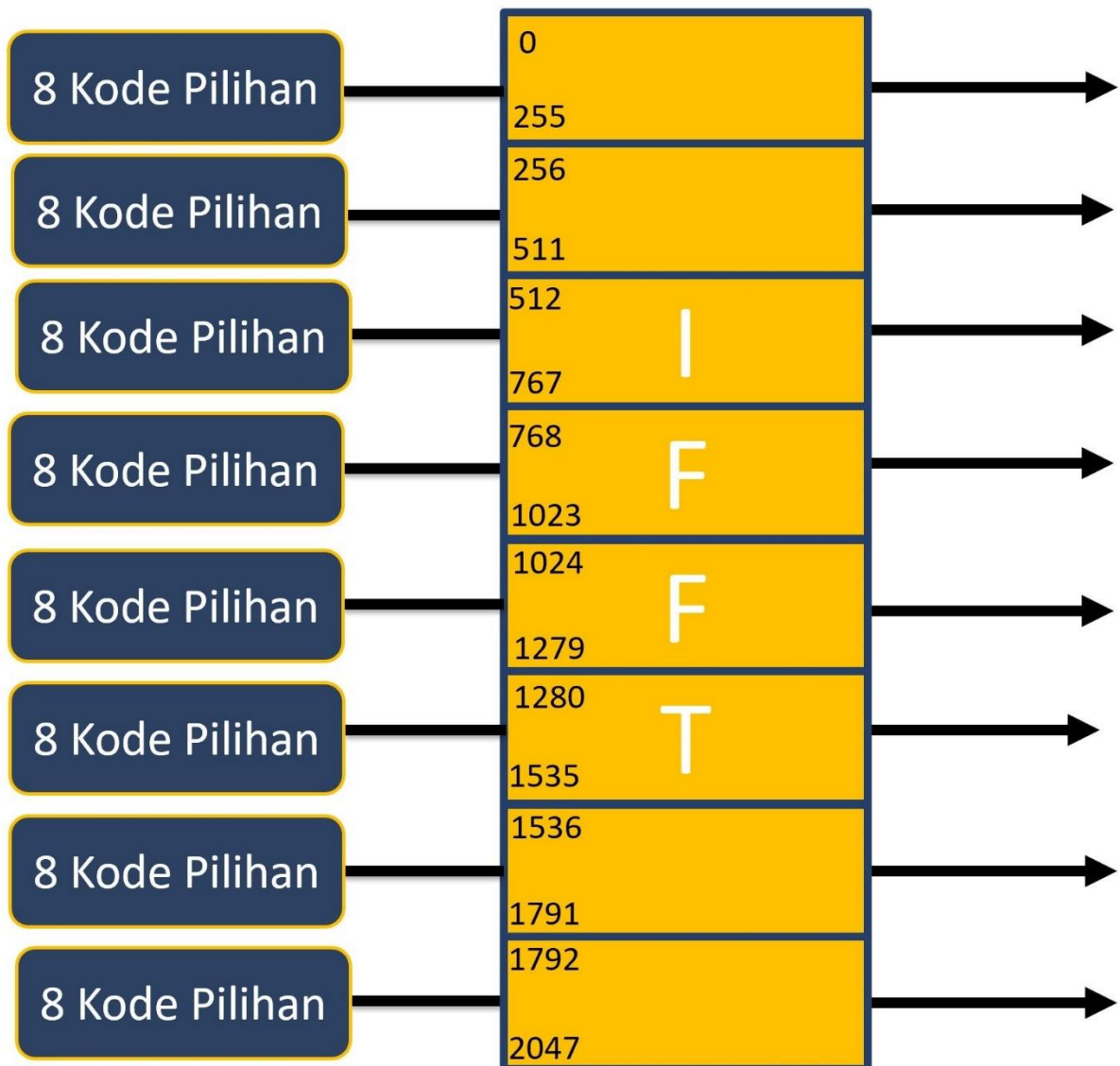


Gambar 3.6 Skema-3

3.4.4 Skema 4

Pada Skema keempat ini akan dilakukan simulasi yaitu memasukkan 8 kombinasi Pengkodean Golay dan Hadamard yang akan di input kedalam 8 Subband kemudian akan dilakukan proses IFFT didalamnya. Dimana menggunakan Bandwidth 20,48 Mhz, Jumlah Subcarrier 2048, dan 8 Simbol. Berikut adalah gambar skema yang akan dilakukan pada skema 4.

Kemudian setelah dilakukan tiga kali simulasi pada Skema 4 yang mana akan dilakukan dengan menggunakan Kode Golay, Hadamard, dan tanpa pengkodean. Akan di dapatkan grafik transmitted signal yang kemudian akan dihitung nilai PAPR dari hasil simulasi yang kita dapatkan. Selanjut akan dibandingkan dan dianalisis hasil dari ketiga percobaan tersebut



Gambar 3.7 Skema-4

3.5 Pemodelan Sistem Sinyal Radar OFDM

Perancangan sistem radar doppler OFDM dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB pada beberapa tahapan utama dalam perancangan sesuai dengan metode utama dalam tugas akhir ini merancang beberapa tahapan penting dalam pembangkitan dan perancangan sistem radar yang menggunakan teknik sinyal OFDM. Pada perancangan sistem radar doppler OFDM mengacu pada diagram blok yang ditampilkan oleh Gambar 3.1 Perancangan sistem meliputi subsistem pemancar, sub-sistem penerima, pemodelan target, dan sub-sistem pengolahan informasi. Pada perancangan sistem dengan perangkat yang berbasis matriks, hal yang perlu diperhatikan dari perancangan sistem radar OFDM, dengan subcarrier dan simbol OFDM sebagai acuan dari data baris dan kolom yang terbentuk.

3.5.1 Pembangkitan Bit

Pembangkitan bit informasi dengan menggunakan nilai satu dengan jumlah data yang dibangkitkan sebanyak jumlah subcarrier dan jumlah simbol yang akan dibangkitkan. Karena dalam sistem radar nilai harus diketahui dari sisi pemancar dan penerima tidak bisa dengan

3.5.3 Memisahkan Kode Golay dan yang tidak menggunakan kode Golay

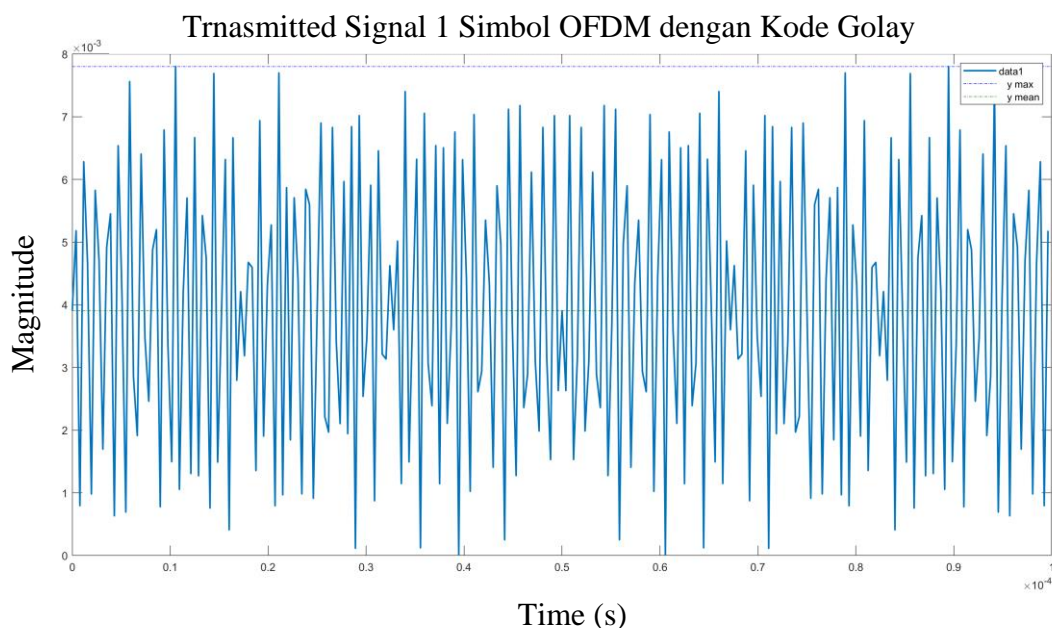
Pada kondisi ini sebelum masuk ke IFFT kita akan menentukan sinyal radar mana yang akan dimasukkan agar bisa dihitung nilai PAPRnya. Maka dari itu disini adalah kode yang akan digunakan sebelum simulasi dijalankan. Berikut Kode yang digunakan. Sehingga keluarannya nanti dapat dipilih sesuai dengan yang kita butuhkan saat ingin memulai simulasi.

3.5.4 IFFT

Proses operasi IFFT digunakan dalam rangka membentuk subcarrier sehingga saling ortogonal yang menjadi dasar dari sinyal OFDM. Data yang dibutuhkan dalam proses IFFT dalam bentuk data paralel sehingga dalam bentuk matriks baris dan kolom, elemen dari baris merupakan data dari Subcarrier dan kolom merupakan data dari simbol yang akan dibangkitkan. Algoritma IFFT menggunakan fungsi IFFT yang terdapat dalam matlab. Sehingga keluaran dari IFFT sudah membentuk simbol OFDM yang dalam domain waktu.

3.5.5 Perhitungan PAPR

Peak to Average Power Ratio (PAPR) dihitung per simbol OFDM, di mana dalam satu simbol OFDM terdiri dari 2048. Kemudian dihitung PAPR dengan menggunakan rumus sesuai persamaan 2.21. PAPR dihitung saat sinyal sebelum dan sesudah diberikan kode. Kemudian ketiga nilai PAPR tersebut dibandingkan dan dianalisa. Setelah diperoleh nilai PAPR per simbol OFDM, maka dihitung nilai PAPR rata-rata dari semua simbol OFDM yang dibangkitkan. Script perhitungan nilai PAPR menggunakan software Matlab. Berikut adalah hasil grafik yang membantu dalam menghitung nilai PAPR:

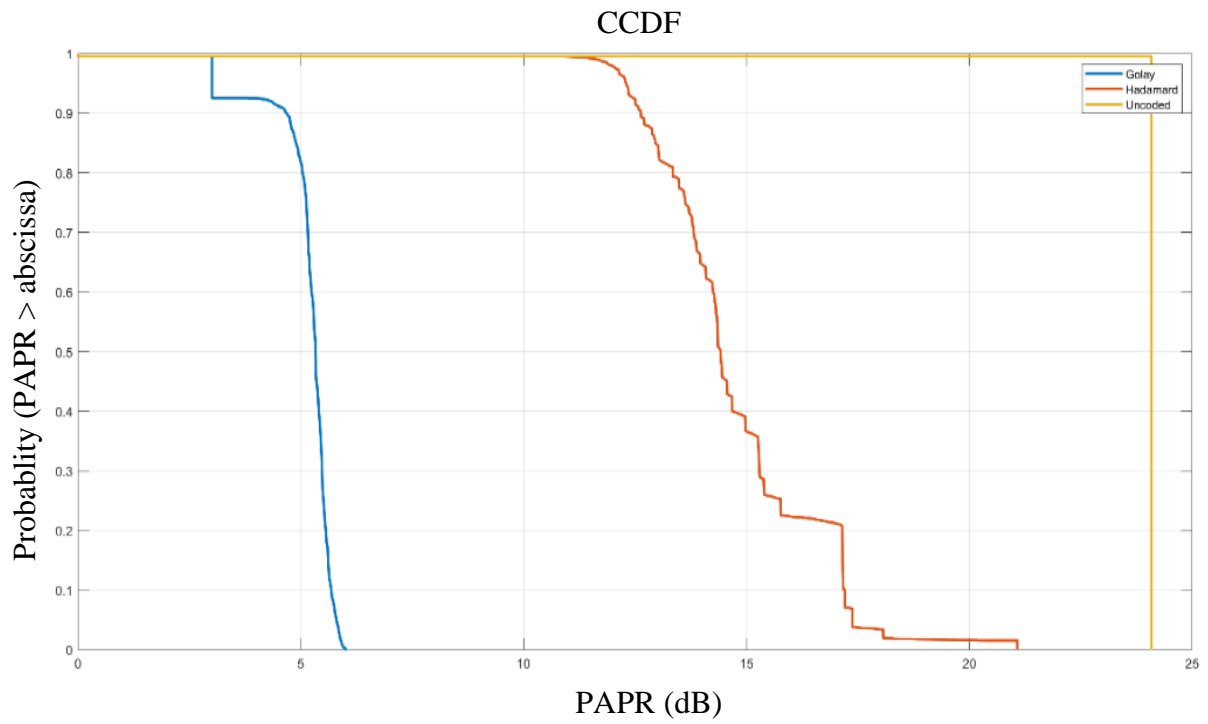


Gambar 3.10 Transmitted Signal dengan Kode Golay

Setelah simulasi dijalankan maka akan keluar besaran nilai PAPR yang dapat kita jadikan bahan perbandingan selanjutnya.

3.5.6 Membuat Plot *Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF)*

CCDF ini berfungsi untuk mengetahui kinerja metode pereduksi PAPR dapat dianalisis dari representasi grafik CCDF-nya.



Gambar 3.11 Salah Satu Grafik CCDF pada Penelitian

Dengan hasil gambar 3.8 maka selanjutnya grafik CCDF-nya dapat dianalisa lebih dalam untuk membandingkan performa dari masing-masing pereduksi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Percobaan ini saya lakukan dengan 3 perbedaan. Untuk memudahkan penamaan pengujian, maka pengujian dibagi menjadi beberapa skema seperti Tabel 4.1

Tabel 4.1 Penamaan Skema

Nama Skema	Keterangan
Skema-1	Transmisi 1 Sinyal OFDM dengan menggunakan 1 Subband
Skema-2	Transmisi 2 Sinyal OFDM dengan menggunakan 1 Subband
Skema-3	Transmisi 2 Sinyal OFDM dengan menggunakan 2 Subband yang Berbeda
Skema-4	Transmisi 8 Sinyal OFDM dengan menggunakan 8 Subband yang Berbeda

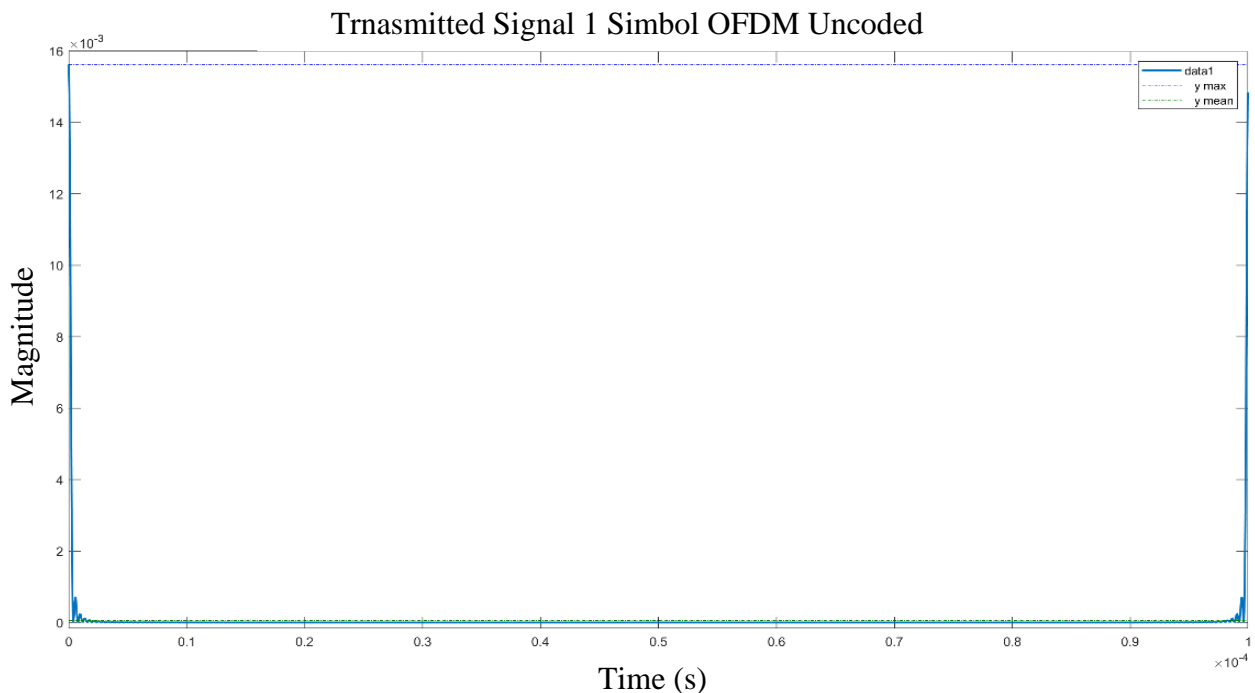
4.1.1 Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-1

Pada Penelitian ini akan dilakukan Skema 1

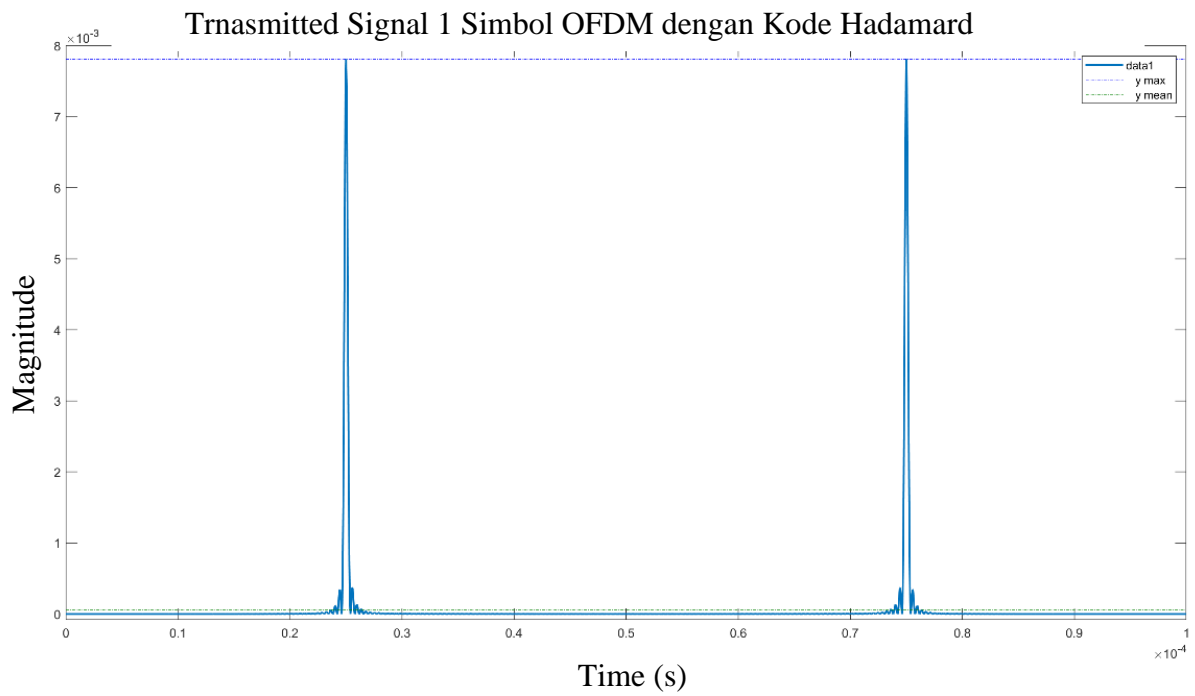
Tabel 4.2 Parameter Radar OFDM Skema-1

Parameter	Nilai
Frekuensi antar subcarrier (Δf)	10.000 Hz
Frekuensi	2.7 Ghz
Bandwidth	2,56 Mhz
Jumlah subcarrier (N_c)	256
T symbol OFDM awal (T_0)	10^{-4} s
Jumlah symbol	1
Jarak maksimum (R_{max})	15 km

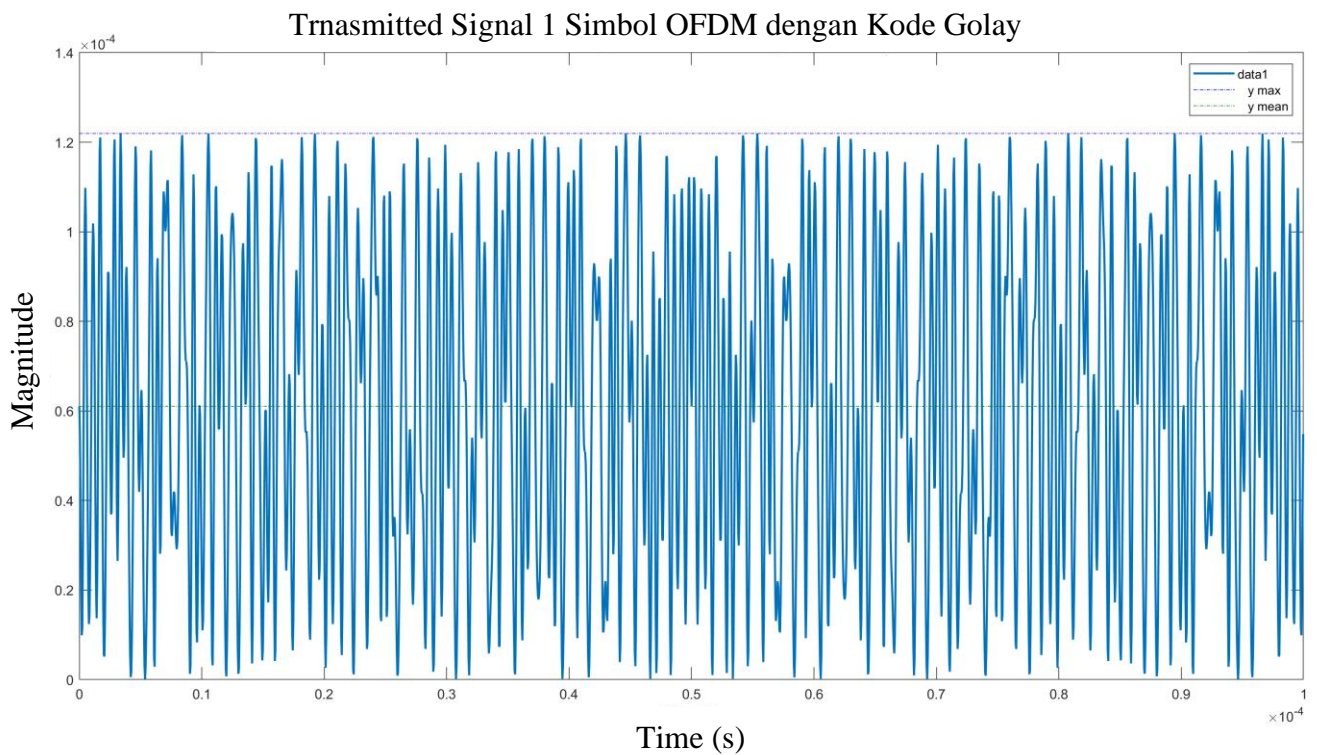
Selanjutnya dilakukan simulasi pada sinyal OFDM dengan kode Hadamard, Golay, Uncoded



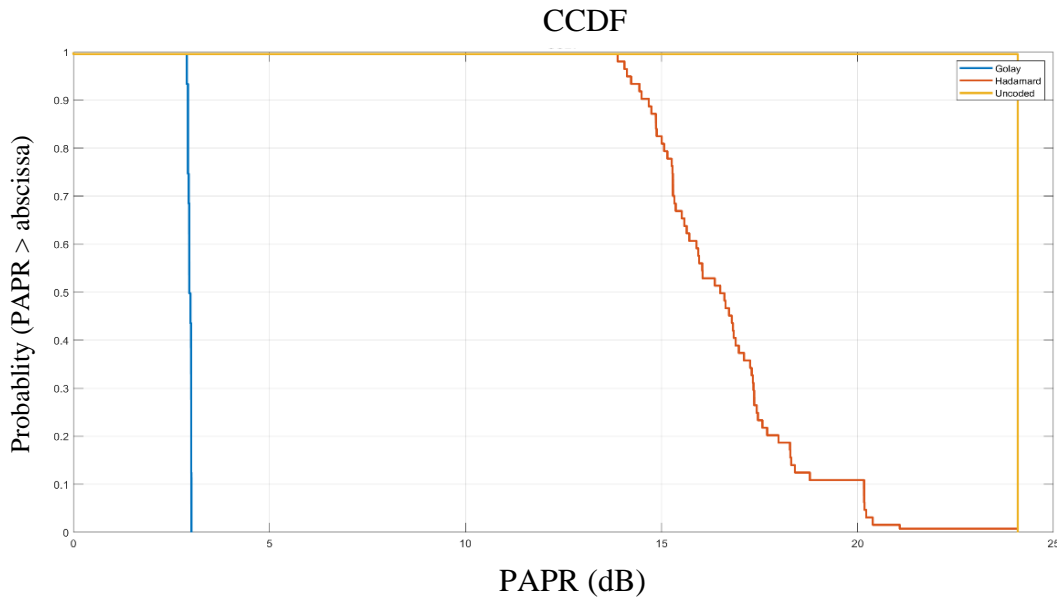
Gambar 4.1 Sinyal Radar OFDM Skema-1 (TANPA Kode)



Gambar 4.2 Sinyal Radar OFDM skema-1 menggunakan Kode Hadamard



Gambar 4.3 Sinyal Radar OFDM skema-1 menggunakan Kode Golay



Gambar 4.4 Plot CCDF dari skema-1

Dari gambar 4.1 , gambar 4.2, dan gambar 4.3 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay Nilai Puncak dan Rata-ratanya adalah 0.000122 dan 6.104×10^{-5} . Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 3.1 dB. kemudian untuk sinyal Radar OFDM yang diberikan kode Hadamard memiliki nilai puncak dan rata-rata 0.0078 dan 6.104×10^{-5} . dari 2 nilai tersebut kita dapatkan nilai PAPRnya sebesar 21.0724 dB. Sedangkan saat sinyal radar OFDM tidak diberikan kode nilai puncak dan Rata-ratanya adalah 0.01562 dan 6.104×10^{-5} . Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 24.0894 dB. Dari data PAPR yang sudah didapatkan berarti Kode Golay dapat menurunkan PAPR sebesar 21 dB atau sebesar 87,2%, sedangkan Kode Hadamard dapat menurunkan PAPR sebesar 3 dB atau sebesar 12,5%.

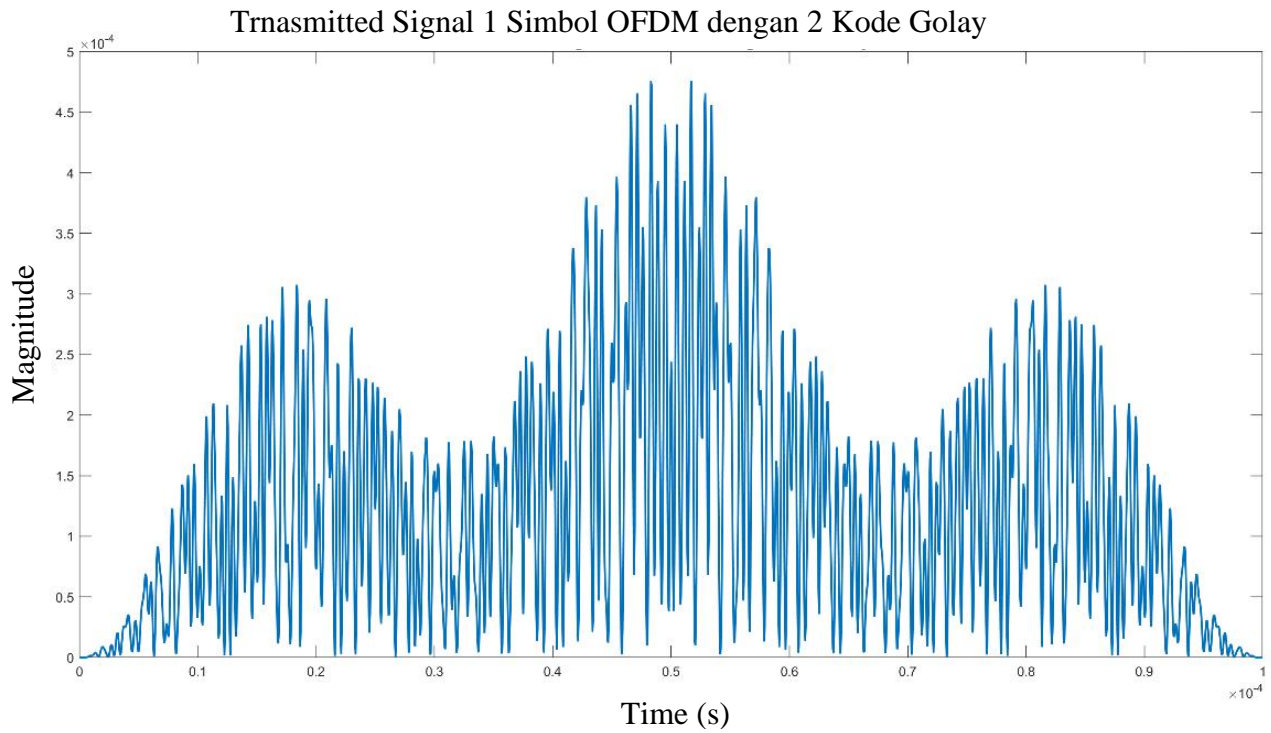
Dari gambar 4.4 yang merupakan plot CCDF dari skema pertama dapat dilihat hasil yang menggunakan golay cukup konsisten. Nilai PAPR sinyal yang menggunakan kode golay memiliki probabilitas lebih dari 3.1dB adalah 0%. Sedangkan yang menggunakan kode Hadamard hasilnya cukup beragam, probabilitas nilai PAPR lebih dari 16.5dB adalah 50% dan kurang dari 16.5dB juga 50%, tetapi untuk maksimalnya ia memiliki probabilitas nilai PAPR lebih dari 21.2dB adalah 0%. Probabilitas nilai PAPR untuk sinyal yang tidak menggunakan kode sendiri memiliki nilai 24.0824 saja.

4.1.2 Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-2

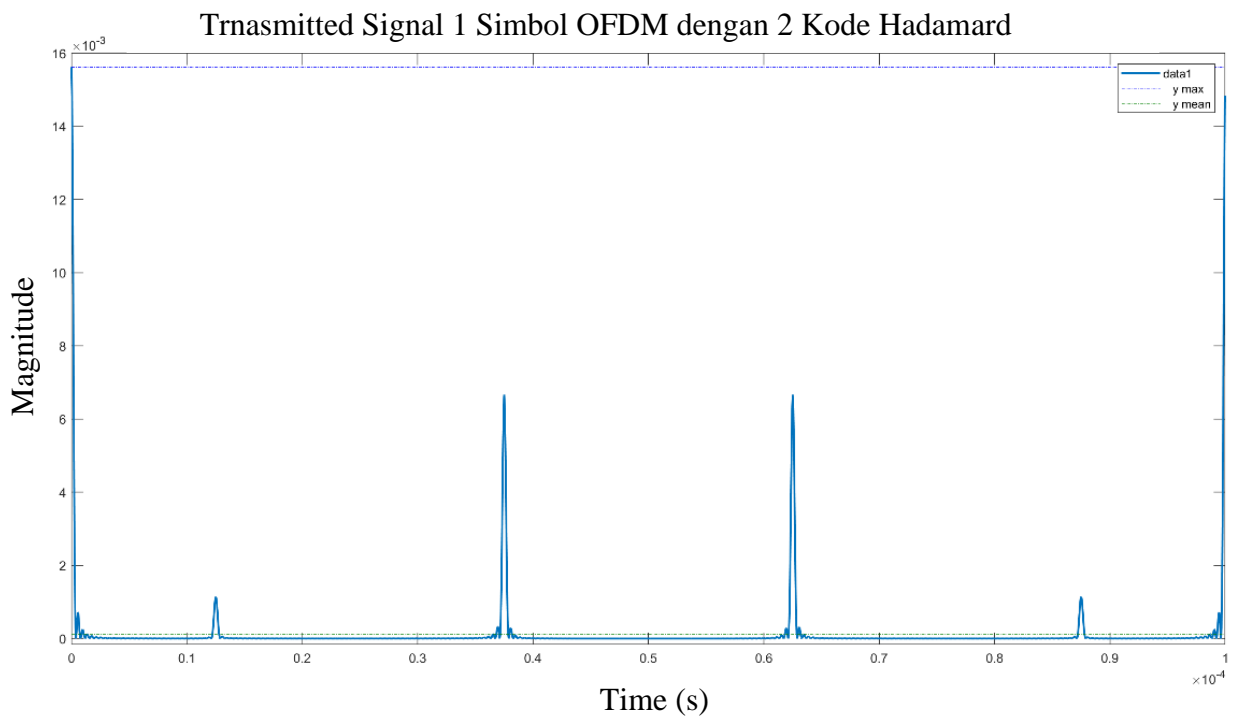
Pada Penelitian ini akan dilakukan percobaan dengan melakukan Transmisi 2 Sinyal OFDM dengan menggunakan 1 Subband dengan spesifikasi berikut.

Tabel 4.3 Parameter Radar OFDM Skema-2

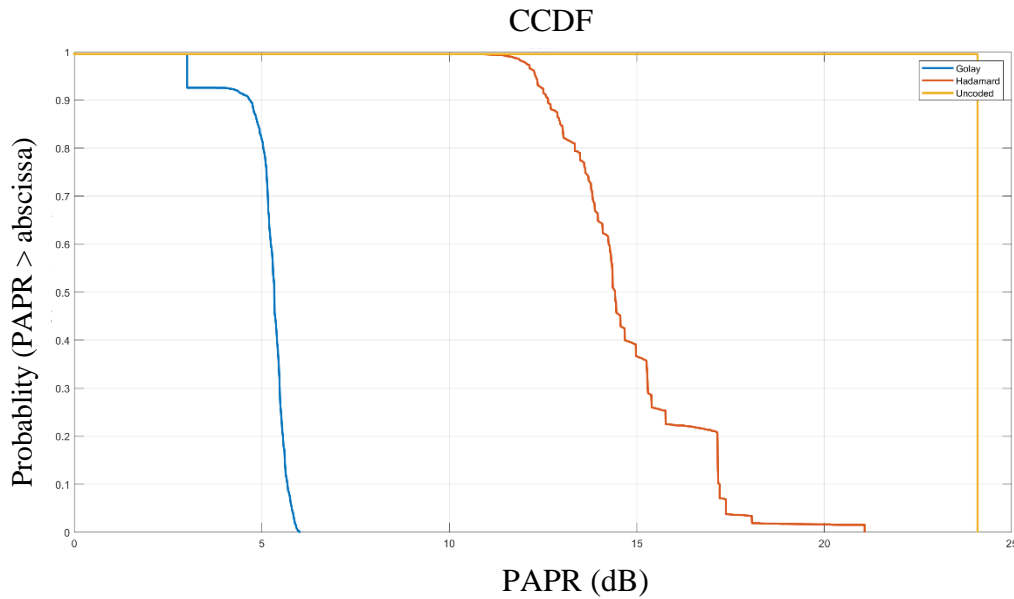
Parameter	Nilai
Frekuensi antar subcarrier (Δf)	10.000 Hz
Frekuensi	2.7 Ghz
Bandwidth	2,56 Mhz
Jumlah subcarrier (N_c)	256
T symbol OFDM awal (T_0)	10^{-4} s
Jumlah symbol	1
Jarak maksimum (R_{max})	15 km



Gambar 4.5 Sinyal Radar OFDM skema-2 menggunakan Kode Golay



Gambar 4.6 Sinyal Radar OFDM skema-2 menggunakan Kode Hadamard



Gambar 4.7 Plot CCDF dari skema-2

Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay Nilai Puncak dan Rata-ratanya adalah 0.0016 dan 0.0001. Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 5.9 dB. kemudian untuk sinyal Radar OFDM yang diberikan kode Hadamard memiliki nilai puncak dan rata-rata 0.0005 dan 0.0001. dari 2 nilai tersebut kita dapatkan nilai PAPR yaitu 21.07 dB. Sedangkan saat sinyal radar OFDM tidak diberikan kode nilai puncak dan Rata-ratanya tidak berubah dari percobaan sebelumnya. Dari data PAPR yang sudah didapatkan berarti Kode Golay dapat menurunkan PAPR sebesar 18,2 dB atau sebesar 75,52%, sedangkan Kode Hadamard dapat menurunkan PAPR sebesar 3,03 dB atau sebesar 12,45%.

Dari gambar 4.7 yang merupakan plot CCDF dari skema pertama dapat dilihat hasil yang menggunakan golay cukup konsisten. Nilai PAPR sinyal yang menggunakan kode golay memiliki probabilitas lebih dari 6.1 dB adalah 0%. Sedangkan yang menggunakan kode Hadamard hasilnya cukup beragam, tetapi untuk skema 2 nilai PAPR dari Hadamard sendiri mengalami perbaikan, probabilitas nilai PAPR lebih dari 15.5 dB adalah 30%, tetapi untuk maksimalnya ia memiliki probabilitas nilai PAPR lebih dari 21.0724 dB adalah 0%. Probabilitas nilai PAPR sinyal yang tidak menggunakan kode sendiri memiliki nilai 24.0894 dB.

4.1.3 Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-3

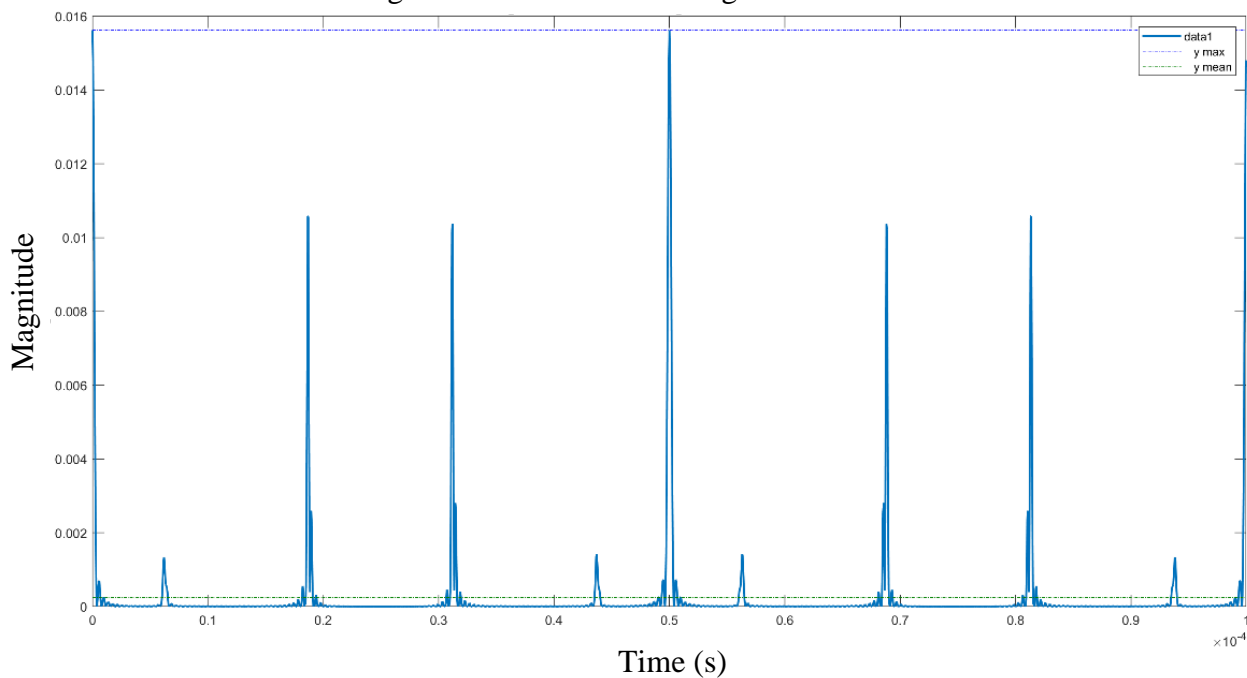
Pada Penelitian ini akan dilakukan percobaan dengan melakukan Transmisi 2 Sinyal OFDM dengan menggunakan 2 Subband yang Berbeda dengan spesifikasi berikut.

Tabel 4.4 Parameter Radar OFDM Skema-3

Parameter	Nilai
Frekuensi antar subcarrier (Δf)	10.000 Hz
Frekuensi	2.7 Ghz
Bandwidth	5,12 Mhz
Jumlah subcarrier (N_c)	512
T symbol OFDM awal (T_0)	10^{-4} s
Jumlah symbol	2
Jarak maksimum (R_{max})	15 km

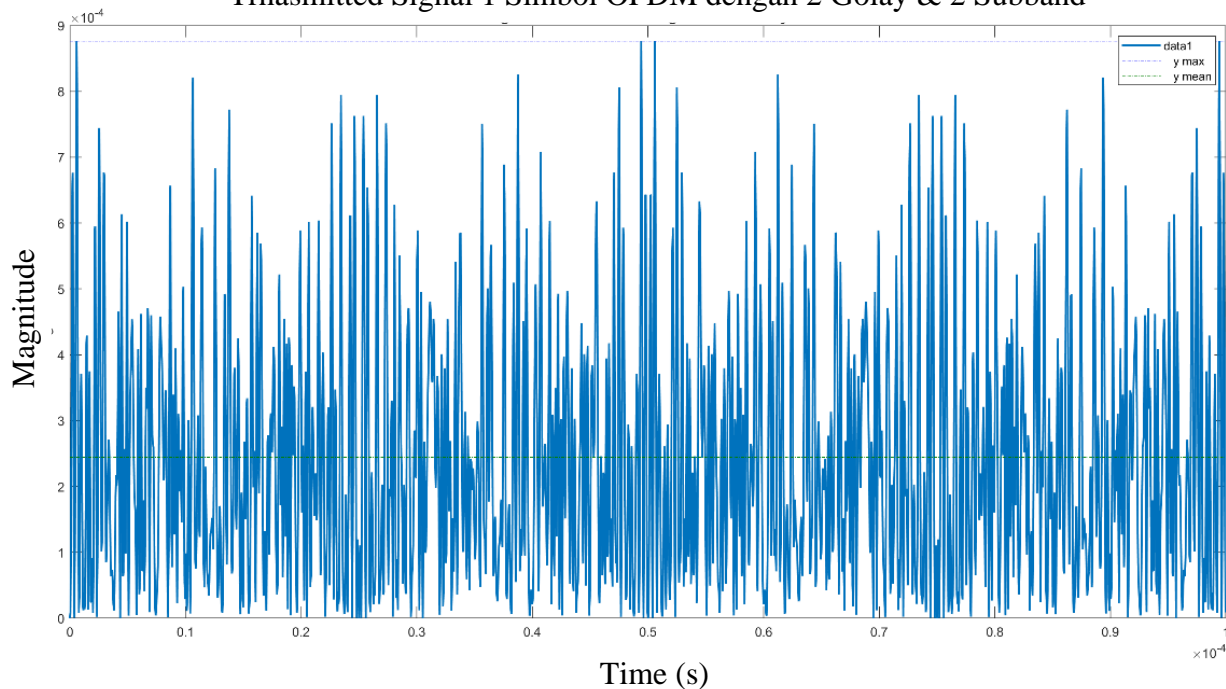
Hasil dari percobaan kali ini dapat ditunjukkan dengan grafik yang di dapatkan

Trnasmitted Signal 1 Simbol OFDM dengan 2 Hadamard & 2 Subband

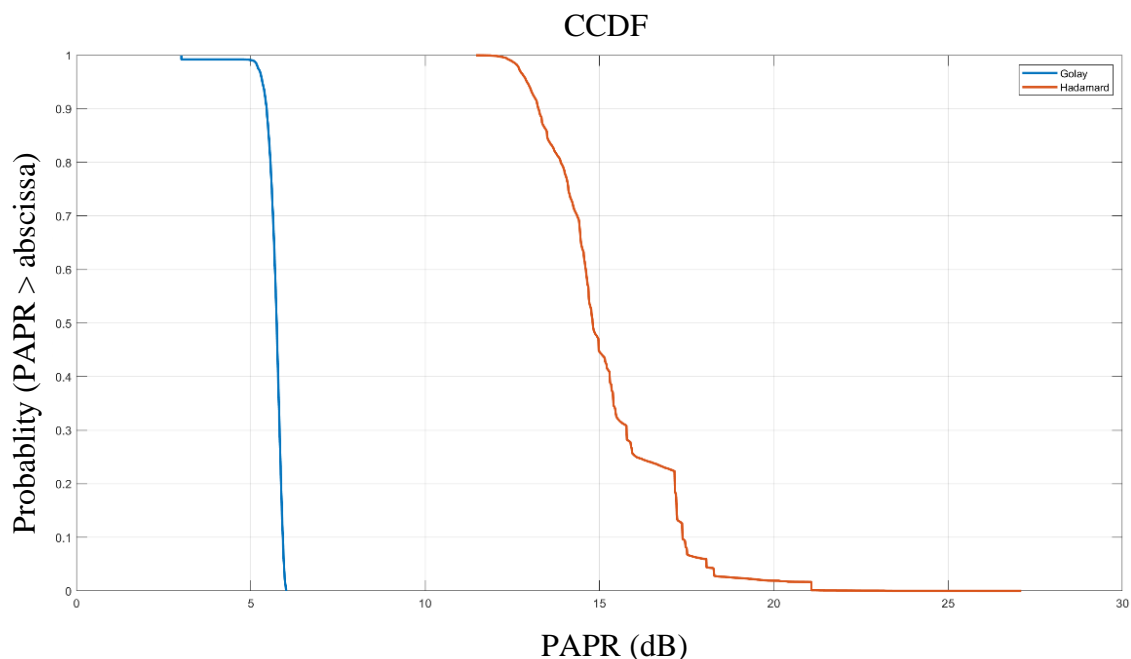


Gambar 4.8 Sinyal Radar OFDM skema-3 menggunakan Kode Hadamard

Trnasmitted Signal 1 Simbol OFDM dengan 2 Golay & 2 Subband



Gambar 4.9 Sinyal Radar OFDM skema-3 menggunakan Kode Golay



Gambar 4.10 Plot CCDF dari skema-3

Dari gambar 4.1 , gambar 4.2, dan gambar 4.3 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay Nilai Puncak dan Rata-ratanya adalah 0.25 dan 0.004. Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 5.55 dB. kemudian untuk sinyal Radar OFDM yang diberikan kode Hadamard memiliki nilai puncak dan rata-rata 0.0014 dan 0.004. dari 2 nilai tersebut kita dapatkan nilai PAPRnya sebesar 18.1 dB. Sedangkan saat sinyal radar OFDM tidak diberikan kode Golay nilai puncak dan Rata-ratanya adalah 4 dan 0.0078. Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 27.1 dB. Dari data PAPR yang sudah didapatkan berarti Kode Golay dapat menurunkan PAPR sebesar 21.55 dB atau sebesar 79.5%, sedangkan Kode Hadamard dapat menurunkan PAPR sebesar 9 dB atau sebesar 33%.

Dari gambar 4.4 yang merupakan plot CCDF dari skema pertama dapat dilihat hasil yang menggunakan golay cukup konsisten. Nilai PAPR sinyal yang menggunakan kode golay memiliki probabilitas lebih dari 6.1dB adalah 0%. Sedangkan yang menggunakan kode Hadamard hasilnya cukup beragam, probabilitas nilai PAPR lebih dari 15.8 dB adalah 30%, tetapi untuk maksimalnya ia memiliki probabilitas nilai PAPR lebih dari 21.0724 dB adalah 0%. Probabilitas nilai PAPR untuk sinyal yang tidak menggunakan kode sendiri memiliki nilai 24.0894 dB.

4.1.4 Hasil Simulasi Sinyal Radar OFDM menggunakan Skema-4

Pada Penelitian ini akan dilakukan percobaan dengan melakukan Transmisi 8 Sinyal OFDM dengan menggunakan 8 Subband yang Berbeda. Kemudian pada skema ini akan dilakukan pemilihan kombinasi kode golay yang akan diambil dengan 1000 sampel dan akan dipilih dengan aturan yang sesuai agar tidak terjadi interverensi antar kode golaynya. Setelah mendapatkan kombinasi yang tepat akan dimasukkan kedalam subband yang ada dengan spesifikasi berikut.

Tabel 4.5 Parameter Radar OFDM Skema-4

Parameter	Nilai
Frekuensi antar subcarrier (Δf)	10.000 Hz
Frekuensi	2.7 Ghz
Bandwidth	20,48 Mhz
Jumlah subcarrier (N_c)	2048
T symbol OFDM awal (T_0)	10^{-4} s
Jumlah symbol	8
Jarak maksimum (R_{max})	15 km

Hasil dari percobaan kali ini dapat ditunjukkan dengan grafik yang di dapatkan

Dari hasil simulasi menggunakan Matlab bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay Nilai Puncak dan Rata-ratanya adalah 4.52×10^{-4} dan 6.1×10^{-5} . Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 8.7 dB. kemudian untuk sinyal Radar OFDM yang diberikan kode Hadamard memiliki nilai puncak dan rata-rata 5.31×10^{-4} dan 6.1×10^{-5} . dari 2 nilai tersebut kita dapatkan nilai PAPRnya sebesar 9.4 dB. Sedangkan saat sinyal radar OFDM tidak diberikan kode Golay nilai puncak dan Rata-ratanya adalah 1 dan 4.88×10^{-4} . Kemudian dari 2 nilai tersebut kita gunakan persamaan 2.21 bisa kita dapatkan nilai PAPR yaitu 33.1 dB. Dari data PAPR yang sudah didapatkan berarti Kode Golay dapat menurunkan PAPR sebesar 24.4 dB atau sebesar 73.7%, sedangkan Kode Hadamard dapat menurunkan PAPR sebesar 23.7 dB atau sebesar 71.6%.

4.2 Hasil Perhitungan PAPR

Pada bagian ini akan dilakukan analisis terhadap nilai PAPR yang didapatkan pada setiap percobaan dengan menggunakan persamaan 2.21 dan akan dibandingkan pada setiap skemanya.

4.2.1 Hasil Analisa PAPR Skema-1

Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai PAPR diperlukan persamaan 2.21 untuk menghitung gambar 4.1, gambar 4.2, dan gambar 4.3 dengan 3 jenis percobaan yaitu dengan adanya kode Golay dan Hadamard yang ikut mempengaruhi hasil pada sinyal radar OFDM, dan tanpa adanya kode Golay di dalamnya. Hal ini saya lakukan agar dapat melihat perbedaan yang terdapat pada 3 jenis sinyal radar tersebut dan dapat membuktikan bahwa pengkodean Golay dapat memberikan reduksi PAPR pada sinyal Radar OFDM. Berikut adalah analisa nilai PAPR.

Dari Tabel 4.5 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay maka Nilai Puncak menjadi jauh lebih kecil perbandingannya. Jika dilihat dari Tabel 4.5 yang menunjukkan sinyal radar OFDM tanpa kode Golay dapat kita lihat bahwa dia memiliki nilai Peak dan Average yang cukup jauh perbedaannya sehingga membuat nilai PAPRnya menjadi sangat tinggi.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari Skema-1

Skema-1	Peak	Average	PAPR
Tanpa Kode	0.017	6.104×10^{-5}	24.1 dB
Dengan Kode Hadamard	0.0001	6.104×10^{-5}	21.1 dB
Dengan Kode Golay	0.008	6.104×10^{-5}	3.1 dB

Tabel 4.5 merupakan data dan hasil perhitungan dari semua salah satu sample grafik yang didapatkan. bisa dilihat dari table tersebut bahwa nilai PAPR dari 1 simbol sinyal radar OFDM cukup memiliki perbedaan yang signifikan. Jika dihitung dalam performansi, maka perbandingan penurunan nilai PAPR pada 1 simbol sinyal radar OFDM memiliki nilai penurunan hingga 87.2% dengan Kode golay dan 12.5% dengan Kode Hadamard.

4.2.2 Hasil Analisa PAPR Skema-2

Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai PAPR diperlukan persamaan 2.21 untuk menghitung gambar 4.5 dan gambar 4.6 dengan 3 jenis percobaan yaitu dengan adanya kode Golay dan Hadamard yang ikut mempengaruhi hasil pada sinyal radar OFDM, dan tanpa adanya kode Golay di dalamnya. Hal ini saya lakukan agar dapat melihat perbedaan yang terdapat pada 3 jenis sinyal radar tersebut. Berikut adalah analisa nilai PAPR.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari skema-2

Skema-2	Peak	Average	PAPR
Tanpa Kode	0.016	6.104×10^{-5}	24.1 dB
Dengan Kode Hadamard	0.0005	0.0001	21.07 dB
Dengan Kode Golay	0.016	0.0001	5.9 dB

Dari Tabel 4.6 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay maka Nilai Puncak menjadi jauh lebih kecil perbandingannya. Jika dilihat dari Tabel 4.6 yang menunjukkan sinyal radar OFDM tanpa kode Golay dapat kita lihat bahwa dia memiliki nilai Peak dan Average yang cukup jauh perbedaannya sehingga membuat nilai PAPRnya menjadi sangat tinggi.

Tabel 4.6 merupakan data dan hasil perhitungan dari semua salah satu sample grafik yang didapatkan. bisa dilihat dari table tersebut bahwa nilai PAPR dari 1 simbol 2 sinyal radar OFDM dengan 2 kode Golay dan Hadamard cukup memiliki perbedaan yang signifikan. Jika dihitung dalam performansi, maka perbandingan penurunan nilai PAPR pada 1 simbol 2 sinyal radar OFDM dengan 2 kode Holay dan Hadamard memiliki nilai penurunan hingga 75.52% dengan Kode golay dan 12.45% dengan Kode Hadamard.

4.2.3 Hasil Analisa PAPR Skema-3

Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai PAPR diperlukan persamaan 2.21 untuk menghitung gambar 4.5 dan gambar 4.6 dengan 3 jenis percobaan yaitu dengan adanya kode Golay dan Hadamard yang ikut mempengaruhi hasil pada sinyal radar OFDM, dan tanpa adanya kode Golay di dalamnya. Hal ini saya lakukan agar dapat melihat perbedaan yang terdapat pada 3 jenis sinyal radar tersebut. Berikut adalah analisa nilai PAPR.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari skema-3

Skema-3	Peak	Average	PAPR
Tanpa Kode	4	0.0078	27.1 dB
Dengan Kode Hadamard	0.014	0.004	18.1 dB
Dengan Kode Golay	0.25	0.004	5.55 dB

Dari Tabel 4.7 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay maka Nilai Puncak menjadi jauh lebih kecil perbandingannya. Jika dilihat dari Tabel 4.7 yang menunjukkan sinyal radar OFDM tanpa kode Golay dapat kita lihat bahwa dia memiliki nilai Peak dan Average yang cukup jauh perbedaannya sehingga membuat nilai PAPRnya menjadi sangat tinggi.

Tabel 4.7 merupakan data dan hasil perhitungan dari semua salah satu sample grafik yang didapatkan. bisa dilihat dari table tersebut bahwa nilai PAPR dari 1 simbol 2 sinyal radar OFDM dengan 2 kode Golay dan Hadamard cukup memiliki perbedaan yang signifikan. Jika dihitung dalam performansi, maka perbandingan penurunan nilai PAPR pada 1 simbol 2 sinyal radar OFDM dengan 2 kode Holay dan Hadamard memiliki nilai penurunan hingga 79.5% dengan Kode golay dan 33% dengan Kode Hadamard.

4.2.4 Hasil Analisa PAPR Skema-4

Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai PAPR diperlukan persamaan 2.21 untuk menghitung nilai PAPR dengan 3 jenis percobaan yaitu dengan adanya kode Golay dan Hadamard yang ikut mempengaruhi hasil pada sinyal radar OFDM, dan tanpa adanya kode Golay di dalamnya. Hal ini saya lakukan agar dapat melihat perbedaan yang terdapat pada 3 jenis sinyal radar tersebut. Berikut adalah analisa nilai PAPR.

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran nilai salah satu sample PAPR dari skema-3

Skema-4	Peak	Average	PAPR
Tanpa Kode	1	4.88×10^{-4}	33.1 dB
Dengan Kode Hadamard	5.31×10^{-4}	6.1×10^{-5}	9.4 dB
Dengan Kode Golay	4.52×10^{-4}	6.1×10^{-5}	8.7 dB

Dari Tabel 4.8 bisa dilihat perbedaannya. Saat sinyal radar OFDM diberikan kode Golay maka Nilai Puncak menjadi jauh lebih kecil perbandingannya. Jika dilihat dari Tabel 4.8 yang menunjukkan sinyal radar OFDM tanpa kode Golay dapat kita lihat bahwa dia memiliki nilai Peak dan Average yang cukup jauh perbedaannya sehingga membuat nilai PAPRnya menjadi sangat tinggi.

Tabel 4.8 merupakan data dan hasil perhitungan dari semua salah satu sample nilai yang didapatkan. bisa dilihat dari table tersebut bahwa nilai PAPR dari 1 simbol 8 sinyal radar OFDM dengan 64 kode Golay dan Hadamard memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Jika dihitung dalam performansi, maka perbandingan penurunan nilai PAPR pada 1 simbol 8 sinyal radar OFDM dengan 64 kode Golay dan Hadamard memiliki nilai penurunan hingga 73.7% dengan Kode golay dan 71.6% dengan Kode Hadamard.

4.3 Hasil Perhitungan CCDF

Pada bagian ini akan dilakukan analisis grafik CCDF-nya terhadap nilai PAPR yang didapatkan pada setiap percobaan dan akan dibandingkan pada setiap skemanya. Dari gambar 4.4 dan gambar 4.7 kita dapat lihat bahwa terjadi penurunan nilai yang cukup signifikan.

4.3.1 Hasil Analisa CCDF Skema-2

Dimulai dari gambar 4.4 yang menunjukkan bahwa nilai PAPR dengan kode Hadamard diperoleh hasil reduksi sebesar 3.017dB. sedangkan yang menggunakan kode Golay diperoleh hasil reduksi sebesar 21.135dB. pada gambar 4.4 hasil plot CCDFnya untuk kode Golay juga cukup baik, tidak ada kombinasi yang membuat nilai PAPR menjadi jauh lebih tinggi dari yang lainnya, sehingga tidak perlu adanya pemilihan kombinasi yang berakibat nilai PAPR yang cukup tinggi. Berbeda dengan Hadamard yang memiliki nilai garfik cukup menurun, disitu berarti diperlukannya kombinasi yang tepat untuk mendapatkan nilai PAPR yang diinginkan.

Tabel 4.9 Nilai Dari Plot CCDF Skema-2

Nama Kode	Min. PAPR	Max. PAPR	Penurunan PAPR
Uncoded	24.1 dB	24.1 dB	0%
Hadamard	12.2 dB	21.7 dB	12.5% - 49.5%
Golay	4.76 dB	6.01 dB	74.9% - 80.2%

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai PAPR dengan kode Hadamard diperoleh hasil reduksi sama dengan gambar 4.4 yaitu 3.017dB. sedangkan yang menggunakan Kode Golay mengalami penurunan performa yaitu turun menjadi 19.1429dB. untuk probabilitasnya sendiri Golay bisa dilihat bahwa kombinasinya cukup baik karena tidak mengalami perubahan yg cukup besar. Berbeda jika dibandingkan dengan Kode Hadamard yang memiliki beberapa kombinasi yang menunjukkan nilai PAPR yang cukup buruk, dari gambar 4.7 bisa kita lihat bahwa probabilitas nilai PAPR yang mengalami lonjakan nilai cukup besar ada 23% yang menjadikan perlunya Analisa lebih dalam dalam memilih kombinasi yang tepat agar hasilnya cukup maksimal pada Hadamard.

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai dari Plot CCDF Skema 2 memiliki nilai minimal dan maksimal dari PAPRnya. Dapat dihitung juga persentase penurunan dari setiap pengujian. Untuk pengujian dengan Hadamard mendapatkan penurunan 12.5% hingga 49.5% hasil tersebut bisa menunjukkan bahwa kurang stabilnya hasil yang didapatkan oleh Hadamard. Hasil berbeda jika kita melihat ke Golay, mendapatkan penurunannya 74.9% hingga 80.2% hasil tersebut bisa menunjukkan bahwa cukup stabil sehingga tidak diperlukannya kombinasi yang cukup mendalam.

4.3.2 Hasil Analisa CCDF Skema-3

Dilihat dari gambar 4.10 yang menunjukkan bahwa nilai PAPR dengan kode Hadamard diperoleh hasil reduksi sebesar 6.03dB hingga 15.5dB. sedangkan yang menggunakan kode Golay diperoleh hasil reduksi sebesar 21.09dB hingga 22.34dB. pada gambar 4.4 hasil plot CCDFnya untuk kode Golay juga cukup baik, tidak ada kombinasi yang membuat nilai PAPR menjadi jauh lebih tinggi dari yang lainnya, sehingga tidak perlu adanya pemilihan kombinasi yang berakibat nilai PAPR yang cukup tinggi. Berbeda dengan Hadamard yang memiliki nilai garfik cukup menurun, disitu berarti diperlukannya kombinasi yang tepat untuk mendapatkan nilai PAPR yang diinginkan

Tabel 4.10 Nilai Dari Plot CCDF Skema-3

Nama Kode	Min. PAPR	Max. PAPR	Penurunan PAPR
Uncoded	27.1 dB	27.1 dB	0%
Hadamard	11.6 dB	21.07 dB	12.5% - 52%
Golay	4.76 dB	6.01 dB	75% - 80.2%

Skema 3 pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa Kode Hadamard memperoleh hasil reduksi paling kecil sebesar 3dB dan rata-rata dapat mengurangi PAPR dari sinyal radar yang tidak menggunakan pengkodean hingga 8dB. Sayangnya hasil yang diperoleh membutuhkan kajian kombinasi yang lebih mendalam, dikarenakan dapat dilihat dari Plot CCDFnya bahwa nilai PAPR yang didapatkan dengan kode Hadamard cukup bervariasi tergantung kombinasi yang digunakan. Hal ini berbeda jika kita menggunakan Kode Golay yang dapat dilihat dari grafik CCDFnya menunjukkan nilai yang cukup konsisten yaitu dapat mereduksi nilai PAPR sinyal Radar OFDM tanpa pengkodean sebesar 17dB. Sehingga tidak terlalu dibutuhkan kombinasi yang tepat untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai dari Plot CCDF Skema 2 memiliki nilai minimal dan maksimal dari PAPRnya. Dapat dihitung juga persentase penurunan dari setiap pengujian. Untuk pengujian dengan Hadamard mendapatkan penurunan 12.5% hingga 52% hasil tersebut bisa menunjukkan bahwa kurang stabilnya hasil yang didapatkan oleh Hadamard. Hasil berbeda jika kita melihat ke Golay, mendapatkan penurunannya 75% hingga 80.2% hasil tersebut bisa menunjukkan bahwa cukup stabil sehingga tidak diperlukannya kombinasi yang cukup mendalam.

4.4 Sintesis

Pada Tugas Akhir ini sistem radar yang dirancang dengan simulasi Matlab yaitu sistem Radar OFDM. Bentuk sinyal OFDM ini dipilih karena memiliki keunggulan ortogonalitas antar subcarrier yang baik. Radar yang dirancang memiliki spesifikasi frekuensi 2.7 GHz (*S-band*) berdasarkan target deteksi yang di simulasikan seperti radar *surveillance* untuk mendeteksi pesawat. Dengan penggunaan Radar OFDM berarti disini memiliki kelemahan yaitu nilai PAPR yang tinggi. Agar dapat memperbaiki kekurangan OFDM, maka percobaan digunakan Kode Golay. Kode Golay dipilih karena dapat mereduksi nilai PAPR pada OFDM.

Proses pengujian dilakukan dengan *subcarrier* sebanyak 256 dan 1 simbol yang memiliki 256-bit *sample*. Penggunaan *subcarrier* yang cukup banyak dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat akurasi hasil deteksi dari target, sedangkan untuk penggunaan simbol sebanyak 256 karena mengikuti pengaturan simbol *rate* yang bisa mempengaruhi kinerja sistem radar yang dirancang, sehingga dapat meringankan kinerja dari perangkat yang digunakan.

Pengujian dilakukan dengan mengasumsikan suatu target pada kejauhan tertentu untuk mendapatkan nilai dari jarak target dan menggerakkan target dengan laju radial yang cukup konstan.

Dari hasil yang diperoleh pada bab 3 dan 4, penggunaan pengkodean Golay dapat digunakan pada sistem Radar OFDM untuk mereduksi nilai PAPR. Dari hasil pengujian ini karena belum di uji coba pada perangkat radar asli seperti USRP sehingga tidak dapat dijadikan patokan evaluasi kinerja radar yang bisa sebaik pada simulasi, karena ada pengaruh faktor-faktor lain jika di aplikasikan pada perangkat asli. Jika terdapat penelitian selanjutnya yang meneruskan topik penelitian ini, perlu ditentukan metode pengujian yang benar dan dapat diterapkan secara maksimal pada perangkat asli sebagai evaluasi kinerja radar yang telah dibuat.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini akan membahas mengenai kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi Pembangkitan Sinyal Radar OFDM dengan dan tanpa Kode Golay dan hasil simulasinya, beserta dengan saran untuk penerapan Kode Golay ini untuk sinyal Radar OFDM.

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan simulasi yang telah dilakukan , maka didapatkan kesimpulan hasil simulasi sebagai berikut:

1. *Peak to Average Power Ratio* dari sinyal Radar OFDM benar bisa di reduksi dengan bantuan pengkodean Golay hingga 21dB pada Skema 1, 18.2 dB pada Skema 2, dan 21.55 dB pada Skema 3.
2. Hasil penurunan nilai PAPR terbaik didapatkan pada skema pertama yang berhasil menurunkan PAPR sebesar 87.2%.
3. Nilai PAPR dengan penggunaan kode golay memiliki penurunan yang lebih baik jika dibandingkan dengan *Hadamard Matrix*.
4. Nilai PAPR yang rendah bisa membantu dalam pemilihan Transmitter yang lebih beragam.
5. Plot CCDF pada penggunaan Kode Golay menunjukkan bahwa nilainya cukup stabil dan tidak banyak perubahan. Dalam beberapa kombinasi menunjukkan, tidak perlunya peilihan kode yang tepat agar mendapatkan PAPR yang rendah.
6. Plot CCDF pada penggunaan *Hadamard Matrix* menunjukkan perlunya pemilihan kode yang tepat agar mendapatkan PAPR yang rendah.

5.2 Saran

Dari kesimpulan analisis yang didapat penulis dapat memberikan saran:

1. Perlu dibandingkan pemodelan simulasi dengan metode yang berbeda untuk mereduksi nilai PAPR pada sinyal radar OFDM.
2. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan perhitungan BERnya dengan metode yang sama.
3. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan noise untuk menggambarkan situasi yang lebih *real*.
4. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan menggunakan Transmitter sungguhan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Fadhila Andam Dewi, T. S. dan S. (2015). *Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Walsh Hadamard Pada Code Division Multiple Access (CDMA) Menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP)*.
- Lellouch, G. (2019). *WAVEFORM DESIGN AND PROCESSING TECHNIQUES IN OFDM RADAR*.
- Lellouch, G. (2019). *Waveform Design And Processing Techniques In OFDM Radar*.
- Li, W., Xiang, Z., & Ren, P. (2019a). Waveform Design for Dual-Function Radar-Communication System with Golay Block Coding. *IEEE Access*, 7, 184053–184062. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2960658>
- Li, W., Xiang, Z., & Ren, P. (2019b). Waveform Design for Dual-Function Radar-Communication System with Golay Block Coding. *IEEE Access*, 7, 184053–184062. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2960658>
- Pezeshki, A., Calderbank, A. R., Moran, W., & Howard, S. D. (2008). Doppler resilient Golay complementary waveforms. *IEEE Transactions on Information Theory*, 54(9), 4254–4266. <https://doi.org/10.1109/TIT.2008.928292>
- Rezgui, C., Jarboui, S., & Grayaa, K. (2012). A PAPR reduction technique based on Golay sequences and Fractional Fourier Transform for OFDM systems. *2012 Computing, Communications and Applications Conference, ComComAp 2012*, 383–386. <https://doi.org/10.1109/ComComAp.2012.6154877>
- Richards, M. A. (Mark A.), Scheer, J., & Holm, W. A. (2010). *Principles of modern radar. Volume I, Basic principles*. SciTech Pub.
- Rizkha Ajeng Rochmatika, T. S. S. (2016). *Implementasi dan Analisis Teknik Reduksi PAPR OFDM Menggunakan Metode PTS pada WARP*.
- Rizky, M., Hendrantoro, G., Kuswidiastuti, D., & Ofdm, A. B. G. (2016). *Desain Gelombang Radar MIMO Menggunakan Teknik Interleaved- OFDM. I*, 1–6.
- Skolnik, M. I. (2001). *Introduction to Radar Systems*.
- Skolnik, M. I. (2008). *Radar Handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Wiesbeck, W. (2014). *System Concepts for the Radar of the Future*. www.ihe.kit.edu
- Wiesbeck, W., Sit, L., Younis, M., Rommel, T., Krieger, G., & Moreira, A. (2015). Radar 2020: The future of radar systems. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015-Novem(July 2015), 188–191. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7325731>
- Xiaojing Huang. (2006). Complementary Properties of Hadamard Matrices. *Introduction to Combinatorial Design*, 00, 233-258. <http://doi.org/10.1201/b15902-17>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. Lembar Pengesahan Proposal

APPROVED

By asda at 12:17 pm, Sep 08, 2021

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas – ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Alif Yudha Prasetya
Nomer Pokok : 0711184000225
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap 2020/2021
Dosen Pembimbing 1 : Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
Judul Tugas Akhir : **Teknik Pengkodean Golay untuk Mereduksi PAPR pada Sistem Radar OFDM**
(*Golay Coding Techniques for Reducing PAPR on OFDM Radar systems*)

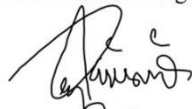
Uraian Tugas Akhir:

Sinyal Radar OFDM sangat baik dalam penggunaan sistem komunikasi karena keunggulan modulasi subcarrier fleksibel, pemanfaatan spektrum tinggi, dan sinkronisasi mudah. Keunggulan sistem radar OFDM guna mendapatkan hasil deteksi laju radial dan jarak dari objek. Sinyal OFDM memiliki kelemahan yang terdapat pada PAPR yang tinggi. PAPR tinggi akan menyebabkan sinyal OFDM rentan terkena distorsi nonlinier sehingga OFDM mengalami intermodulasi dan kebocoran spektral. Kemudian nilai PAPR yang tinggi menyebabkan penggunaan *Power Amplifier* tidak efisien. Penelitian ini akan mereduksi nilai PAPR dengan pengkodean Golay. Ditemukan penelitian yang memperkenalkan modifikasi *Golay Pairs* yang saling melengkapi dalam fungsi autokorelasi kuadrat dan mempertahankan sifat komplementernya ketika ditransmisikan melalui frekuensi yang berbeda, karena itu Golay cocok pada sistem Radar.

Permasalahan yang akan diteliti pada tugas akhir ini adalah karakteristik sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR yang tinggi sehingga menimbulkan permasalahan dan akan dianalisis pengaruh HPA dan karakteristik PAPR sebelum dan sesudah diimplementasikan pengkodean golay pada sistem radar OFDM. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sistem radar OFDM yang diteliti untuk *surveillance* yang bekerja pada frekuensi *S-Band*, penelitian akan dititikberatkan dari sisi pemancar, dan pengujian kinerja *golay code* untuk mereduksi PAPR akan dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan *software*.

Kata Kunci: *OFDM, Golay Code, PAPR, HPA*

Dosen Pembimbing 1



Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.
NIP. 1981 0925 2008 12 2003

Dosen Pembimbing 2



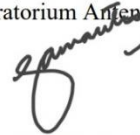
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
NIP. 1964 1130 1989 03 2001

Mengetahui
Koordinator Program Studi 31



Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 1975 11 19 2006 03 1001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi,



Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 1970 1111 1993 03 1002

B. Listing Program Tugas Akhir

```
clc
clear

fc = 2.7e9; %freq carrier
c = 3e8; %kec cahaya
lambda = c/fc;%panjang gelombang
deltaf = 10e3; %Spasi antar frekuensi subcarrier
Msym = 256; %Jumlah symbol
Vrmax = deltaf*lambda/2; %Laju radial max
Fdmmax = 2*Vrmax/lambda; %Freq Doppler max
% Ncu = 128; %Jumlah subcarrier/transmit
% Nch = 8; %Jumlah channel
% Nc = Ncu * Nch; %Jumlah Subcarrier
Nc = 256; %jumlah subcarrier
B = Nc*deltaf; %Bandwidth
T = 1/deltaf; %Durasi ofdm
Ttotal = T; %Total durasi simbol ofdm (Nc)
To= deltaf

%Parameter target
R = [11000]; %Jarak target
Vr = [1000]; %Laju radial target

% Bangkitkan bit %
Bit = ones(Nc,Msym);
% Serial ke Paralel %

% Golay nanti disini %
G = golay(256);
H = hadamard(256);
% ParData=reshape(mappingQPSK,Nc,[]);
ParData = zeros(Nc,Msym);
for k=1:256
    %ParData(1:256,k)=G(k,:).'; %pakai golay
    ParData(1:256,k)=H(k,:).'; %pakai hadamard
    %ParData(1:256,k)=ones(1,256).'; %Tidak pakai Golay
end

Nifft = Nc;
for k=1:256
    OprIFFT(:,k) = ifft(ParData(:,k),Nifft);
end
%OprIFFTtotal=OprIFFT*ones(256,1);
%format long
%PAPR=10*log10(max(abs(OprIFFTtotal).^2)/mean(abs(OprIFFTtotal).^2))
for k=1:256
    PAPR(1,k)=10*log10(max(abs(OprIFFT(:,k)).^2)/mean(abs(OprIFFT(:,k)).^2))
end
v=ones(1,256);
b1=diag(v);
b2=b1*-1+1;
PAPR1signal= PAPR.*b2;
Xt= OprIFFT(:,4);
% IFFT %
%OprIFFT = ifft(ParData.*(G(1,:)).',Nifft);
%OprIFFT1 = ifft(ParData.*(G(2,:)).',Nifft);
```

```

%OprIFFTtotal = OprIFFT + OprIFFT1;
Tx = reshape(Xt,1,[]);
t = (0:(length(Tx)-1))/Nifft*T;

figure ()
%plot(t, real(OprIFFT), 'b', t, imag(OprIFFT), 'r')
plot(t, abs(Tx).^2,'LineWidth',1.5)
title('1 Simbol OFDM dengan Kode Hadamard')

% Pemodelan jarak target %
Tdelay = 2*(R/c);
Tsampling = Ttotal/Nifft;
NTdelay = round(Tdelay/Tsampling); %utk menyatakan delay dalam jml sample
Rx = [zeros(1,NTdelay),Tx, zeros(1,Nifft-NTdelay)]; %bangkitkan bit 0 sbyk NTdelay
% xdelay = Rx(1:length(Tx));
% Tardelay=[Rx];

% Pemodelan kecepatan target %
t2 = T*((0:length(Rx)-1)./(Nifft));
fd = 2*Vr/lambda; %cek rumus fd vs kecepatan target
% Doppler %
tardoppler = Rx.*exp(1j*2*pi*t2*(fd));
Chdat = tardoppler;

%Receiver%
y=xcorr(Rx, Tx);

figure ()
t3 = [-2*Nc+1:2*Nc-1].*To/Nc;
plot (t3, y)
title('Korelasi Sinyal Transmitter dengan Receiver dengan Kode Golay')

%save data1_111_Go.mat 'PAPR1signal'
save data1_111_had.mat 'PAPR1signal'
%save data1_111_uncoded.mat 'PAPR1signal'

clear all;close all;
load data1_111_Go.mat 'PAPR1signal'
papr_golay = reshape(PAPR1signal,1,[]);
papr_golay_1 = sort(papr_golay,'descend');
load data1_111_had.mat 'PAPR1signal'
papr_hadamard = reshape(PAPR1signal,1,[]);
papr_hadamard_1 = sort(papr_hadamard,'descend');
load data1_111_uncoded.mat 'PAPR1signal'
papr_uncoded = reshape(PAPR1signal,1,[]);
papr_uncoded_1 = sort(papr_uncoded,'descend');
figure;
plot(papr_golay_1,(0:length(papr_golay_1)-1)./length(papr_golay_1.*100),'LineWidth',2);
title ('CCDF')
xlabel('P A P R (dB)');
ylabel('Probability (PAPR \geq abscissa)')
hold on;
plot(papr_hadamard_1,(0:length(papr_golay_1)-1)./length(papr_hadamard_1.*100),'LineWidth',2);
hold on;
plot(papr_uncoded_1,(0:length(papr_golay_1)-1)./length(papr_uncoded_1.*100),'LineWidth',2);

```



```

grid on;
legend('Golay','Hadamard', 'Uncoded')

clc
clear

fc = 2.7e9; %freq carrier
c = 3e8; %kec cahaya
lambda = c/fc;%panjang gelombang
deltaf = 10e3; %Spasi antar frekuensi subcarrier
Msym = 256; %Jumlah symbol
Vrmax = deltaf*lambda/2; %Laju radial max
Fdmax = 2*Vrmax/lambda; %Freq Doppler max
% Ncu = 128; %Jumlah subcarrier/transmit
% Nch = 8; %Jumlah channel
% Nc = Ncu * Nch; %Jumlah Subcarrier
Nc = 256; %jumlah subcarrier
B = Nc*deltaf; %Bandwidth
T = 1/deltaf; %Durasi ofdm
Ttotal = T; %Total durasi simbol ofdm (Nc)
To= deltaf

%Parameter target
R = [11000]; %Jarak target
Vr = [1000]; %Laju radial target

% Bangkitkan bit %
Bit = ones(Nc,Msym);
% Serial ke Paralel %

% Golay nanti disini %
G = golay(256);
%G = hadamard(256);
%G = ones (256)
% ParData=reshape(mappingQPSK,Nc,[]);
ParData = ones(Nc);
ParData = G.';
%for k=1:256
    %ParData(1:256,k)=G(k,:).'; %pakai golay
    %ParData(1:256,k)=ones(1,256).'; %Tidak pakai Golay
%end

Nifft = Nc;
for k=1:256
    OprIFFT(:,k) = ifft(ParData(:,k),Nifft);
end
OprIFFT2 = OprIFFT;
for ii = 1:256
    xt_2sinyal (:,:,ii) = OprIFFT+(OprIFFT2(:,ii)*ones(1,256));
    for k = 1:256
        PAPR(ii,k)=10*log10(max(abs(xt_2sinyal(:,k,ii)).^2)/mean(abs(xt_2sinyal(:,k,ii)).^2));
    end
end
v=ones(1,256);
b1=diag(v);
b2=b1*-1+1;

```

```

PAPR2signal= PAPR.*b2;
%OprIFFTtotal=OprIFFT*ones(256,1);
%format long
  %PAPR=10*log10(max(abs(OprIFFTtotal).^2)/mean(abs(OprIFFTtotal).^2))
%for k=1:256
  %PAPR(1,k)=10*log10(max(abs(OprIFFT(:,k)).^2)/mean(abs(OprIFFT(:,k)).^2))
%end
Xt1= OprIFFT(:,1);
Xt2= OprIFFT(:,8);
Xt= Xt1+Xt2;
%PAPR1=10*log10(max(abs(Xt1).^2)/mean(abs(Xt1).^2));
%PAPR2=10*log10(max(abs(Xt2).^2)/mean(abs(Xt2).^2));
%PAPRtotal=10*log10(max(abs(Xt).^2)/mean(abs(Xt).^2));
% IFFT %
%OprIFFT = ifft(ParData.*(G(1,:)).',Nifft);
%OprIFFT1 = ifft(ParData.*(G(2,:)).',Nifft);
%OprIFFTtotal = OprIFFT + OprIFFT1;
Tx = reshape(Xt,1,[]);
t = (0:(length(Tx)-1))/Nifft*T;

figure ()
%plot(t, real(OprIFFT), 'b', t, imag(OprIFFT), 'r')
stem(t, abs(Tx).^2,'LineWidth',1.5)
title('1 Simbol OFDM tanpa Kode Golay')

% Pemodelan jarak target %
Tdelay = 2*(R/c);
Tsampling = Ttotal/Nifft;
NTdelay = round(Tdelay/Tsampling); %utk menyatakan delay dalam jml sample
Rx = [zeros(1,NTdelay),Tx, zeros(1,Nifft-NTdelay)]; %bangkitkan bit 0 sbyk NTdelay
% xdelay = Rx(1:length(Tx));
% Tardelay=[Rx];

% Pemodelan kecepatan target %
t2 = T*((0:length(Rx)-1)./(Nifft));
fd = 2*Vr/lambda; %cek rumus fd vs kecepatan target
% Doppler %
tardoppler = Rx.*exp(1j*2*pi*t2*(fd));
Chdat = tardoppler;

%Receiver%
y=xcorr(Rx, Tx);

%figure ()
%t3 = [-2*Nc+1:2*Nc-1].*To/Nc;
%plot (t3, y)
%title('Korelasi Sinyal Transmitter dengan Receiver dengan Kode Golay')
save data1_Go.mat 'PAPR2signal'
%save data1_had.mat 'PAPR2signal'

clear all;close all;
load data1_Go.mat 'PAPR2signal'
papr_golay = reshape(PAPR2signal,1,[]);
papr_golay_1 = sort(papr_golay,'descend');
load data1_had.mat 'PAPR2signal'
papr_hadamard = reshape(PAPR2signal,1,[]);
papr_hadamard_1 = sort(papr_hadamard,'descend');
load data1_uncoded.mat 'PAPR2signal'

```

```

papr_uncoded = reshape(PAPR2signal,1,[]);
papr_uncoded_1 = sort(papr_uncoded,'descend');
figure;
plot(papr_golay_1,(0:length(papr_golay_1)-
1)./length(papr_golay_1.*100),'LineWidth',2);
title('CCDF')
xlabel('P A P R (dB)');
ylabel('Probability (PAPR \geq abscissa)')
hold on;
plot(papr_hadamard_1,(0:length(papr_golay_1)-
1)./length(papr_hadamard_1.*100),'LineWidth',2);
hold on;
plot(papr_uncoded_1,(0:length(papr_golay_1)-
1)./length(papr_uncoded_1.*100),'LineWidth',2);
grid on;
legend('Golay','Hadamard','Uncoded')

clc
clear

fc = 2.7e9; %freq carrier
c = 3e8; %kec cahaya
lambda = c/fc;%panjang gelombang
deltaf = 10e3; %Spasi antar frekuensi subcarrier
Msym = 256; %Jumlah symbol
Vrmax = deltaf*lambda/2; %Laju radial max
Fdmax = 2*Vrmax/lambda; %Freq Doppler max
% Ncu = 128; %Jumlah subcarrier/transmit
% Nch = 8; %Jumlah channel
% Nc = Ncu * Nch; %Jumlah Subcarrier
Nc = 256*2; %jumlah subcarrier
B = Nc*2; %Bandwidth
T = 1/deltaf; %Durasi ofdm
Ttotal = T; %Total durasi simbol ofdm (Nc)
To= deltaf

%Parameter target
R = [11000]; %Jarak target
Vr = [1000]; %Laju radial target

% Bangkitkan bit %
Bit1 = ones(Nc,Msym);
% Serial ke Paralel %

% Golay nanti disini %
G = golay(256);
H = hadamard(256);
%G = ones (256)
% ParData=reshape(mappingQPSK,Nc,[]);
%ParData = ones(Nc);
ParData = G.';
%ParData = H.';
Nifft = 2048;
for ii = 1:256
    G_geser1 (:,:,ii)= circshift(ParData,ii,2);
    ParData_2sb(:,:,ii) = [G.';G_geser1(:,:,ii)];
    OprIFFT_2sb(:,:,ii)=ifft(ParData_2sb(:,:,ii),Nifft);
    for k = 1:256

```

```

PAPR_2sb(ii,k)=10*log10(max(abs(OprIFFT_2sb(:,k,ii)).^2)/mean(abs(OprIFFT_2sb(:,k,
ii)).^2));
    end
end
Xt1= OprIFFT_2sb(:,2);
Xt2= OprIFFT_2sb(:,16);
Xt= Xt1+Xt2;
    %for k=1:256
        %ParData(1:256,k)=G(k,:).'; %pakai golay
        %ParData(1:256,k)=ones(1,256).'; %Tidak pakai Golay
    %end

    %for k=1:256
        %OprIFFT(:,k) = ifft(ParData(:,k),Nifft);
    %end
%OprIFFT2 = OprIFFT;
%for ii = 1:256
    %xt_2sinyal (:,:,ii) = OprIFFT+(OprIFFT2(:,ii)*ones(1,256));
    %for k = 1:256

%PAPR(ii,k)=10*log10(max(abs(xt_2sinyal(:,k,ii)).^2)/mean(abs(xt_2sinyal(:,k,ii)).
^2));
    %end
%end
%v=ones(1,256);
%b1=diag(v);
%b2=b1*-1+1;
%PAPR2signal= PAPR.*b2;
%OprIFFTtotal=OprIFFT*ones(256,1);
%format long
    %PAPR=10*log10(max(abs(OprIFFTtotal).^2)/mean(abs(OprIFFTtotal).^2))
%for k=1:256
    %PAPR(1,k)=10*log10(max(abs(OprIFFT(:,k)).^2)/mean(abs(OprIFFT(:,k)).^2))
%end
%Xt1= OprIFFT(:,1);
%Xt2= OprIFFT(:,6);
%Xt= Xt1+Xt2;
%PAPR1=10*log10(max(abs(Xt1).^2)/mean(abs(Xt1).^2));
%PAPR2=10*log10(max(abs(Xt2).^2)/mean(abs(Xt2).^2));
%PAPRtotal=10*log10(max(abs(Xt).^2)/mean(abs(Xt).^2));
% IFFT %
%OprIFFT = ifft(ParData.*(G(1,:)).',Nifft);
%OprIFFT1 = ifft(ParData.*(G(2,:)).',Nifft);
%OprIFFTtotal = OprIFFT + OprIFFT1;
%Xt= OprIFFT_2sb(:, :, ii);
Tx = reshape(Xt,1,[]);
t = (0:(length(Tx)-1))/Nifft*T;
%t = (0:(length(Tx)-1))/Nifft*T;

figure ()
%plot(t, real(OprIFFT_2sb), 'b', t, imag(OprIFFT_2sb), 'r')
plot(t, abs(Tx).^2,'LineWidth',1.5)
title('Transmitted Signal 1 Simbol OFDM dengan 2 Kode Golay dan 2 Subband')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Magnitude')

```

```

% Pemodelan jarak target %
Tdelay = 2*(R/c);
Tsampling = Ttotal/Nifft;
NTdelay = round(Tdelay/Tsampling); %utk menyatakan delay dalam jml sample
%Rx = [zeros(1,NTdelay),Tx, zeros(1,Nifft-NTdelay)]; %bangkitkan bit 0 sbyk
NTdelay
% xdelay = Rx(1:length(Tx));
% Tardelay=[Rx];

% Pemodelan kecepatan target %
%t2 = T*((0:length(Rx)-1)./(Nifft));
%fd = 2*Vr/lambda; %cek rumus fd vs kecepatan target
% Doppler %
%tardoppler = Rx.*exp(1j*2*pi*t2*(fd));
%Chdat = tardoppler;

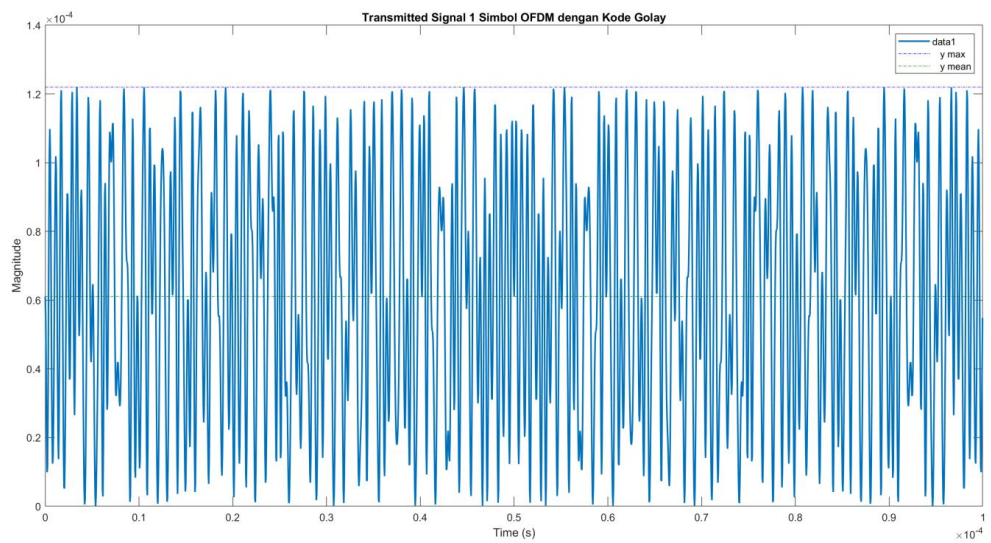
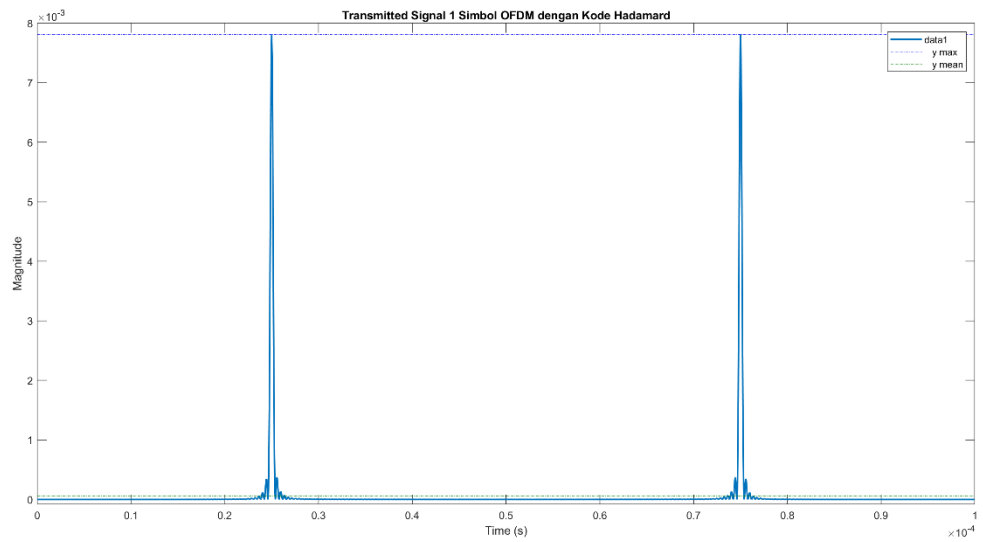
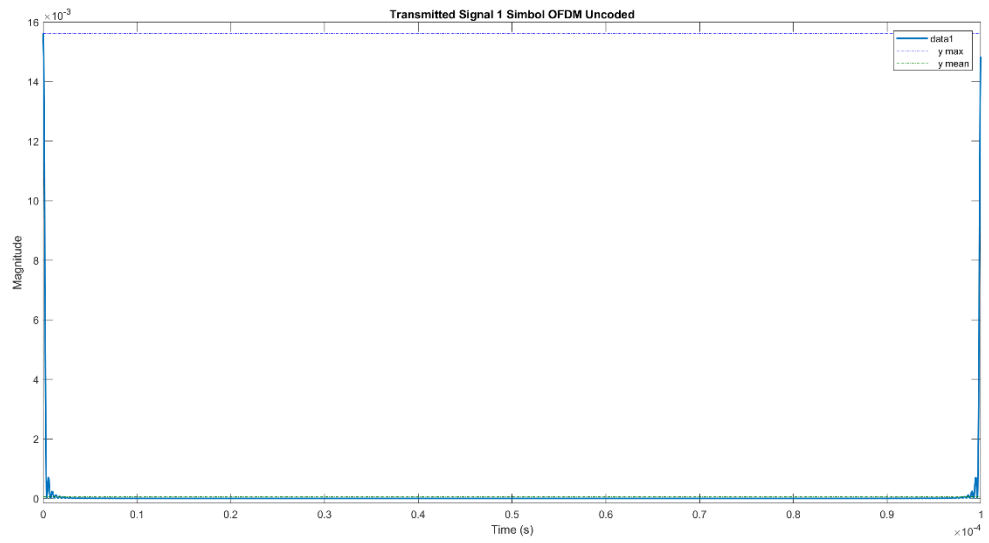
%Receiver%
%y=xcorr(Rx, Tx);

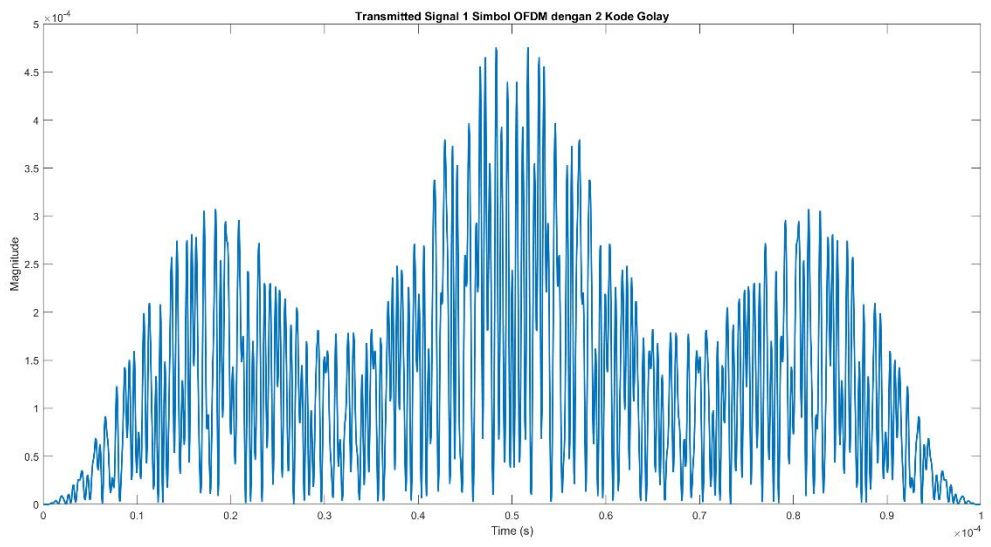
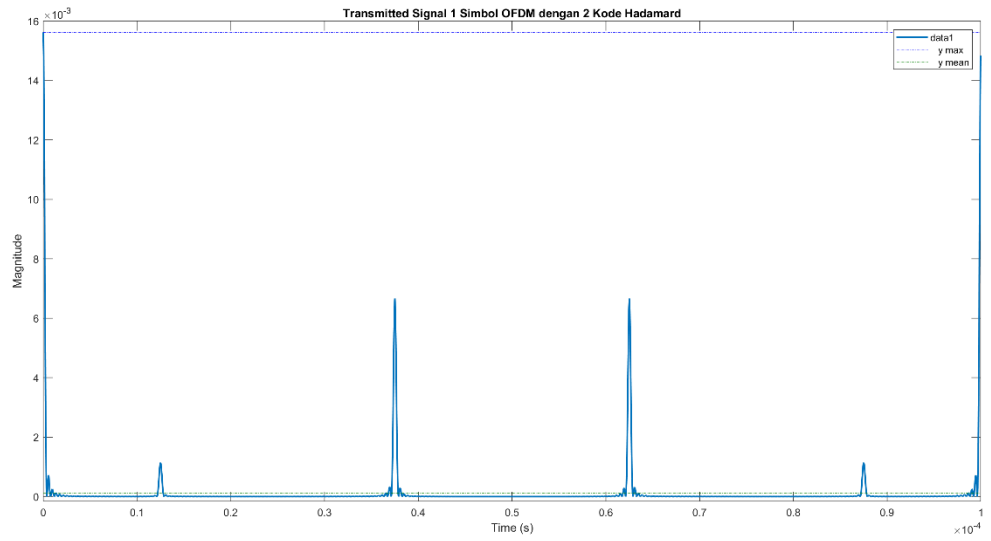
%figure ()
%t3 = [-2*Nc+1:2*Nc-1].*To/Nc;
%plot (t3, y)
%title('Korelasi Sinyal Transmitter dengan Receiver dengan Kode Golay')
% save data1_had.mat 'PAPR2signal'
save data1_Go2sb.mat 'PAPR_2sb'

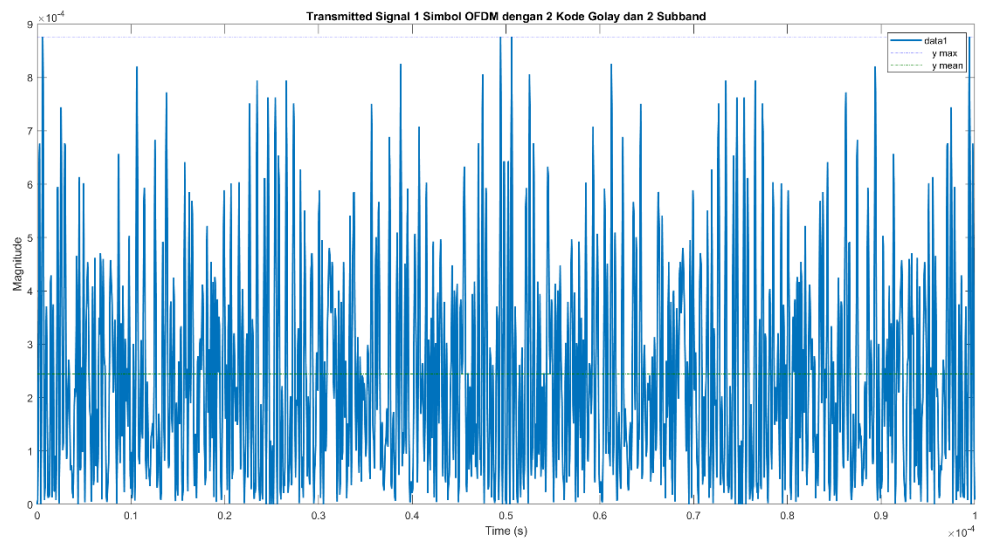
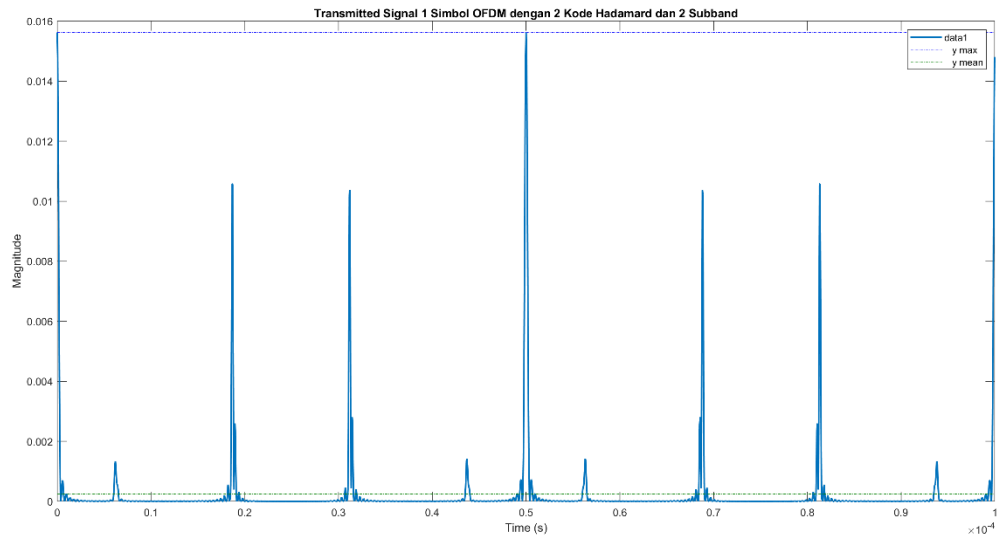
clear all;close all;
load data1_Go2sb.mat 'PAPR_2sb'
PAPR2signal = PAPR_2sb;
papr_golay = reshape(PAPR_2sb,1,[]);
papr_golay_1 = sort(papr_golay,'descend');
load data1_Had2sb.mat 'PAPR_2sb'
papr_hadamard = reshape(PAPR_2sb,1,[]);
papr_hadamard_1 = sort(papr_hadamard,'descend');
figure;
plot(papr_golay_1,(0:length(papr_golay_1)-
1)./length(papr_golay_1.*100),'LineWidth',2);
title ('CCDF')
xlabel('P A P R (dB)');
ylabel('Probability (PAPR \geq abscissa)')
hold on;
plot(papr_hadamard_1,(0:length(papr_golay_1)-
1)./length(papr_hadamard_1.*100),'LineWidth',2);
grid on;
legend('Golay', 'Hadamard')

```

C. Hasil dari Program Matlab







(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Alif Yudha Prasetya lahir di Bengkulu pada 15 Oktober 1999, yang mana merupakan salah satu mahasiswa Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Departemen Teknik Elektro Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis pernah menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDIT IQRA' 1 Kota Bengkulu, SMPIT IQRA' Bengkulu , dan SMA Islam Al-Azhar Pusat 1 Jakarta. Penulis berminat untuk terus belajar mengenai telekomunikasi khususnya dibidang jaringan telekomunikasi. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail alifyudhaprasetya@gmail.com