



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

***ANALISA PERFORMANSI MULTIUSER MIMO OFDM ZERO FORCING BEAMFORMING***

Isky Fihafny Asdira  
NRP. 07111645000003

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Puji Handayani, MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**ANALISA PERFORMANSI *MULTIUSER MIMO OFDM*  
*ZERO FORCING BEAMFORMING***

Isky Fihafny Asdira  
NRP 07111645000003

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



***FINAL PROJECT - EE 184801***

***PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIUSER MIMO  
OFDM ZERO FORCING BEAMFORMING***

Isky Fihafny Asdira  
NRP 07111645000003

Advisor  
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

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

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## **PERNYATAAN KEASLIAN**

### **TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**Analisa Performansi *Multiusers* MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Januari 2019

**Isky Fihafny Asdira**  
NRP. 0711164500003

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

**ANALISA PERFORMANSI MULTITUSER MIMO OFDM  
ZERO FORCING BEAMFORMING**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Teknik Telekomunikasi

Departemen Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing ,



Dr. Ir. Puji Handayani, MT.:

NIP. 196605101992032002





# **ANALISA PERFORMANSI *MULTIUSER MIMO OFDM ZERO FORCING BEAMFORMING***

**Nama Mahasiswa** : Isky Fihafny Asdira  
**NRP** : 07111645000003  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

## **ABSTRAK**

*Zero Forcing Beamforming* merupakan salah satu metode *precoding* yang dapat diterapkan pada *Multiuser MIMO OFDM*. Sistem *precoding* ini merupakan teknik untuk menghilangkan interferensi yang terjadi antar pengguna (*user*) sehingga data yang diterima *user* tidak tercampur dengan data *user* lain.

*Multiuser MIMO OFDM* merupakan teknik yang dikembangkan dari *MIMO*. Pada *Multiuser MIMO OFDM* diterapkan penggunaan beberapa jumlah pengguna (*user*) yang akan dilayani oleh sejumlah antena di pemancar. *User* yang dilayani merupakan *user* dengan antena tunggal. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa performansi untuk metode *Zero Forcing Beamforming* dan *MMSE (Minimum Mean Square Error)* sebagai pembandingnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai BER terbaik untuk metode *Zero Forcing Beamforming* adalah saat *user* yang aktif berjumlah dua *user* yaitu 0.000201 pada SNR 20 dB. Sama halnya dengan ZF, pada metode *MMSE* nilai BER terbaik adalah saat *user* yang aktif berjumlah dua *user* yaitu  $2.0100 \times 10^{-5}$  pada SNR 20 dB. Dari data tersebut, dapat terlihat bahwa metode *MMSE* lebih baik jika dibandingkan dengan metode ZF karena memiliki nilai BER yang lebih kecil pada saat SNR yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja *Multiuser MIMO OFDM* dengan metode *MMSE* lebih baik dibandingkan dengan metode ZF.

**Kata kunci:** *Zero Forcing Beamforming, Multiuser MIMO OFDM, Precoding, MMSE*

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

# PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTIUSER MIMO OFDM ZERO FORCING BEAMFORMING

Nama Mahasiswa : Isky Fihafny Asdira  
NRP : 0711164500003  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

## ABSTRACT

*Zero Forcing Beamforming is one of the precoding methods that can be applied on Multiuser MIMO OFDM. Precoding system is a technique to remove an interference that occur inter-user so that the data which received by a user is not mixed with data for another user.*

*Multiuser MIMO OFDM is developed technique from MIMO. On the Multiuser MIMO OFDM system there are several users which served by several transmit antennas on the transmitter. User that served by transmitter using single antenna. This final project will analyze the performance for Zero Forcing Beamforming compared to Minimum Mean Square Error (MMSE). Simulation result shows that the best BER achieve by Zero Forcing Beamforming method for two active users with 20 dB SNR is 0.000201. Same as ZF method, the best BER achieved by MMSE is when the active users are two with 20 dB SNR which is  $2.0100 \times 10^{-5}$ . Based on the data above, we can see that MMSE method is better than ZF method because it has smaller BER value at the same SNR. This shows that performance of Multiuser MIMO OFDM which use MMSE method is better than using ZF method.*

**Keyword:** *Zero Forcing Beamforming, Multiuser MIMO OFDM, Precoding, MMSE*

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul: “Analisa Performansi *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming*”. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yang telah dan selalu memberikan dukungan dan doa yang menjadi semangat utama saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Ibu Puji Handayani selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan membagikan ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
3. Dosen dan Teman-teman dari bidang studi Telekomunikasi Multimedia mulai B301 hingga B306 yang telah memberikan banyak wawasan dan *sharing* ilmu hingga saya dapat memahami mata kuliah sampai kelulusan

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, 24 Januari 2019

Isky Fihafny Asdira

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Relevansi.....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Komunikasi Digital .....	5
2.2 Macam-Macam Sistem Komunikasi .....	6
2.2.1 SISO ( <i>Single Input Single Output</i> ).....	7
2.2.2 SIMO ( <i>Single Input Multiple Output</i> ).....	8
2.2.3 MISO ( <i>Multiple Input Single Output</i> ).....	9
2.2.4 MIMO ( <i>Multiple Input Multiple Output</i> ) .....	11
2.2.5 MIMO-OFDM .....	12
2.2.6 MU-MIMO ( <i>Multiuser MIMO</i> ).....	14

2.3	<i>Precoding</i> .....	16
2.3.1	<i>Zero Forcing Beamforming</i> .....	16
2.3.2	MMSE-BF ( <i>Minimum Mean Square Error Beamforming</i> ).....	18
2.4	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i> .....	18
2.5	Modulasi .....	20
2.5.1	Jenis Modulasi .....	21
2.5.2	Jenis-Jenis Modulasi Digital .....	21
2.6	<i>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)</i> .....	21
2.7	<i>Noise</i> .....	24
2.8	Kanal.....	24
2.9	<i>Bit Error Rate (BER)</i> .....	25
BAB III PERANCANGAN SISTEM .....		27
3.1	Perancangan Sistem .....	27
3.2	Tahapan Simulasi.....	29
3.2.1	Membangkitkan Bit Informasi Secara acak .....	30
3.2.2	Modulasi QPSK.....	31
3.2.3	Konversi Serial ke Paralel.....	31
3.2.4	IFFT ( <i>Inverse Fast Fourier Transform</i> ) dan Penambahan CP...	32
3.2.5	Konversi Paralel ke Serial.....	33
3.2.6	Pembangkitan Kanal .....	33
3.2.7	<i>Zero Forcing Beamforming</i> .....	35
3.2.8	Pembangkitan <i>Noise</i> .....	38
3.2.9	Data yang Diterima oleh <i>User</i> .....	39
3.2.10	Konversi Serial ke Paralel.....	39
3.2.11	Penghapusan CP dan Proses FFT .....	39
3.2.12	Konversi Paralel ke Serial.....	40



3.2.13 Demodulasi QPSK .....	40
3.3 Perhitungan <i>Bit Error Rate</i> (BER).....	41
BAB IV HASIL DAN ANALISA .....	43
4.1 Hasil Simulasi <i>Multiuser</i> MIMO OFM <i>Zero Forcing Beamforming</i> .....	43
4.2 Hasil Simulasi <i>Multiuser</i> MIMO OFDM MMSE <i>Beamforming</i> ...	49
4.3 Perbandingan <i>Zero Forcing Beamforming</i> dan MMSE <i>Beamforming</i> .....	54
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN.....	67
RIWAYAT PENULIS .....	79

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram Tipe Sistem Komunikasi Digital[5].....	6
Gambar 2.2 Macam-Macam Sistem Komunikasi[6].....	7
Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem SISO[7].....	7
Gambar 2.4 Blok Diagram Sistem SIMO[7].....	8
Gambar 2.5 Blok Diagram Sistem MISO[7].....	10
Gambar 2.6 Blok Diagram Sistem MIMO[7].....	11
Gambar 2.7 Blok Diagram Sistem MIMO-OFDM dengan 2 antena[11] .....	13
Gambar 2.8 Sistem Komunikasi <i>Multiuser</i> MIMO ; $K=4$ [13].....	14
Gambar 2.9 Blok Diagram MU-MIMO <i>single antenna per user</i> .....	15
Gambar 2.10 Ilustrasi Beamforming pada MU-MIMO[16].....	17
Gambar 2.11 <i>Outline</i> dari skema transmisi OFDM[13].....	19
Gambar 2.11 Blok Diagram OFDM[13].....	20
Gambar 2.12 Diagram Konstelasi QPSK [20].....	23
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....	27
Gambar 3.2 Blok Diagram Simulasi MU-MIMO OFDM <i>Zero Forcing</i> <i>Beamforming</i> pada sisi <i>Transmitter</i> untuk $user=2$ .....	28
Gambar 3.3 Blok Diagram Simulasi MU-MIMO OFDM <i>Zero Forcing</i> <i>Beamforming</i> pada sisi <i>Receiver</i> untuk $user=2$ .....	29
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Pembangkitan Bit Input.....	30
Gambar 3.5 Pembagian data Inphase dan Quadrature.....	31
Gambar 3.6 Konversi Serial ke Paralel Data Modulasi QPSK.....	32
Gambar 3.7 Hasil Proses IFFT.....	32
Gambar 3.8 Hasil Penambahan CP.....	33
Gambar 3.9 Proses Konversi Paralel ke Serial Data IFFT.....	33
Gambar 3.10 <i>Flowchart</i> Pembangkitan Kanal.....	34
Gambar 3.11 Pembagian Bobot pada <i>Zero Forcing</i> .....	35
Gambar 3.12 Ilustrasi <i>Zero Forcing</i> Beamforming[16].....	36
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> Proses <i>Zero Forcing Beamforming</i> .....	36
Gambar 3.14 Nilai bobot ( $W$ ).....	38
Gambar 3.15 <i>Flowchart</i> Pembangkitan <i>Noise</i> Acak.....	38
Gambar 3.16 <i>Flowchart</i> Konversi Serial ke Paralel.....	39
Gambar 3.17 Hasil Proses Penghapusan Nilai CP.....	40
Gambar 3.18 Hasil Konversi Paralel ke Serial Data Hasil FFT.....	40

Gambar 3.19 Data Inphase dan Quadrature .....	41
Gambar 3.20 Data Serial Demodulasi QPSK .....	41
Gambar 4.1 BER vs SNR MU-MIMO ZF 2 <i>user</i> .....	43
Gambar 4.2 BER vs SNR MU-MIMO ZF 4 <i>USER</i> .....	44
Gambar 4.3 BER vs SNR MU-MIMO ZF 8 <i>USER</i> .....	45
Gambar 4.4 BER vs SNR MIMO 2x2 ZF.....	46
Gambar 4.5 BER vs SNR <i>Zero Forcing Beamforming</i> .....	47
Gambar 4.6 Perbandingan ZF dan Tanpa ZF.....	49
Gambar 4.7 BER vs SNR MU-MIMO MMSE 2 <i>user</i> .....	50
Gambar 4.8 BER vs SNR MU-MIMO MMSE 4 <i>user</i> .....	51
Gambar 4.9 BER vs SNR MU-MIMO MMSE 8 <i>user</i> .....	52
Gambar 4.10 BER vs SNR MIMO 2x2 MMSE.....	53
Gambar 4.11 BER vs SNR MMSE <i>Beamforming</i> .....	54
Gambar 4.12 BER vs SNR ZF dan MMSE saat <i>user</i> =2 .....	55
Gambar 4.13 BER vs SNR ZF dan MMSE saat <i>user</i> =4 .....	56
Gambar 4.14 BER vs SNR ZF dan MMSE saat <i>user</i> =8 .....	57
Gambar 4.15 BER vs SNR ZF dan MMSE MIMO 2x2 .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemetaan Simbol QPSK[20].....	22
Tabel 4.1 Perbandingan BER MU-MIMO ZF 2 user dan BER Teori	44
Tabel 4.2 Perbandingan BER MU-MIMO ZF 4 user dan BER Teori	45
Tabel 4.3 Perbandingan BER MU-MIMO ZF 8 user dan BER Teori	46
Tabel 4.4 Perbandingan BER MIMO 2x2 ZF dan BER Teori .....	47
Tabel 4.5 Perbandingan BER Zero Forcing Beamforming .....	48
Tabel 4.6 Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 2 user dan BER Teori.....	49
Tabel 4.7 Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 4 user dan BER Teori.....	50
Tabel 4.8 Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 8 user dan BER Teori.....	51
Tabel 4.9 Perbandingan BER MIMO 2x2 MMSE dan BER Teori .....	53
Tabel 4.10 Perbandingan BER MMSE Beamforming.....	54
Tabel 4.11 Perbandingan BER ZF vs MMSE saat user =2 .....	56
Tabel 4.12 Perbandingan BER ZF vs MMSE saat user =4 .....	57
Tabel 4.13 Perbandingan BER ZF vs MMSE saat user =8 .....	58
Tabel 4.14 Perbandingan BER ZF vs MMSE MISO .....	59

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi *wireless* semakin berkembang pesat dan sudah menjadi kebutuhan *user* dalam hal ini manusia untuk berkomunikasi. Baik melalui suara (*voice*), gambar, video maupun data. Pada mula munculnya teknologi *wireless* generasi pertama, teknologi ini hanya berupa analog sehingga hanya dapat digunakan untuk komunikasi melalui suara saja. Kemudian berkembang dan muncul teknologi *wireless* generasi kedua yang sudah menggunakan digital, sehingga dapat digunakan untuk komunikasi suara dan juga pesan singkat (SMS). Generasi ketiga (3G) muncul dengan membawa perubahan yang cukup besar yaitu dengan kecepatan yang tinggi dan mempunyai *bandwidth* yang lebar sehingga *user* dapat berkomunikasi melalui data. Karena kebutuhan akan internet semakin tinggi, maka muncul generasi keempat (4G). Teknologi 4G menggunakan sistem berbasis MIMO. MIMO merupakan suatu sistem yang menggunakan multi antena disisi penerima maupun disisi pengirim yang dapat meningkatkan kapasitas kanal sehingga kecepatan data maupun kualitas layanan meningkat [1].

Dikarenakan adanya tuntutan peningkatan *data rate* dan kualitas layanan pada sistem komunikasi *wireless* maka muncul teknologi baru generasi kelima yaitu 5G yang menggunakan teknologi *Massive MIMO*. Dengan menawarkan hasil efisiensi spektrum yang lebih tinggi serta efisiensi energi, teknologi ini sudah banyak diteliti[2]. Namun karena terkendala kesulitan dalam memodelkan kanal yang akan digunakan dan juga tidak menemukan metode *beamforming* yang sesuai, maka pengajuan proposal yang sebelumnya membahas mengenai *Massive MIMO* diganti dengan *Multiuser MIMO*.

Teknologi MIMO juga mengalami perkembangan. Ada beberapa teknologi yang dikembangkan tetapi masih berdasarkan konsep MIMO. Salah satu teknologi tersebut yaitu teknologi *Multiuser MIMO* atau lebih sering ditulis MU-MIMO. *Multiuser MIMO* menawarkan keuntungan yang besar jika dibandingkan dengan *point to point MIMO* yang konvensional. Keuntungannya adalah teknologi ini dapat bekerja dengan menggunakan *single* antena pada sisi terminal (*user*) yang harganya murah, tidak memerlukan lingkungan dengan *scattering* yang banyak, dan dapat menghemat alokasi sumber daya karena setiap terminal (*user*)

yang sedang aktif dapat menggunakan semua frekuensi dan waktu yang disediakan[3].

Salah satu proses utama dalam teknologi MIMO yaitu metode pemrosesan sinyal yang terjadi pada sisi terminal. Karena *Multiuser* MIMO juga memanfaatkan teknologi MIMO maka diperlukan metode yang dapat digunakan untuk menseleksi *user* yang akan digunakan pada penerima. Oleh karena itu, metode yang digunakan yaitu *Zero Forcing Beamforming*. Dengan menggunakan metode ini, sinyal informasi yang akan dikirimkan dari *base station* ke masing-masing terminal (*user*) dapat diterima oleh masing-masing terminal tanpa terjadinya pencampuran sinyal informasi. Karena terdapat *precoding* yang bertujuan untuk memisahkan sinyal informasi untuk masing-masing *user*. [4]

Perancangan sistem dan simulasi untuk *Multiuser* MIMO dengan menggunakan metode *Zero Forcing Beamforming* ini akan menggunakan *software* Matlab. Sistem komunikasi ini nantinya akan dianalisa kinerja sistemnya berdasarkan *bit error rate* (BER) dengan perbedaan jumlah *user* pada sisi penerima.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh peningkatan jumlah *user* terhadap kinerja sistem yang diukur berdasarkan *bit error rate*?
2. Bagaimana perbandingan *bit error rate* *Multiuser* MIMO *Zero forcing Beamforming* dengan MMSE?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui kinerja sistem yang diukur berdasarkan *bit error rate* ketika menggunakan metode *Zero Forcing Beamforming*
2. Mengetahui pengaruh peningkatan jumlah *user* terhadap kinerja sistem yang diukur berdasarkan *bit error rate*

## 1.4 Batasan Masalah

1. Performansi diukur dan dianalisa dengan simulasi menggunakan Matlab
2. *User* yang digunakan dalam simulasi menggunakan *single* antena. Jumlah *user* yang akan dianalisa yaitu saat 2 *user*, 4 *user*, dan 8 *user*.
3. Menggunakan modulasi OFDM dengan konstelasi QPSK



4. Jumlah data yang digunakan untuk simulasi sejumlah 1000000 bit data
5. Menggunakan metode *Zero Forcing Beamforming* sebagai *precodingnya*
6. Jumlah antena di *Base Station* sebanyak 8 antena

## 1.5 Metodologi

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mengumpulkan literatur berupa jurnal baik nasional maupun internasional. Literatur yang dipilih adalah yang berkaitan tentang *Multiuser MIMO*, *Zero Forcing Beamforming*, OFDM, serta model kanal untuk *Multiuser MIMO*

### 2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem komunikasi *Multiuser MIMO* dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan. Parameter tersebut yaitu jumlah antena yang digunakan dalam *base station* (BS), jumlah *user* atau terminal yang akan digunakan, jenis modulasi yang akan digunakan, konstelasi yang akan digunakan, jumlah data yang akan digunakan, model kanal serta metode *precoding*

### 3. Simulasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan simulasi dari sistem yang telah dirancang. Proses simulasi dimulai dengan mensimulasikan pengiriman bit di sisi *base station* (pemancar), kemudian dilewatkan kanal, mensimulasikan metode *precoding* yaitu *Zero Forcing Beamforming*, dan yang terakhir diterima di sisi *user* (penerima) Parameter yang akan dievaluasi adalah *bit error rate* dari metode yang digunakan.

### 4. Analisis Data

Data yang sudah didapatkan, akan disajikan dalam bentuk grafik. Pengujian dengan mengganti parameter pada simulasi bisa saja dilakukan apabila diperlukan untuk membandingkan data.

### 5. Penulisan Buku TA.

Hasil penelitian yang telah dilakukan akan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan berisi latar belakang penelitian, dasar teori yang digunakan, hingga hasil penelitian serta saran untuk penelitian terkait.

## 1.6 Relevansi

*Multiuser MIMO Zero Forcing Beamforming* diharapkan mampu meningkatkan kualitas komunikasi *wireless* dengan menerapkan beberapa *user* yang dilayani sekaligus dan mengurangi interferensi yang terjadi antar masing-masing pengguna.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini akan diruntut dalam 5 bab pembahasan sebagai berikut .:

- BAB I : PENDAHULUAN  
Pada bab ini dibahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah yang diangkat, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi
- BAB II : TEORI PENUNJANG  
Bab ini membahas tentang teori-teori penunjang Tugas Akhir yang dijelaskan secara singkat.
- BAB III : PERANCANGAN SISTEM  
Pada bab ini dijelaskan tentang rancangan sistem *Multiuser MIMO* dengan menggunakan *software Matlab*.
- BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA  
Bab ini menjelaskan hasil dari simulasi berupa grafik performansi *bit error rate* dan analisisnya.
- BAB V : PENUTUP  
Bab ini memaparkan kesimpulan hasil dari analisa simulasi, serta saran untuk penelitian terkait.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

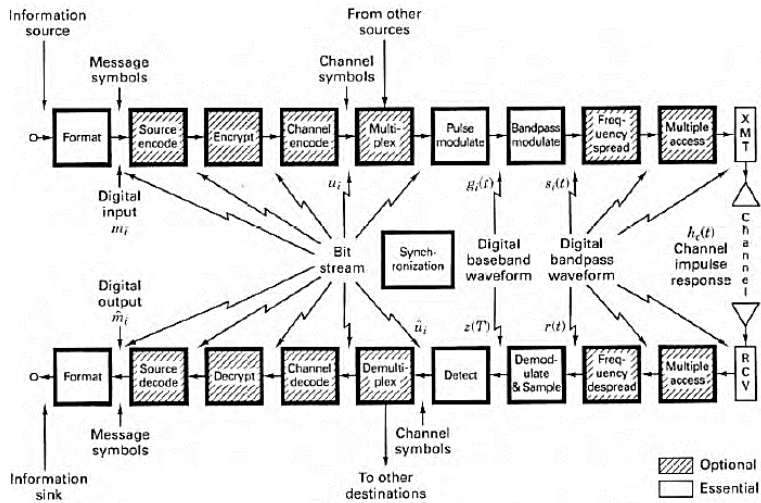
Pada bab ini akan mengenai teori-teori penunjang yang menjadi acuan dalam penyusunan tugas akhir ini. Teori-teori tersebut akan dijelaskan pada subbab-subbab di bawah ini.

### 2.1 Sistem Komunikasi Digital

Sistem komunikasi digital adalah sebuah sistem komunikasi dengan menggunakan sinyal digital. Sinyal digital merupakan sinyal yang berbentuk pulsa dan mempunyai besaran 0 dan 1. Karena hanya mempunyai dua keadaan yaitu 0 dan 1 maka sinyal digital tidak mudah terpengaruh oleh *noise*. Sehingga keutuhan data pada saat proses transmisi berlangsung terjamin.

Ada banyak keuntungan penting yang lain dari penggunaan sistem komunikasi digital. Sirkuit digital lebih dapat diandalkan dan dapat diproduksi dengan harga yang murah dibandingkan dengan sirkuit analog. Dan juga, perangkat keras (*hardware*) digital cocok untuk implemetasi yang lebih fleksibel dibandingkan dengan perangkat analog. Contohnya seperti *microprocessor*, *digital switching*, dan *large-scale integrated* (LSI). Untuk menggabungkan sinyal digital digunakan *time division multiplexing* (TDM), teknik ini lebih sederhana dibandingkan dengan teknik menggabungkan sinyal analog yang menggunakan teknik *frequency division multiplexing* (FDM). Perbedaan tipe dari sinyal digital (seperti data, telegraf, telepon, dan televisi) dapat diperlakukan sebagai sinyal identik dalam proses transmisi dan *switching*. Ini dikarenakan dalam sistem digital, sinyal yang dikirim berupa bit-bit. Dan juga, untuk kemudahan dalam proses *switching*, pesan digital dapat ditangani dengan grup yang disebut dengan paket. [5]

Gambar 2.1 merupakan ilustrasi dari aliran sinyal dan pemrosesan sinyal pada sistem komunikasi digital (DCS). Pada deretan blok yang atas terdapat blok *format*, *source encode*, *encrypt*, *channel encode*, *multiplex*, *pulse modulate*, *bandpass modulate*, *frequency spread*, dan *multiple access* yang menunjukkan perubahan sinyal dari sumber menuju ke transmitter (XMT). Dan pada deretan blok bawah terdapat beberapa blok yang menunjukkan perubahan sinyal dari *receiver* (RCV).



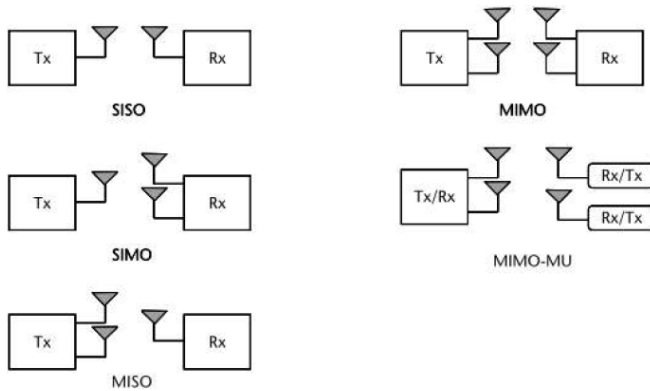
**Gambar 2.1** Blok Diagram Tipe Sistem Komunikasi Digital[5]

## 2.2 Macam-Macam Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi terdiri dari berbagai macam yaitu:

- SISO (Single Input Single Output)
- SIMO (Single Input Multiple Output)
- MISO (Multiple Input Single Output)
- MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- MU-MIMO (Multiuser Multiple Input Multiple Output)

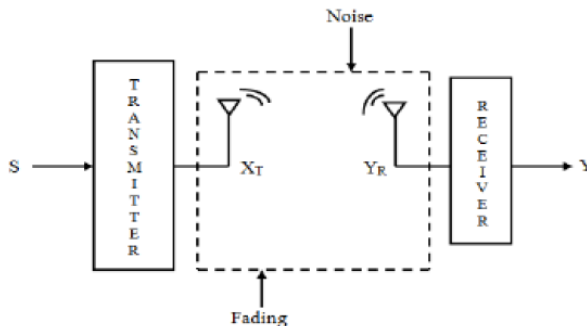
Gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari macam-macam sistem komunikasi. Seperti yang telah dijelaskan diatas, terdapat 5 macam sistem komunikasi. Masing-masing ilustrasi menjelaskan bagaimana penggambaran letak trasnmiter dan receiver serta jumlah antena yang dibutuhkan.



**Gambar 2.2** Macam-Macam Sistem Komunikasi[6]

### 2.2.1 SISO (Single Input Single Output)

Pada sistem SISO, hanya terdapat satu proses transmisi pada sisi *transmitter* dan satu antenna penerima pada sisi *receiver*. Hal ini membuat sistem SISO sederhana untuk diimplementasikan dan mudah dalam mendesain sistemnya dibandingkan dengan sistem komunikasi yang lain.



**Gambar 2.3** Blok Diagram Sistem SISO[7]

Dari gambar diatas,  $S$  merupakan *input*,  $Y$  merupakan *output*,  $X_t$  merupakan antenna di transmitter, dan  $Y_r$  merupakan antenna di *receiver*.

Noise akan muncul saat ada sinyal yang di proses dari  $X_t$  ke  $Y_r$ . Kapasitas kanal pada sistem SISO dapat dihitung dengan menggunakan rumus,

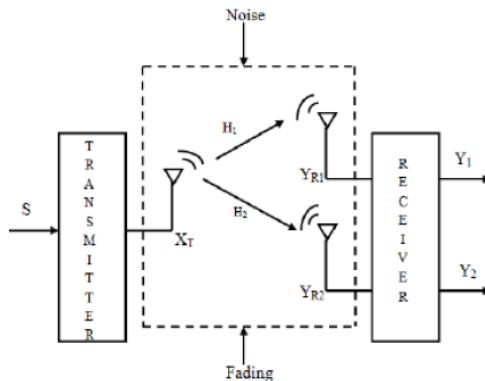
$$C_{SISO} = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.1)$$

Dimana  $C$  adalah kapasitas,  $B$  adalah *bandwidth* dari sinyal,  $S/N$  adalah *signal to noise ratio* atau SNR.

Bandwidth kanal pada sistem SISO dibatasi oleh hukum Shannon yang menyatakan bahwa, tingkat maksimum teoritis di mana digit bebas-kesalahan dapat ditransmisikan melalui saluran *bandwidth* terbatas oleh *noise*. Satu-satunya keuntungan menggunakan sistem SISO adalah desainnya sangat sederhana dan murah sehingga semua jenis sistem lainnya. Sistem SISO telah menemukan aplikasinya di Wi Fi, TV, siaran radio, dan lainnya. [7]

### 2.2.2 SIMO (Single Input Multiple Output)

Pada teknik SIMO, hanya terdapat satu antenna pada sisi transmitter dan banyak antenna penerima pada sisi *receiver*. Hal ini membantu untuk meningkatkan *diversity* yang diterima pada receiver dibandingkan sistem SISO [6]. Pada gambar 2.4, merupakan blok diagram sistem SIMO dimana satu antenna pemancar dan dua antenna penerima pada *receiver*. Jumlah antenna pada sisi penerima bisa lebih dari dua.



**Gambar 2.4** Blok Diagram Sistem SIMO[7]

Dari gambar tersebut, S merupakan *input*, Y1 dan Y2 merupakan dua *output* dari dua antenna penerima, Xt merupakan antenna pemancar, Yr1 dan Yr2 merupakan antenna penerima.

SIMO membantu dalam meningkatkan *diversity* pada antenna penerima karena memberikan *diversity* yang lebih kuat daripada SISO, tetapi tidak ada peningkatan pengamat dalam kapasitas kanal [8]. Kapasitas kanal sistem SISO diberikan sebagai [8]:

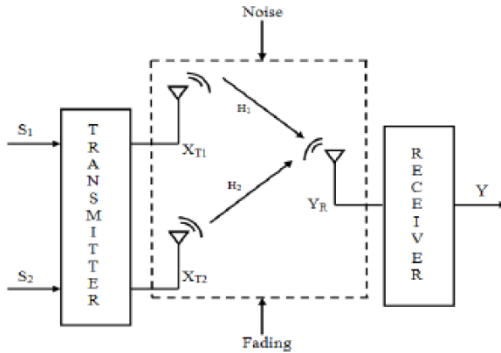
$$C_{SIMO} = M_r B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.2)$$

Dimana, C adalah kapasitas kanal, Mr adalah jumlah antenna yang digunakan pada sisi *receiver*, B adalah *bandwidth* sinyal, dan S/N adalah SNR. Keuntungan SIMO dibanding SISO adalah bahwa ia memberikan peningkatan *diversity* dibandingkan SISO dan karena SIMO ini dapat memberikan analisis BER yang lebih baik daripada SISO. Dalam SIMO, antenna penerima sebagian besar ditempatkan di perangkat seperti ponsel dan karena ini kinerja sistem akan dibatasi beberapa parameter fisik dari ponsel yang digunakan seperti baterai, bentuk dan ukuran, dan lainnya.[6].

### 2.2.3 MISO (*Multiple Input Single Output*)

Pada sistem MISO, terdapat banyak antenna pada sisi transmitter dan hanya ada satu antenna pada sisi *receiver* yang akan menerima sinyal yang dikirim oleh banyak antenna pada sisi transmitter, yang berarti ada berbagai sumber yang tersedia tetapi hanya ada satu tujuan yang tersedia [6]. Gambar 2.5 merupakan blok diagram MISO dengan dua antenna pada sisi transmitter dan satu antenna pada sisi *receiver*. Jumlah antenna pada transmitter dapat lebih dari dua sesuai dengan keperluan analisis.

Dari gambar 2.5, S1 dan S2 merupakan dua input dari dua antenna pemancar, Xt1 dan Xt2 merupakan dua antenna pemancar, Yr merupakan antenna pada penerima, H1 dan H2 merupakan sinyal yang akan dikirim oleh masing-masing antenna pemancar ke Yr, dan Y merupakan output dari antenna penerima.



**Gambar 2.5** Blok Diagram Sistem MISO[7]

Skema antenna ini membantu untuk memulihkan sinyal asli di penerima akhir dengan *pathloss* yang lebih rendah daripada SISO dan SIMO, dan juga efek dari *multipath fading* yang diamati kurang dari dua teknik di atas karena ada dua antenna di ujung transmisi [6]. Karena dua sinyal perlu ditransmisikan kapasitas kanal masih belum meningkat tetapi lebih baik daripada dua lainnya (SISO dan SIMO), kapasitas saluran sistem SISO diberikan sebagai [8],

$$C_{MISO} = M_t B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.3)$$

Dimana, C adalah kapasitas kanal,  $M_t$  adalah jumlah antenna yang digunakan pada transmitter, B adalah *bandwidth* sinyal, dan S/N adalah SNR.

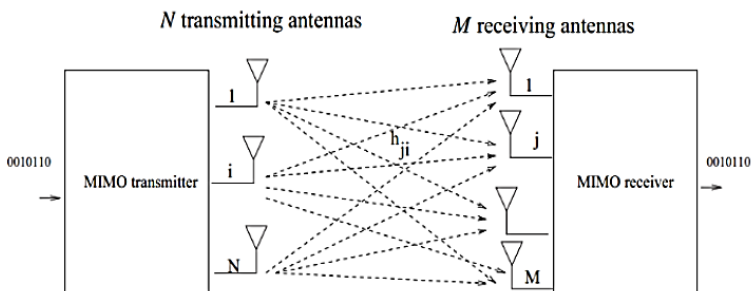
MISO memiliki berbagai macam aplikasi (karena perolehan diversity yang tinggi) seperti W-Lans dan TV Digital. Keuntungan menggunakan MISO adalah jika antenna penerima ditempatkan di ponsel yang dapat menerima beberapa sinyal dengan waktu tunda yang berbeda dan ini dapat sepenuhnya diatasi dengan menggunakan MISO karena hanya ada satu antenna penerima dan oleh karena itu sinyal lengkap akan diterima di penerima, ini karena alasan redundansi pengkodean dipindahkan dari penerima ke pemancar. Juga memiliki dampak dari parameter fisik ponsel seperti pada SIMO [6].



### 2.2.4 MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Pada sistem MIMO, ada banyak antena penerima pada sisi pemancar dan sisi penerima. Dalam MIMO, karena bisa ada beberapa antena pemancar, sinyal dapat ditransmisikan oleh antena apa pun dan oleh karena itu sinyal dapat mengikuti jalur mana pun untuk mencapai ke ujung penerima dan jalur ini diikuti oleh sinyal tergantung pada posisi antena yaitu jika kita memindahkan antena dengan posisi kecil jalur akan mendapatkan perubahan [6]. Memudar diperkenalkan pada sinyal dari beberapa jalur dapat disebut sebagai *multipath fading*.

Pada gambar 2.6, terdapat satu *input* digital yang diberikan pada sisi transmitter MIMO, yang melewati beberapa jalur ke penerima dan pada penerima sinyal yang diterima dari semua antena penerima digabungkan untuk merekonstruksi sinyal asli kembali pada akhir penerimaan. Persyaratan untuk memiliki *throughput* yang lebih baik, peningkatan laju data dan efisiensi spektral yang optimal dapat dicapai dengan menggunakan MIMO [8].



**Gambar 2.6** Blok Diagram Sistem MIMO[7]

Pada sistem MIMO, multiple kanal tersedia, oleh karena itu kanal pada sistem MIMO dapat dituliskan sebagai  $N \times M$ ,

Matriks pada gambar dibawah merupakan matriks kanal  $H$ , dimana  $h_{11}, h_{12}, \dots, h_{MN}$  merupakan variable *gain* kanal antara antena pemancar dan penerima[8]. Jika data rate telah ditingkatkan untuk *user* tunggal menggunakan MIMO maka itu disebut sebagai SU - MIMO (*Single User - MIMO*) sedangkan untuk beberapa pengguna itu adalah MU - MIMO (*Multiple User - MIMO*) [8].

$$\begin{array}{cccc}
 h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1N} \\
 h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2N} \\
 \cdot & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \cdot \\
 h_{M1} & h_{M2} & \cdots & h_{MN}
 \end{array}$$

Sinyal *output* dalam MIMO dalam dituliskan sebagai berikut,

$$\text{output } |y(t)| = \sum_{(j=1)}^N h_{(NM)} S_M(t) \quad (2.4)$$

Dimana  $S_M(t)$  adalah sinyal yang diterima pada antenna ke-M yang ditransmisikan oleh antenna ke-j [8].

Kapasitas kanal pada MIMO dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C_{MIMO} = NMB \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.5)$$

Dimana C adalah kapasitas kanal, N adalah jumlah antenna di sisi penerima, M adalah antenna di sisi penerima, B adalah *bandwidth* sinyal, dan S/N adalah SNR.

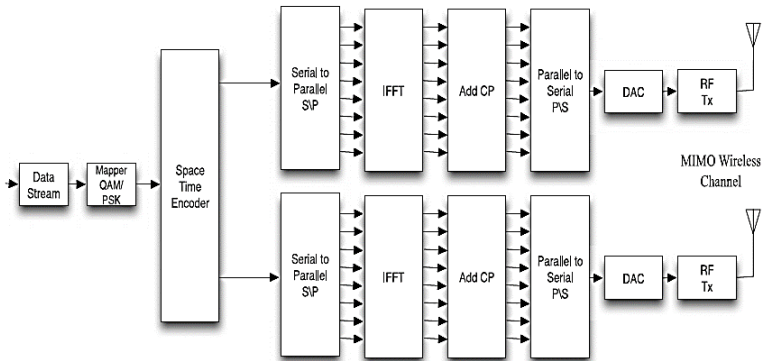
Keuntungan menggunakan MIMO adalah dapat memberikan hasil terbaik bila dibandingkan dengan sistem yang lain, karena MIMO memberikan hasil terbaik dan efisiensi transmisi sinyal dengan menggunakan beberapa antenna baik pada transmisi & penerima akhir.

### 2.2.5 MIMO-OFDM

Modulasi OFDM dapat digunakan untuk mengubah kanal frekuensi selektif menjadi sekumpulan sub kanal frekuensi rata-rata paralel yang memberikan efisiensi spektral yang tinggi dan menghilangkan ISI. elain itu, sistem multicarrier dapat diimplementasikan secara efisien dalam waktu diskrit menggunakan IFFT

untuk bertindak sebagai modulator dan FFT untuk bertindak sebagai demodulator, sehingga tidak terlalu rumit. Karena OFDM memungkinkan sub-carrier spektrum frekuensi untuk *overlap* sebagian sehingga memiliki efisiensi spektrum yang tinggi dan dianggap sebagai teknik modulasi yang efisien [9]. Dalam praktiknya, kebanyakan kanal *wireless* mengalami fading pada frekuensi-selektif, yang membuat implementasi *space-time coding* sangat rumit. Namun, OFDM dapat mengubah saluran frekuensi-selektif menjadi satu set frekuensi paralel subkanal yang dapat mengurangi kerumitan *space-time coding*. Sistem MIMO-OFDM memanfaatkan sepenuhnya karakteristiknya sendiri untuk lebih meningkatkan sistem kinerja total [10].

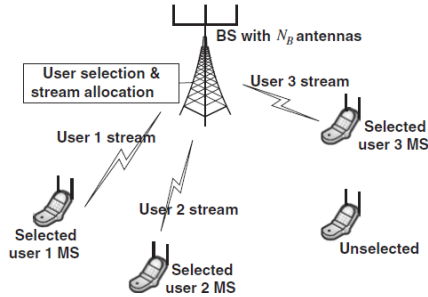
Pada blok pemancar dan penerima terdapat 2 antenna baik pada pemancar maupun penerima sistem MIMO-OFDM ditunjukkan pada gambar 2.7. Pada pemancar, bit stream dipetakan (*mapping*), kemudian dilewatkan melalui encoder *space-time coding* dan kemudian dipetakan (*mapping*) ke simbol yang sesuai dengan dua output. Setiap simbol melewati konverter serial ke paralel (S/P) dan menjadi diubah menjadi data paralel. Setelah itu, IFFT dilakukan, menggunakan modulasi OFDM di masing-masing sub-carrier. Simbol dengan domain waktu diubah lagi dengan konverter paralel ke serial (P/S) dan kemudian *cyclic prefix* (CP) ditambahkan untuk mengurangi atau menghilangkan ISI dan ICI (*inter-carrier interference*). Terakhir, sinyal yang sudah termodulasi ditransmisikan.



**Gambar 2.7** Blok Diagram Sistem MIMO-OFDM dengan 2 antenna[11]

### 2.2.6 MU-MIMO (*Multiuser MIMO*)

*Multiuser Multiple Input Multiple Output* (MU-MIMO) merupakan suatu teknologi dimana komunikasi pada *base station* (BS) menggunakan multiantena dengan multi *user* yang dilakukan secara simultan [12]. Pada gambar 2.8, merupakan ilustrasi komunikasi *multiuser* dimana banyak *mobile station* (*user*) yang dilayani oleh satu *base station*.

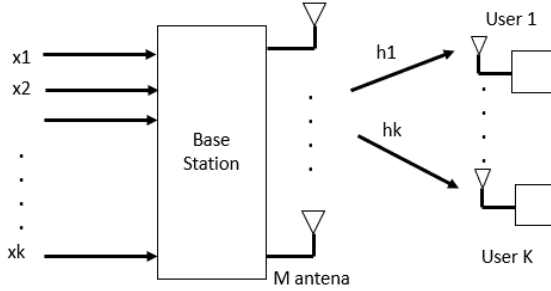


**Gambar 2.8** Sistem Komunikasi *Multiuser MIMO* ;  $K=4$ [13]

Dari gambar tersebut, dapat dijelaskan tiga dari empat *user* dipilih dan mendapat alokasi sumber daya komunikasi seperti waktu, frekuensi dan *spatial stream*. Pada sistem komunikasi *Multiuser MIMO*, dengan penggunaan multi antena, memungkinkan *user* independen untuk mengirim *data stream* di *uplink* pada saat yang sama atau pada *base station* yang sama untuk mengirim *data stream* dari banyak *user* untuk didekodekan oleh setiap pengguna di *downlink*.

*Multiuser MIMO* yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu *Multiuser MIMO* pada kanal *downlink* dengan tiap *user*nya hanya menggunakan satu antena (*single antena*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9.

Berdasarkan dari kanal *downlink MIMO* pada sebuah *single cell* dengan  $M$  antena pemancar pada BS yang melayani  $K$  *user* dengan *single antena*, maka diasumsikan kanal *flat fading* antara BS dan *user* menggunakan kanal  $h_{k,m}$  dimana kanal tersebut merepresentasikan kanal kompleks *gain* dari antena pemancar  $m$  ke *user*  $k$ .



**Gambar 2.9** Blok Diagram MU-MIMO *single antenna per user*

Sehingga, sinyal yang diterima  $y_k$  pada *user k* dapat dituliskan sebagai berikut [14]:

$$y_k = h_k x + n_k \quad (2.6)$$

Dimana,  $k = 1, \dots, K$  merupakan notasi *user* ke  $k$  yang mempunyai jumlah notasi sebanyak  $K$ . Dimana  $K$  adalah jumlah *user* pada sisi penerima,  $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$  merupakan vektor dari sinyal yang ditransmisikan. Sinyal yang ditransmisikan berupa bilangan kompleks dengan ukuran  $M \times 1$ . Dimana  $M$  adalah jumlah antena pemancar pada BS.  $h_k = [h_{k,1}, \dots, h_{k,M}] \in \mathbb{C}^{1 \times M}$ , merupakan vektor kanal dari *user k* yang berupa bilangan kompleks dengan ukuran  $1 \times M$ . Dan  $n_k$  merupakan *white gaussian noise* dengan mean=0 dan varian=1.

Untuk kanal yang akan digunakan oleh semua *user* digunakan kanal  $\mathbf{H}$  berupa entri yang dimodelkan sebagai *independent identically distributed* (i.i.d.) dengan variabel random dari kompleks gaussian dengan mean=0 tetapi *circularly symmetric*. *Circularly symmetric* yaitu antara nilai *real* dan nilai imajineranya sama. Kanal  $\mathbf{H}$  dapat dituliskan sebagai berikut,  $\mathbf{H} = [h_1^H, \dots, h_K^H]^H \in \mathbb{C}^{K \times M}$ . *Base Station* diasumsikan mengetahui semua informasi mengenai Kanal  $\mathbf{H}$ . Batasan daya yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal yaitu  $E\{x^H x\} \leq P$ . Karena *noise* mempunyai varian =1, maka  $P$  adalah total dari *signal-to-noise ratio* (SNR) yang ditransmisikan[15].

Karena dalam sistem MU-MIMO menggunakan *multi user* maka diperlukan untuk mengatur notasi untuk *user* yang dilayani oleh BS. Sehingga dapat dituliskan  $S = \{\pi(1), \dots, \pi(|S|)\}$ , dimana  $\pi(i)$  adalah

notasi untuk *user* pilihan ke  $i$ . Untuk nilai dari  $S$  itu sendiri adalah  $S \subset \{1, \dots, K\}$  dan  $|S| \leq M$ . Vektor sinyal yang ditransmisikan,  $x$ , merupakan kombinasi dari semua *data stream user* yang telah dipilih sehingga dapat dituliskan menjadi [14],

$$x = \sum_{i \in S} w_i \sqrt{p_i} s_i \quad (2.7)$$

Dimana,  $w_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ , merupakan vektor bobot *beamforming* yang berupa bilangan kompleks dengan ukuran  $M \times 1$ ,  $\sqrt{p_i}$  merupakan faktor skala dari daya yang ditransmisikan, dan  $s_i$  merupakan simbol informasi untuk *user* ke  $i$ .

Berdasarkan persamaan diatas, maka sinyal yang diterima,  $y_k$ , oleh user  $k$  dapat ditulis ulang menjadi [14],

$$y_k = (h_k w_k \sqrt{p_k}) s_k + \sum_{i \in S, i \neq k} (h_k w_i \sqrt{p_i}) s_i + n_k \quad (2.8)$$

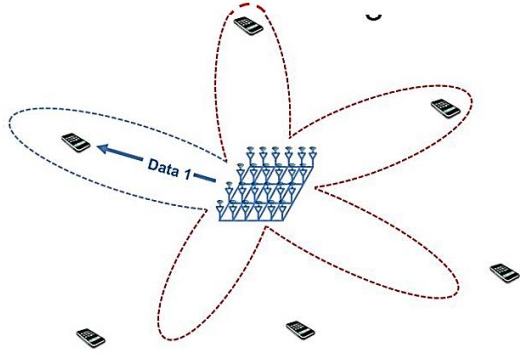
$(h_k w_k \sqrt{p_k}) s_k$  merupakan data yang seharusnya diterima oleh  $y_k$ , sedangkan  $\sum_{i \in S, i \neq k} (h_k w_i \sqrt{p_i}) s_i$  merupakan sinyal interferensi yang harus dihilangkan. Untuk menghilangkan sinyal interferensi tersebut diperlukan metode *precoding*.

## 2.3 Precoding

*Precoding* merupakan generalisasi *beamforming* untuk mendukung transmisi *multi-stream* (atau *multi-layer*) dalam komunikasi nirkabel multi-antena. Untuk sistem MU-MIMO ini *precoding* yang akan digunakan yaitu, *Zero Forcing* dan MMSE.

### 2.3.1 Zero Focing Beamforming

*Zero Forcing* merupakan salah satu teknik *precoding* linier yang banyak digunakan dalam praktik [4]. *Zero Forcing* secara paksa menghilangkan interferensi dari stream yang lain yang mungkin ditujukan untuk user yang sama. *Zero Forcing* dapat diaplikasi pada MU-MIMO maupun MU-MISO [4]. *Zero Forcing Beamforming* merupakan invers dari matriks kanal pada pemancar untuk membuat kanal ortogonal antara BS dan *user*.



**Gambar 2.10** Ilustrasi *Beamforming* pada MU-MIMO[16]

*Zero Forcing Beamforming* mengganti interferensi yang terjadi diantara *user* yang berbeda pada BS. Sehingga[14],

$$h_j w_i = \begin{cases} 1, & j = i \\ 0, & j \neq i \end{cases} \quad (2.9)$$

Matriks ortogonal yang digunakan untuk memilih *user* yaitu  $P_i^\perp$  dapat dituliskan menjadi[14],

$$P_i^\perp = I_M - \mathbf{H}_{S \setminus \{i\}}^H (\mathbf{H}_{S \setminus \{i\}} \mathbf{H}_{S \setminus \{i\}}^H)^{-1} \mathbf{H}_{S \setminus \{i\}} \quad (2.10)$$

Dimana,  $I_M$  merupakan matriks identitas dengan ukuran  $M \times M$  dan  $\mathbf{H}_{S \setminus \{i\}}$  merupakan matriks kanal *row reduced* dari semua *user* yang dipilih kecuali *user*  $i$ . Matriks  $P_i^\perp$  merupakan idempoten matriks hermisian yang memenuhi syarat,  $(P_i^\perp)^2 = P_i^\perp$  dan  $(P_i^\perp)^H = P_i^\perp$ . Dengan memisalkan  $\pi(l) = i$ , maka didapatkan [14]

$$\mathbf{H}_{S \setminus \{i\}} = [h_{\pi(1)}^H, \dots, h_{\pi(l-1)}^H, h_{\pi(l+1)}^H, \dots, h_{\pi(k)}^H] \quad (2.11)$$

*Zero Forcing Beamforming* adalah *precoding* linier yang memaksimalkan *output SNR* dari setiap subjek *stream* dengan batasan bahwa hal tersebut

tidak mengganggu semua *stream* yang lain [11], maka berdasarkan kondisi pada persamaan (2.9), dapat diperoleh nilai bobot yaitu [14]

$$w_i = \left( \frac{h_i P_i^\perp}{h_i P_i^\perp h_i^H} \right)^H = \frac{P_i^\perp h_i^H}{h_i P_i^\perp h_i^H} \quad (2.12)$$

### 2.3.2 MMSE-BF (*Minimum Mean Square Error Beamforming*)

*Minimum Mean Square Error* (MMSE-BF) dapat mencapai *tradeoff* yang baik antara *noise* dan interferensi sehingga cocok untuk digunakan dalam sistem MU-MIMO. MMSE *beamforming* untuk *user* dengan *single* antena dapat dituliskan sebagai berikut [17]:

$$w_{k,n} = \frac{h_{k,n}}{\sigma_{k,n}^2 + h_{k,n}^* h_{k,n}} \quad (2.13)$$

Dimana  $w_{k,n}$  adalah bobot MMSE tiap *user*,  $h_{k,n}$  adalah vektor kanal *gain* untuk *user* ke k,  $\sigma_{k,n}^2$  adalah SNR,  $h_{k,n}^*$  adalah vektor kanal *gain hermitian* untuk *user* ke k.

Kinerja MMSE lebih baik pada saat di SNR rendah sampai SNR menengah. Tetapi pada metode MMSE-BF ini tidak menyediakan kanal paralel sehingga untuk teknik alokasi daya tidak dapat dilakukan secara langsung. Perhitungan kapasitas untuk MMSE-BF dapat dihitung dengan rumus seperti berikut [18] :

$$R_{MMSE-BF} = \frac{1}{N_C} \sum_{n=1}^{N_C} \sum_{k=1}^K \log_2(1 + SINR_{k,n}) \quad (2.14)$$

Dimana  $SINR_{k,n}$  merupakan sinyal interferensi yang ditambah dengan rasio noise untuk usek k pada subcarrier n. Rumus SINR dapat dituliskan seperti berikut [18] :

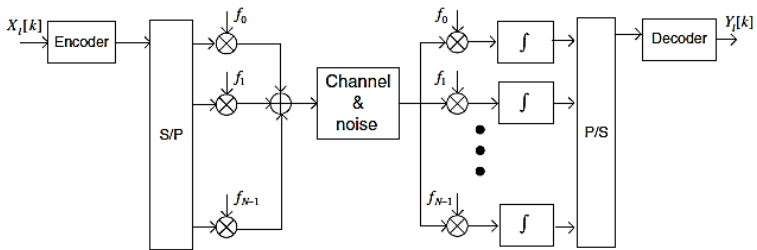
$$SINR_{k,n} = \frac{|h_{k,n} w_{k,n}|^2}{\sum_{j=1, j \neq k}^K |h_{k,n} w_{j,n}|^2 + K \sigma_\eta^2 / P_T} \quad (2.15)$$

## 2.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing *subcarrier* tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio simbol yang rendah.



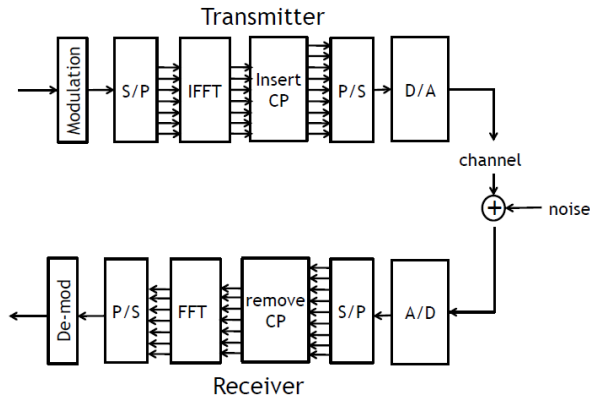
Pada gambar 2.10 menjelaskan mengenai skema proses transmisi dari OFDM. OFDM tidak menggunakan filter *bandwidth* secara individu dan *oscillator* untuk tiap subkanal, spektrum dari *subcarrier*nya saling *overlapped* (tumpang tindih) untuk memperoleh efisiensi *bandwidth*. Sinyal ortogonal dengan multiple *subcarrier* yang tumpang tindih dalam spektrum, dapat dihasilkan dengan menggeneralisasikan single *carrier* berdasarkan kriteria Nyquist ke dalam kriteria *multicarrier*.



**Gambar 2.10** Outline dari skema transmisi OFDM[13]

Data OFDM dihasilkan dengan mengambil simbol pada *spectral space* menggunakan M-PSK, QAM, dan lain-lain. Dari simbol tersebut, data akan diubah dari serial menjadi paralel dan kemudian diubah ke domain waktu dengan menggunakan *Inverse Diskrit Fourier Transform* (IDFT) maupun *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT).

Kemudian, data hasil dari IFFT/IDFT ditambahkan *cyclic prefix* (CP) sehingga jumlah data bertambah. Penambahan CP diletakkan di data paling atas. Jika panjang dari CP lebih lama daripada atau sama dengan *delay* maksimum dari kanal *multipath* maka efek ISI dari simbol OFDM ke simbol berikutnya terbatas sehingga itu mungkin tidak mempengaruhi FFT dari simbol OFDM selanjutnya. Ini menunjukkan bahwa CP yang lebih lama dari *delay* maksimum dari kanal *multipath* memungkinkan untuk mempertahankan ortogonalitas di antara *subcarrier*. Karena keberlangsungan setiap *subcarrier* yang terkena *delay* telah dijamin oleh CP[13].



**Gambar 2.11** Blok Diagram OFDM[13]

Kemudian data diubah kembali ke bentuk serial dan ditransmisikan. Pada sisi *receiver*, data dalam bentuk serial akan diubah kembali ke bentuk paralel dan dilakukan proses penghapusan CP. Kemudian data akan diubah menjadi domain frekuensi kembali dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Setelah proses FFT data akan didemodulasi. Setelah proses demodulasi maka akan didapat data yang sama dengan data yang dikirimkan oleh *transmitter*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.11.

## 2.5 Modulasi

Modulasi adalah proses pencampuran atau penumpangan gelombang sinyal informasi (gelombang yang memodulasi) dengan gelombang pembawa (gelombang yang dimodulasi) sehingga sebagian dari karakteristik gelombang pembawa diubah sesuai dengan nilai sesaat gelombang sinyal.

Gelombang pembawa yang termodulasi, dapat ditransmisikan dari satu tempat ke tempat lain, dan sinyal informasi dapat diambil kembali di sisi penerima. Informasi yang dikirim bisa berupa data analog maupun data digital.

### 2.5.1 Jenis Modulasi

Terdapat dua jenis modulasi dalam sistem komunikasi yaitu modulasi analog dan modulasi digital.

- a. Modulasi Analog, merupakan proses penumpangan sinyal-sinyal analog yang bersifat kontinu pada interval waktu tertentu. Jenis-jenis modulasi analog yaitu *Amplitude Modulation* (AM), *Frequency Modulation* (FM), dan *Phase Modulation* (PM).
- b. Modulasi digital, merupakan proses penumpangan sinyal digital (bit *stream*) ke dalam sinyal *carrier*. Jenis-jenis modulasi digital yaitu *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), dan *Phase Shift Keying* (PSK).

### 2.5.2 Jenis-Jenis Modulasi Digital

Terdapat tiga jenis modulasi digital yaitu :

- a. *Amplitude Shift Keying* (ASK)  
Merupakan proses modulasi sinyal berdasarkan pergeseran amplitudo sinyal. Modulasi ini hanya menguntungkan bila dipakai untuk hubungan jarak dekat saja karena rentan terhadap redaman dan distorsi.
- b. *Frequency Shift Keying* (FSK)  
Merupakan proses modulasi sinyal dengan memanfaatkan pergeseran frekuensi. Umumnya modulasi ini digunakan untuk komunikasi data dengan bit rate yang relatif rendah.
- c. *Phase Shift Keying* (PSK)  
Merupakan proses modulasi sinyal dengan memanfaatkan pergeseran fasa. Modulasi ini biasa digunakan untuk transmisi data dengan kecepatan tinggi karena lebih efisien.

## 2.6 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

*Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) merupakan salah satu jenis dari modulasi digital *Phase Shift Keying* (PSK). QPSK adalah teknik pengkodean M-ary dimana  $M=4$  (karenanya dinamakan “Quaternary“ yang berarti 4). M-ary adalah suatu bentuk turunan dari *binary*. M berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. QPSK merupakan sinyal dua-dimensi, bukan karena mengirim dua bit per simbol tetapi karena menggunakan dua sinyal yang independen (sin dan cos) untuk membentuk simbol tersebut [19]. Pemetaan simbol QPSK diperlihatkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Pemetaan Simbol QPSK[20]

Simbol	Bit	Fase	I	Q
S1	11	45	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
S2	01	135	$-1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
S3	00	225	$-1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$
S4	10	315	$1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$

Definisi empat simbol dalam modulasi QPSK S1, S2, S3 dan S4 dapat ditulis dalam bentuk sinus atau cosinus sebagai berikut[20]:

$$S1 = \sqrt{\frac{2E_S}{T}} \cos(\omega t + \pi/4) \quad (2.16)$$

$$S2 = \sqrt{\frac{2E_S}{T}} \sin(\omega t + 3\pi/4) \quad (2.17)$$

$$S3 = \sqrt{\frac{2E_S}{T}} \cos(\omega t + 3\pi/4) \quad (2.18)$$

$$S4 = \sqrt{\frac{2E_S}{T}} \sin(\omega t + \pi/4) \quad (2.19)$$

Persamaan-persamaan tersebut dapat diuraikan lebih lanjut menghitung amplitude kanal I dan Q. Sebagai contoh untuk simbol S1. Menggunakan persamaan trigonometri [20] :

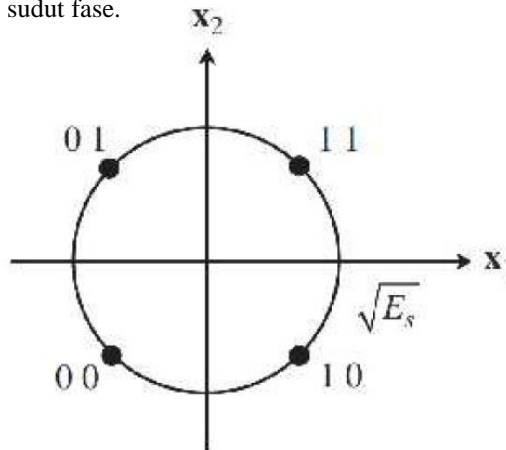
$$\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y \quad (2.20)$$

Substitusi persamaan (2.18) pada persamaan (2.14) maka akan didapat:

$$\sqrt{\frac{2E_S}{T}} (\cos \omega t + \pi/4 - \sin \omega t + \pi/4) = \sqrt{\frac{E_S}{T}} (\cos t - \sin t) \quad (2.21)$$

Dapat terlihat bahwa sinyal *carrier* yang mewakili simbol khusus dapat dihasilkan dari gelombang sinus dan cosinus dengan amplitude tertentu. Hal ini dapat dimungkinkan dengan implementasi perangkat keras. Kanal *in-phase* yang ditunjukkan oleh vektor  $x_1$  dilambangkan dengan kanal-I dan kanal *quadrature* yang ditunjukkan oleh vektor  $x_2$  dilambangkan dengan kanal-Q. Simbol masukan bit pada nilai I dan Q disusun berdasarkan *gray coding* dimana simbol yang berdekatan hanya berbeda

satu bit. Konstelasi merupakan plot dari amplitude kanal I terhadap amplitude kanal Q yang disampling pada *symbol rate*. Jika *symbol rate* adalah 0,1 detik maka sinyal pada domain waktu akan disampling setiap 0,1 detik dan kemudian nilai I dan Q akan di-plot. Diagram konstelasi QPSK diperlihatkan pada Gambar 2.12 yang dihasilkan dari mengplot nilai amplitude I dan Q pada Tabel 2.1. Setiap titik merupakan pasangan nilai I dengan Q yang mewakili sinyal modulasi atau simbol. Nilai I dan Q ini dihitung dengan cara mengalikan amplitude sinyal dengan sinus atau cosinus sudut fase.



**Gambar 2.12** Diagram Konstelasi QPSK [20]

Prinsip kerja modulasi QPSK yaitu dalam 1 simbol dibagi menjadi 2 bit, kemudian mengkonversi ke bentuk NRZ (*Non Return to Zero*) dengan mengubah bit 0 menjadi -1 dan bit 1 tetap bernilai 1. Langkah selanjutnya yaitu mentransmisikan pada masing-masing kanal I dan kanal Q. Kemudian mengalikan kanal I dengan frekuensi *carrier* dan mengalikan kanal Q dengan frekuensi yang sama tetapi fasenya digeser sejauh 90 derajat. Sinyal hasil dari modulasi QPSK adalah sinyal hasil penjumlahan antara kanal I dan kanal Q yaitu menjadi sinyal  $I+jQ$ .

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) memiliki empat simbol yang mempunyai amplitudo sama dengan fase yang berlainan. Keempat simbol tersebut dibentuk dari grup dua bit input, sehingga diperoleh empat kondisi yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11.

Setiap bit menghasilkan satu dari empat fase yang mungkin, sehingga *rate* keluarannya adalah setengah dari *rate* input. Masing-masing level sinyal disimbolkan dengan perbedaan fase 90°. Modulasi QPSK memiliki efisiensi *bandwidth* dua kali lebih besar dibandingkan dengan BPSK, karena dua bit dikirimkan pada satu simbol sinyal termodulasi.

## 2.7 Noise

Istilah *noise* mengacu pada sinyal listrik yang tidak diharapkan yang selalu ada dalam sistem kelistrikan. *Noise* timbul dari berbagai sumber, baik buatan manusia maupun secara alami. Salah satu contoh sumber *noise* secara alami yaitu *thermal noise* (*noise* panas). *Thermal noise* dapat digambarkan sebagai proses acak Gaussian dengan *zero mean*. Proses Gaussian  $n(t)$ , merupakan fungsi random dimana nilai  $n$  pada tiap waktu acak yang secara statistik ditandai dengan fungsi Gaussian *probability density*

$$p(n) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{n}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.22)$$

Dimana  $\sigma^2$  adalah varian dari  $n$ . fungsi Gaussian *probability density* yang ternormalisasi yaitu nilai meannya nol diperoleh dengan asumsi bahwa  $\sigma = 1$ . [5]

## 2.8 Kanal

Kanal *wireless* merupakan faktor pokok yang mebatasi kinerja sistem komunikasi *wireless*. Jarak transmisi antara pemancar dan penerima dapat bervariasi dari LOS (*line of sight*) hingga tertutup oleh penghalang seperti bangunan, bukit dan pepohonan. Tidak seperti kanal *wired* yang tetap dan dapat diprediksi, kanal radio bersifat random dan tidak bisa dianalisis dengan mudah. Terdapat beberapa kanal yang biasanya digunakan dalam komunikasi *wireless*, diantaranya adalah seperti berikut :

### a. Kanal AWGN

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya dipengaruhi oleh *thermal noise* pada seluruh sistem. *Thermal noise* dihasilkan oleh pergerakan partikel bermuatan elektron secara acak dalam media konduktif. Oleh karena itu, *thermal noise* selalu ada pada setiap sinyal informasi yang dikirimkan oleh *transmitter*. Output dari kanal AWGN dapat dituliskan pada persamaan berikut [21]:

$$Y = X + n \quad (2.23)$$

Dimana Y adalah output kanal, X adalah input kanal, dan n adalah noise AWGN yang dibatasi oleh *bandwidth* kanal dengan rata-rata nol dan varian satu.

b. Kanal Rayleigh

Kanal Rayleigh adalah kanal yang mengikuti distribusi Rayleigh. Kanal Rayleigh ini biasanya digunakan untuk kanal yang tidak LOS (*Line-of-Sight*) atau juga sering disebut NLOS (*non-Line-of-sight*). Kanal ini didapatkan pada bilangan acak kompleks Gaussian. Variable random pada kanal Rayleigh, R, memiliki probabilitas[22] :

$$PR(r) = \frac{2r}{\Omega} \times \exp\left(-\frac{r^2}{\Omega}\right) \quad (2.24)$$

Dimana  $\Omega = E(R^2)$ . Distribusi Rayleigh juga dapat diperoleh dengan mengambil dua independen dan identik pada distribusi dengan mean=0 pada gaussian dengan variabel acak. Dimana variabel acaknya terdiri dari bilangan *real* dan imajiner yang merupakan bagian dari bilangan kompleks kemudian dihitung magnitudenya.

## 2.9 Bit Error Rate (BER)

*Bit Error Rate* dalam sistem didefinisikan sebagai rasio dari jumlah bit salah yang diterima oleh receiver dibagi dengan jumlah total bit yang dikirim oleh transmitter[23]. Kesalahan terjadi bisa dikarenakan oleh efek dari *fading* saat menggunakan beberapa jenis antena. Secara matematika BER dapat ditulis seperti berikut,

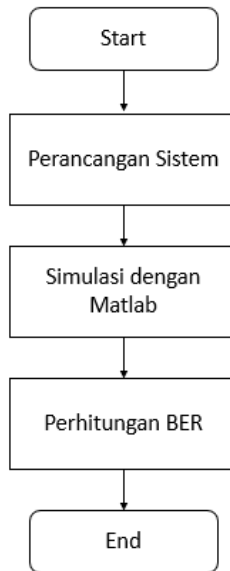
$$BER = \frac{\text{jumlah bit yang eror}}{\text{total bit yang dikirim}} \quad (2.25)$$

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



## BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

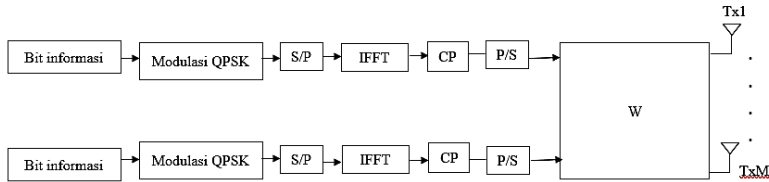
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perencanaan dan langkah-langkah perancangan sistem model simulasi. Perancangan sistem secara keseluruhan menggunakan perangkat lunak Matlab R2015a.



**Gambar 3.1** Flowchart Perancangan Sistem

### 3.1 Perancangan Sistem

Untuk mengetahui kinerja *Zero Forcing Beamforming* pada *Multiuser MIMO OFDM*, maka dilakukan perancangan blok diagram simulasi sistem seperti pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 berikut ini. Pada gambar 3.2 merupakan blok diagram perancangan sistem pada sisi transmitter, sedangkan pada gambar 3.3 merupakan blok diagram perancangan sistem pada sisi *receiver*.



**Gambar 3.2** Blok Diagram Simulasi MU-MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming pada sisi Transmitter untuk user=2

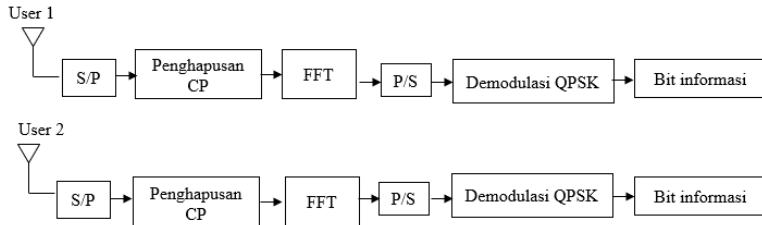
Berdasarkan blok diagram pada gambar 3.2, bit informasi yang akan dikirim sebanyak 1000000 bit dalam bentuk data serial. Kemudian data tersebut akan dimodulasi dengan menggunakan QPSK. Dari proses modulasi ini akan dihasilkan simbol-simbol yang nantinya akan diproses melalui proses OFDM sehingga akan dihasilkan sinyal OFDM. Hasil dari modulasi QPSK kemudian diubah terlebih dahulu dari bentuk serial ke bentuk paralel. Simbol-simbol dengan bentuk paralel inilah yang akan di proses untuk menjadi sinyal OFDM. Kelebihan penggunaan OFDM pada sistem MIMO yaitu sistem OFDM sangat berperan dalam mengatasi frekuensi selektif fading. Sedangkan sistem MIMO sendiri menghasilkan diversitas transmisi dan diversitas ruang, kedua diversitas tersebut mengakibatkan perbaikan sistem, yaitu peningkatan cakupan area, peningkatan *quality of service* (QoS), peningkatan efisiensi spektral bandwidth, serta peningkatan kapasitas sistem.

Tahapan pertama proses OFDM yaitu simbol yang berbentuk paralel kemudian masuk ke proses IFFT. Pada proses IFFT, simbol-simbol tersebut akan diubah dari domain frekuensi menjadi domain waktu dan dilakukan penambahan CP (*Cyclic Prefix*) yang digunakan sebagai pemisah frekuensi *carrier* yang saling tumpang tindih. *Cyclic Prefix* merupakan salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditambahkan diawal simbol. Dengan menggunakan *Cyclic Prefix*, maka akan mengurangi ISI (*Inter Symbol Interference*). Setelah penambahan CP selesai dilakukan, simbol-simbol tersebut akan diubah dari bentuk paralel ke bentuk serial dengan *Parallel to Serial Converter*.

Proses selanjutnya yaitu proses *beamforming* yang disimbolkan dengan W. Metode yang digunakan pada proses ini yaitu *Zero Forcing*. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan interferensi antar data yang

akan dikirim sehingga data yang akan dikirim ke masing-masing *user* tidak tercampur dengan data informasi *user* lain.

Setelah melalui proses *beamforming*, data hasil *beamforming* kemudian akan dikalikan dengan daya, kanal, dan juga simbol OFDM. Dari hasil kali tersebut akan ditambahkan dengan *noise*. Data inilah yang akan dikirimkan melalui masing-masing transmitter.



**Gambar 3.3** Blok Diagram Simulasi MU-MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming pada sisi Receiver untuk user=2

Pada sisi *receiver* atau penerima, data yang telah dikirim oleh transmitter akan diterima oleh masing-masing *user*. Data yang diterima oleh masing-masing *user* berbentuk data serial. Proses selanjutnya yaitu mengubah data serial tersebut menjadi ke bentuk data paralel dengan *Serial to Parallel Converter*. Kemudian akan dilakukan proses penghapusan CP (*Cyclic Prefix*). Penghapusan nilai CP dilakukan untuk mendapatkan simbol yang asli kembali. Setelah nilai CP dihilangkan maka proses selanjutnya yaitu proses FFT. FFT merupakan proses menguraikan simbol OFDM, yaitu memisahkan antara frekuensi *carrier* dan simbol OFDM. Setelah melalui proses FFT, simbol OFDM akan diubah kembali menjadi serial dan kemudian akan didemodulasi. Data yang telah didemodulasi inilah yang akan diterima. Data ini sudah kembali dalam bentuk bit informasi. Hasil kinerja dari pengiriman data dapat dilihat melalui grafik BER (*Bit Error Rate*).

### 3.2 Tahapan Simulasi

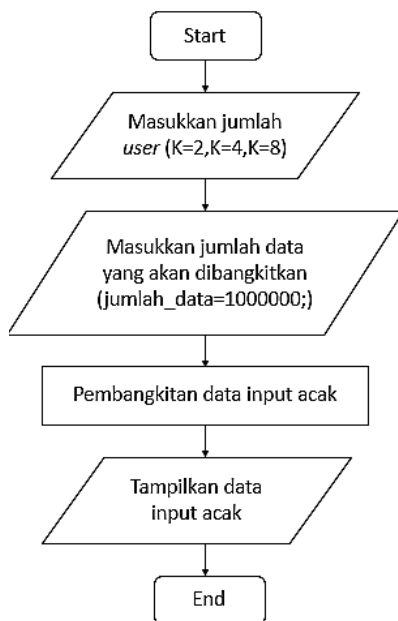
Pada tahapan simulasi yang akan dilakukan dengan *software* Matlab, terlebih dahulu harus dilakukan penentuan parameter-parameter yang akan digunakan selama proses simulasi. Parameter-parameter yang diperlukan selama simulasi adalah sebagai berikut:

1. Teknik modulasi yang digunakan yaitu modulasi QPSK
2. Jumlah antenna pada pemancar adalah 8

3. Jumlah *user* yang digunakan yaitu 2,4,8
  4. Jumlah titik IFFT dan titik FFT yang digunakan adalah 8
  5. Ukuran blok OFDM adalah 8
  6. Performansi sistem yang dibahas adalah perbandingan grafik BER saat *user* yang aktif sebanyak 2 *user*, 4 *user*, dan 8 *user*.
  7. Perancangan sistem menggunakan perangkat lunak Matlab.
- Proses dan metode yang akan dilakukan dalam tahapan simulasi adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Membangkitkan Bit Informasi Secara acak

Pada proses ini data informasi yang akan dibangkitkan berupa data biner yang bernilai 0 atau 1. Bit tersebut akan dibangkitkan secara acak dan akan berubah-ubah urutannya saat dijalankan berkali-kali. Bit acak tersebut berupa vektor dengan bentuk serial yang mempunyai panjang data sesuai dengan jumlah bit yang akan dibangkitkan. Jumlah bit yang akan dibangkitkan yaitu 1000000 bit. Gambar 3.4 merupakan *flowchart* pembangkitan bit informasi secara acak.



**Gambar 3.4** *Flowchart* Pembangkitan Bit Input

### 3.2.2 Modulasi QPSK

Bit input yang sudah dibangkitkan secara acak, kemudian akan masuk ke proses modulasi. Teknik modulasi yang akan digunakan yaitu modulasi QPSK.

Modulasi QPSK akan menghasilkan empat fase keluaran yang berbeda. Pada proses modulasi QPSK, akan dilakukan *mapping* dengan menggunakan 2 bit. Sehingga 1 simbol akan terdiri dari 2 bit data. Modulasi QPSK mempunyai nilai  $M=4$  sehingga akan terdapat 4 kode yang berbeda yaitu 00,01,10, dan 11. Keempat kode tersebut dinyatakan dengan empat fase yang berbeda pula.

Dari bit informasi yang telah dibangkitkan secara acak, data serial tersebut akan diubah menjadi data berbentuk paralel. Data paralel tersebut berbentuk matriks dengan 2 baris dan 500000 kolom. Untuk baris pertama akan digunakan sebagai data Inphase dan untuk baris kedua akan digunakan sebagai data Quadrature.

0	1	1	1	...	In phase quadrature
1	0	1	1	...	

**Gambar 3.5** Pembagian data Inphase dan Quadrature

Kemudian masing-masing data Inphase maupun Quadrature, dilakukan perhitungan nilainya dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{nilai inphase} = (2 \times \text{data inphase} - 1) \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3.1)$$

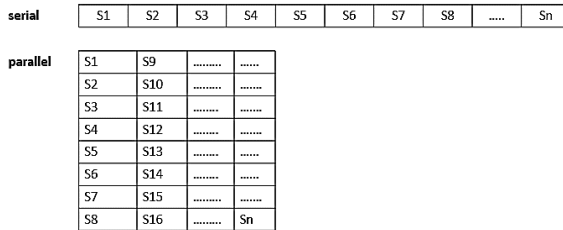
$$\text{nilai quadrature} = (2 \times \text{data quadrature} - 1) \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3.2)$$

Hasil dari modulasi QPSK adalah simbol yang totalnya setengah dari jumlah data acak yang dibangkitkan. Simbol hasil modulasi QPSK berupa data yang berbentuk serial.

### 3.2.3 Konversi Serial ke Paralel

Simbol hasil modulasi QPSK yang berupa data serial, akan diubah menjadi bentuk data paralel. Data tersebut akan dibagi sesuai dengan ukuran blok OFDM yang digunakan. Ukuran blok OFDM berfungsi sebagai baris. Karena ukuran blok OFDM yang digunakan

adalah 8, maka simbol QPSK akan diubah ke bentuk paralel dengan 8 baris ke arah bawah.



**Gambar 3.6** Konversi Serial ke Paralel Data Modulasi QPSK

### 3.2.4 IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) dan Penambahan CP

Proses IFFT bertujuan untuk mengubah dari domain frekuensi ke domain waktu. Selain itu juga bertujuan untuk membangkitkan frekuensi *subcarrier* yang saling ortogonal. Pada proses ini, data paralel hasil konversi S/P kemudian akan di ubah menjadi domain waktu sesuai dengan jumlah titik IFFT yang digunakan. Jumlah titik IFFT yang digunakan yaitu 8. Pada Matlab, digunakan fungsi ‘*ifft*’ seperti berikut,

$$\text{Matriks\_data\_ifft} = \text{ifft}(\text{dataparalel}, \text{nifft});$$

1	0.3536 + 0.1...	-0.1768 - 0....	-0.1768 + 0....	0.1768 + 0.1...	0.0000 + 0.3...
2	-0.3018 + 0....	0.0000 - 0.6...	0.0000 + 0.1...	-0.4786 + 0....	0.1250 + 0.3...
3	0.1768 + 0.0...	-0.1768 - 0....	0.1768 - 0.1...	0.0000 + 0.0...	-0.1768 + 0....
4	-0.3018 - 0....	0.0000 + 0.2...	0.0000 + 0.2...	0.3750 + 0.3...	0.4786 - 0.3...
5	-0.3536 + 0....	-0.1768 - 0....	0.5303 + 0.1...	0.1768 - 0.1...	0.0000 + 0.0...
6	-0.0518 + 0....	0.0000 - 0.1...	0.0000 + 0.6...	-0.2286 + 0....	-0.1250 + 0....
7	-0.1768 + 0....	-0.1768 + 0....	0.1768 - 0.1...	-0.3536 + 0....	0.1768 - 0.1...
8	-0.0518 - 0....	0.0000 - 0.2...	0.0000 - 0.2...	-0.3750 + 0....	0.2286 - 0.0...

**Gambar 3.7** Hasil Proses IFFT

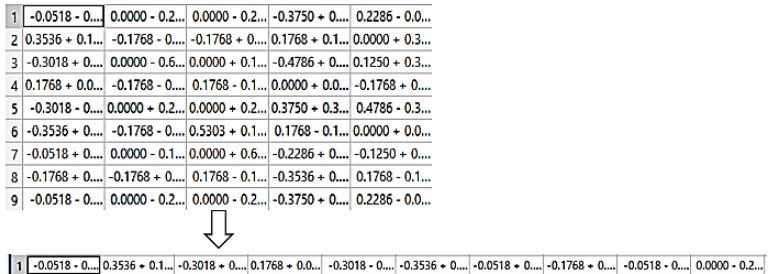
Kemudian dilanjutkan dengan proses penambahan CP. Nilai dari CP diambil dari nilai paling akhir dari data IFFT. Nilai tersebut akan ditambah di paling atas dari data hasil IFFT. Karena terjadi proses penambahan nilai CP, maka hasil IFFT yang mempunyai 8 baris matriks bertambah menjadi 9 baris.

1	-0.0518 - 0.0...	0.0000 - 0.2...	0.0000 - 0.2...	-0.3750 + 0.0...	0.2286 - 0.0...	Nilai CP
2	0.3536 + 0.1...	-0.1768 - 0.0...	-0.1768 + 0.0...	0.1768 + 0.1...	0.0000 + 0.3...	
3	-0.3018 + 0.0...	0.0000 - 0.6...	0.0000 + 0.1...	-0.4786 + 0.0...	0.1250 + 0.3...	
4	0.1768 + 0.0...	-0.1768 - 0.0...	0.1768 - 0.1...	0.0000 + 0.0...	-0.1768 + 0.0...	
5	-0.3018 - 0.0...	0.0000 + 0.2...	0.0000 + 0.2...	0.3750 + 0.3...	0.4786 - 0.3...	
6	-0.3536 + 0.0...	-0.1768 - 0.0...	0.5303 + 0.1...	0.1768 - 0.1...	0.0000 + 0.0...	
7	-0.0518 + 0.0...	0.0000 - 0.1...	0.0000 + 0.6...	-0.2286 + 0.0...	-0.1250 + 0.0...	
8	-0.1768 + 0.0...	-0.1768 + 0.0...	0.1768 - 0.1...	-0.3536 + 0.0...	0.1768 - 0.1...	
9	-0.0518 - 0.0...	0.0000 - 0.2...	0.0000 - 0.2...	-0.3750 + 0.0...	0.2286 - 0.0...	

Gambar 3.8 Hasil Penambahan CP

### 3.2.5 Konversi Paralel ke Serial

Setelah melalui proses penambahan CP, data hasil IFFT akan diubah dari data paralel ke bentuk data serial kembali. Data hasil IFFT berupa data paralel sejumlah 9 baris dengan 125000 jumlah kolom. Dari 9 baris data hasil IFFT tersebut akan diubah menjadi satu baris data dengan 562500 jumlah kolom.



Gambar 3.9 Proses Konversi Paralel ke Serial Data IFFT

### 3.2.6 Pembangkitan Kanal

Kanal yang digunakan yaitu kanal *Gaussian Complex*. Kanal *Gaussian Complex* merupakan kanal yang dibangkitkan secara acak dan memiliki nilai berupa bilangan kompleks. Kanal ini akan dibangkitkan sebanyak K baris dan M kolom. Dimana K adalah jumlah *user* aktif dan M adalah jumlah antena di pemancar. Berikut merupakan kanal untuk K=2 dan M=8.

$$\text{Kanal} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} & h_{15} & h_{16} & h_{17} & h_{18} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} & h_{25} & h_{26} & h_{27} & h_{28} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

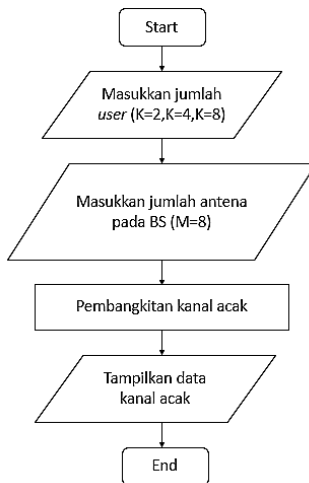
Kanal untuk K=4,

$$\text{Kanal} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} & h_{15} & h_{16} & h_{17} & h_{18} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} & h_{25} & h_{26} & h_{27} & h_{28} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} & h_{35} & h_{36} & h_{37} & h_{38} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} & h_{45} & h_{46} & h_{47} & h_{48} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Kanal untuk K=8,

$$\text{Kanal} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} & h_{15} & h_{16} & h_{17} & h_{18} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} & h_{25} & h_{26} & h_{27} & h_{28} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} & h_{35} & h_{36} & h_{37} & h_{38} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} & h_{45} & h_{46} & h_{47} & h_{48} \\ h_{51} & h_{52} & h_{53} & h_{54} & h_{55} & h_{56} & h_{57} & h_{58} \\ h_{61} & h_{62} & h_{63} & h_{64} & h_{65} & h_{66} & h_{67} & h_{68} \\ h_{71} & h_{72} & h_{73} & h_{74} & h_{75} & h_{76} & h_{77} & h_{78} \\ h_{81} & h_{82} & h_{83} & h_{84} & h_{85} & h_{86} & h_{87} & h_{88} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

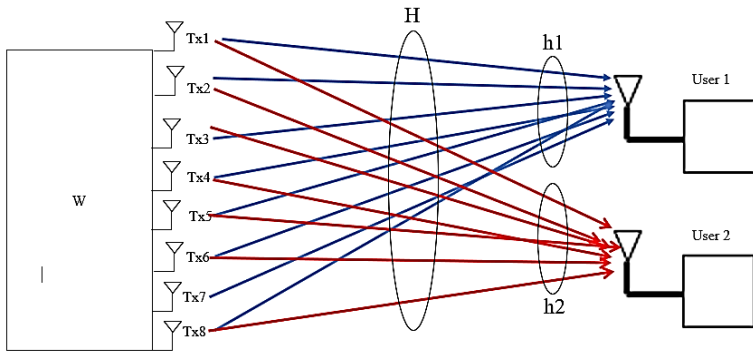
Untuk lebih jelasnya, proses pembangkitan kanal acak dalam dilihat pada flowchart berikut ini.



**Gambar 3.10** Flowchart Pembangkitan Kanal



### 3.2.7 Zero Forcing Beamforming

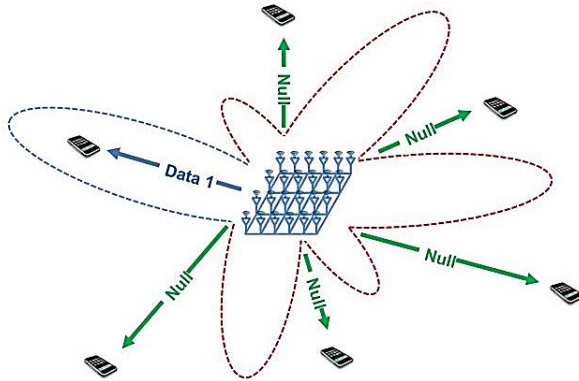


**Gambar 3.11** Pembagian Bobot pada Zero Forcing

Gambar diatas merupakan gambaran bagaimana proses Zero Forcing terjadi pada tiap usernya. Pada gambar tersebut terdapat dua user dengan masing-masing user menggunakan single antenna dan untuk jumlah antenna pada transmitter yaitu sejumlah 8 antenna. Nilai bobot ( $w$ ) yang telah didapat nantinya akan digunakan sebagai precoding untuk masing-masing antenna pada transmitter dan digunakan dalam proses transmisi tiap user.  $H$  merupakan kanal untuk sistem MU-MIMO OFDM 2 user. Kanal  $H$  berisi kanal untuk user 1 ( $h1$ ) dan kanal untuk user 2 ( $h2$ ). Pada proses transmisi nantinya akan dilakukan perkalian data dengan kanal yang akan digunakan. Karena kanal untuk user 1 dan user 2 tercampur menjadi satu, maka diperlukan adanya pemisah agar data user 1 tidak tercampur dengan data user 2. Pemisah inilah yang disebut precoding.

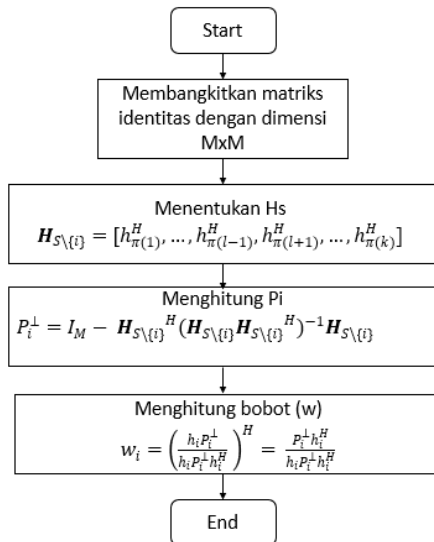
*Zero Forcing Beamforming* merupakan salah satu metode precoding yang dapat digunakan dalam sistem Multiuser MIMO. Proses precoding dilakukan untuk menghilangkan interferensi yang terjadi antar *user*. Interferensi merupakan sesuatu yang mengubah atau mengacaukan sinyal saat bergerak pada di sepanjang kanal antara transmitter dan receiver. Dalam hal ini, interferensi yang dimaksudkan yaitu penambahan sinyal yang tidak diharapkan pada sinyal yang akan dikirim. Dengan menggunakan Zero Forcing, sistem MU-MIMO dapat menghilangkan *Multi User Interferensi* (MUI) yaitu interferensi yang terjadi pada banyak user secara bersamaan. Metode dilakukan dengan memberikan nilai nol

untuk data milik user lain sehingga data yang diterima oleh user adalah data asli milik user tersebut tanpa adanya tambahan data lainnya.



**Gambar 3.12** Ilustrasi Zero Forcing Beamforming[16]

Berikut adalah *flowchart* tahapan proses perhitungan nilai bobot ( $W$ ) dengan metode *Zero Forcing Beamforming*.



**Gambar 3.13** *Flowchart* Proses Zero Forcing Beamforming

Matriks identitas merupakan matriks yang membentuk angka 1 pada sumbu diagonal dan bernilai nol untuk yang lain. Untuk membangkitkan matriks identitas pada Matlab digunakan *command* 'eye'. Matriks identitas yang dibangkitkan berdimensi  $M \times M$ . Dengan  $M=8$  maka matriks identitas yang dibangkitkan berdimensi  $8 \times 8$ .

$$I_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Untuk menentukan nilai  $H_s$  digunakan teknik *row reduce matrix*. Matriks yang akan di *row reduce* yaitu matriks kanal *user* lain. Dalam Matlab digunakan *command* 'rref' untuk *row reduce matrix*. Untuk  $user=2$ , maka:

$H_s$  untuk *user* 1 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 2

$H_s$  untuk *user* 2 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1

Untuk  $user=4$ ,

$H_s$  untuk *user* 1 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 2,3,4

$H_s$  untuk *user* 2 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,3,4

$H_s$  untuk *user* 3 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,4

$H_s$  untuk *user* 4 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3

Untuk  $user=8$ ,

$H_s$  untuk *user* 1 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 2,3,4,5,6,7,8

$H_s$  untuk *user* 2 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,3,4,5,6,7,8

$H_s$  untuk *user* 3 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,4,5,6,7,8

$H_s$  untuk *user* 4 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3,5,6,7,8

$H_s$  untuk *user* 5 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3,4,6,7,8

$H_s$  untuk *user* 6 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3,4,5,7,8

$H_s$  untuk *user* 7 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3,4,5,6,8

$H_s$  untuk *user* 8 adalah *row reduce matrix* kanal *user* 1,2,3,4,5,6,7

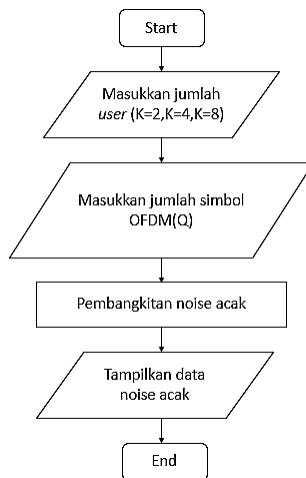
Selanjutnya dilakukan perhitungan  $P_i$  dan dilanjutkan dengan perhitungan bobot. Ukuran dimensi dari bobot yang dihasilkan oleh tiap *user* yaitu  $[M \times 1]$ . Dengan  $M=8$ , maka ukuran tiap bobot *user* yaitu  $[8 \times 1]$ .

	1	2
1	$0.0568 + 0.0427i$	$0.0668 - 0.0608i$
2	$0.1162 - 0.0114i$	$0.0865 - 0.0274i$
3	$0.0130 + 0.0109i$	$-0.0054 - 0.1097i$
4	$0.0462 + 0.0386i$	$-0.0953 - 0.0793i$
5	$0.1422 + 0.0198i$	$0.0157 + 0.0790i$
6	$-0.0056 + 0.0688i$	$0.1481 + 0.0032i$
7	$0.1314 - 0.0247i$	$-0.0915 - 0.0702i$
8	$-0.0641 - 0.0199i$	$0.0547 - 0.0065i$

**Gambar 3.14** Nilai bobot (W)

### 3.2.8 Pembangkitan Noise

Noise yang digunakan yaitu *White Gaussian Noise* dengan  $mean=0$  dan varian  $=1$ . Noise ini akan dibangkitkan secara acak dan mempunyai nilai berupa bilangan kompleks. Noise akan dibangkitkan sebanyak K baris dan Q kolom. Dimana K adalah jumlah user yang aktif dan Q adalah panjang simbol OFDM.



**Gambar 3.15** Flowchart Pembangkitan Noise Acak

### 3.2.9 Data yang Diterima oleh User

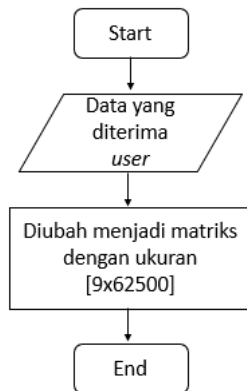
Data yang diterima oleh masing-masing *user* berupa data hasil *precoding* yang dikalikan oleh kanal kemudian ditambahkan *noise*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan berikut,

$$y_k = (h_k w_k \sqrt{p_k}) s_k + n_k \quad (3.7)$$

Data yang diterima oleh masing-masing *user* berupa data berbentuk serial.

### 3.2.10 Konversi Serial ke Paralel

Data yang telah diterima oleh *user* kemudian akan diubah menjadi bentuk paralel. Data akan dibagi menjadi 9 baris ke bawah. Ukuran blok OFDM yang digunakan adalah 8, namun karena sudah melalui tahap penambahan CP maka ukuran blok OFDM bertambah menjadi 9.



Gambar 3.16 Flowchart Konversi Serial ke Paralel

### 3.2.11 Penghapusan CP dan Proses FFT

Penghapusan CP dilakukan untuk memperoleh kembali bentuk dari simbol OFDM. Data hasil konversi Serial ke Paralel yang mempunyai 9 baris akan berubah menjadi 8 baris dengan jumlah kolom yang tetap sama.

1	0.0745 + 0.0...	-0.0475 - 0....	-0.0319 + 0....	0.0453 + 0.0...	-0.0171 + 0....
2	-0.0996 - 0....	0.0160 - 0.1...	-0.0023 + 0....	-0.1742 - 0....	0.0124 + 0.1...
3	0.0528 - 0.0...	-0.0516 - 0....	0.0696 - 0.0...	-0.0244 + 0....	-0.0665 + 0....
4	-0.0267 + 0....	0.0163 + 0.0...	-0.0193 + 0....	0.1449 + 0.1...	0.2009 - 0.1...
5	-0.1552 + 0....	-0.0559 - 0....	0.1838 + 0.0...	0.0970 - 0.0...	0.0044 - 0.0...
6	-0.0021 + 0....	0.0199 - 0.0...	0.0244 + 0.2...	-0.1142 + 0....	-0.0622 + 0....
7	-0.0465 - 0....	-0.0864 + 0....	0.0432 - 0.0...	-0.1487 - 0....	0.0812 - 0.0...
8	-0.0211 - 0....	-0.0658 - 0....	-0.0271 - 0....	-0.1463 + 0....	0.0856 - 0.0...

**Gambar 3.17** Hasil Proses Penghapusan Nilai CP

Kemudian dilanjutkan dengan proses FFT. Jumlah titik FFT yang digunakan adalah 8. Sehingga simbol OFDM akan diproses FFT dengan 8 titik. Pada Matlab digunakan fungsi 'fft'.

$$\text{Datafft}=\text{fft}(\text{simbolOFDM},\text{nfft});$$

### 3.2.12 Konversi Paralel ke Serial

Data hasil dari proses FFT masih berbentuk paralel. Sehingga dilakukan konversi untuk mengubah data tersebut menjadi bentuk serial. Konversi dilakukan untuk mengembalikan bentuk data agar sesuai dengan bit informasi awal yang dikirim.

1	-0.2238 + 0....	-0.2551 - 0....	0.2405 + 0.1...	-0.3206 + 0....	0.2388 + 0.2...
2	0.1769 - 0.3...	-0.2009 - 0....	-0.3278 - 0....	-0.3305 - 0....	0.0976 + 0.2...
3	0.0849 + 0.3...	-0.2021 - 0....	0.3779 + 0.1...	0.2724 + 0.3...	0.2583 + 0.3...
4	0.3174 + 0.2...	0.2944 + 0.1...	-0.1707 + 0....	0.1454 + 0.2...	-0.2158 - 0....
5	0.0750 + 0.1...	-0.2277 + 0....	0.2891 - 0.2...	0.2590 - 0.2...	-0.2347 + 0....
6	0.2719 - 0.1...	-0.1560 + 0....	-0.2118 + 0....	0.2481 + 0.2...	0.2303 + 0.3...
7	-0.2589 + 0....	0.2712 - 0.2...	-0.2997 + 0....	0.3584 - 0.2...	-0.3131 - 0....
8	0.1525 - 0.2...	0.0963 - 0.1...	-0.1524 - 0....	-0.2698 + 0....	-0.1983 + 0....



1	-0.2238 + 0....	0.1769 - 0.3...	0.0849 + 0.3...	0.3174 + 0.2...	0.0750 + 0.1...	0.2719 - 0.1...	-0.2589 + 0....	0.1525 - 0.2...
---	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

**Gambar 3.18** Hasil Konversi Paralel ke Serial Data Hasil FFT

### 3.2.13 Demodulasi QPSK

Setelah melalui proses konversi data dari data paralel menjadi data serial, proses selanjutnya yaitu proses demodulasi QPSK. Karena

pada adanya proses modulasi QPSK yang dilakukan pada sisi transmitter maka perlu dilakukan proses demodulasi pada sisi receivernya. Tujuan dari proses demodulasi adalah untuk mengembalikan sinyal menjadi bentuk aslinya.

Proses demodulasi diawali dengan membagi data menjadi dua bagian yaitu bagian real dan bagian imajiner. Data dibagi menjadi bagian real dan imajiner karena data hasil dari proses FFT adalah berupa data dengan bilangan kompleks. Data real adalah data inphase sedangkan data imajiner adalah data quadrature. Kemudian data yang telah dibagi menjadi dua bagian tersebut diubah menjadi bernilai 1 atau -1 dengan suatu kondisi. Data Inphase dan Quadrature yang telah diperoleh kemudian digabung menjadi satu menjadi bentuk data paralel.

1	-1	1	1	1	1	1	1	In phase
2	1	-1	1	1	1	1	-1	quadrature

**Gambar 3.19** Data Inphase dan Quadrature

Data paralel tersebut kemudian diubah menjadi bentuk serial seperti berikut ini,

1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1
---	----	---	---	----	---	---	---	---	---

**Gambar 3.20** Data Serial Demodulasi QPSK

Data serial kemudian dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$est\ bit1 = \frac{data\ serial+1}{2} \quad (3.8)$$

Perhitungan dengan rumus tersebut dimaksudkan untuk mengubah nilai data serial yang tadinya bernilai 1 dan -1 menjadi bernilai 1 dan 0. Hasil dari demodulasi QPSK adalah data serial yang mempunyai nilai 1 dan 0.

### 3.3 Perhitungan *Bit Error Rate* (BER)

Setelah proses simulasi telah dilakukan, tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan BER. Perhitungan BER dilakukan untuk mengetahui berapa banyak jumlah bit informasi yang salah yang diterima oleh *receiver*. Perhitungan BER ditujukan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem yang telah dirancang pada proses simulasi.

Perhitungan BER dilakukan dengan membandingkan jumlah total bit informasi yang dikirim oleh transmitter dengan bit informasi yang telah

diterima oleh *receiver*. Untuk mengetahui jumlah bit yang eror yang diterima oleh receiver, pada Matlab dapat digunakan fungsi “biterr”. Setelah jumlah bit yang eror atau salah didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan BER dengan rumus yang ada pada persamaan (2.25)

Hasil dari perhitungan BER selanjutnya akan diplot pada grafik BER dengan menggunakan fungsi “semilogy” pada Matlab. Perhitungan BER dilakukan pada SNR 0 dB sampai dengan SNR 30 dB.



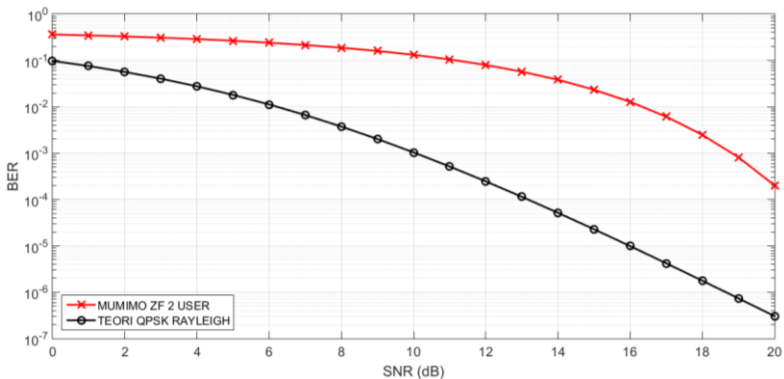
## BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan membahas mengenai pengujian sistem serta analisa terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat. Hasil dari simulasi dinyatakan dalam bentuk grafik BER (*Bit Error Rate*).

### 4.1 Hasil Simulasi *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming*

Pada bab ini akan ditunjukkan hasil simulasi *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* saat  $user=2$ ,  $user=4$ ,  $user=8$ , dan *MISO OFDM Zero Forcing Beamforming*.

a. *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* saat  $user=2$ .



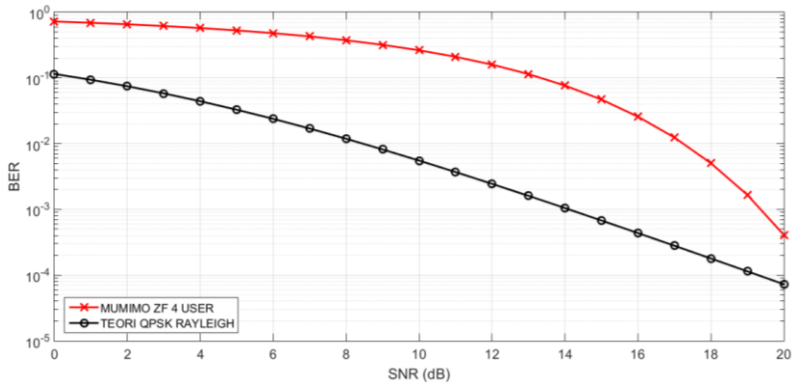
**Gambar 4.1.** BER vs SNR MU-MIMO ZF 2 user

Gambar diatas merupakan grafik BER *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* saat  $user=2$  yang dibandingkan dengan *Bit Error Rate* modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.1 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.362483 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser MIMO OFDM dengan precoding Zero Forcing Beamforming* saat  $user=2$  adalah sebesar 0.000201. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.1** Perbandingan BER MU-MIMO ZF 2 user dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO ZF 2 user	BER Teori
0	0.362483	0.088231
10	0.1320945	0.0001925
20	0.000201	$9.2087 \times 10^{-11}$

b. *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* saat  $user=4$



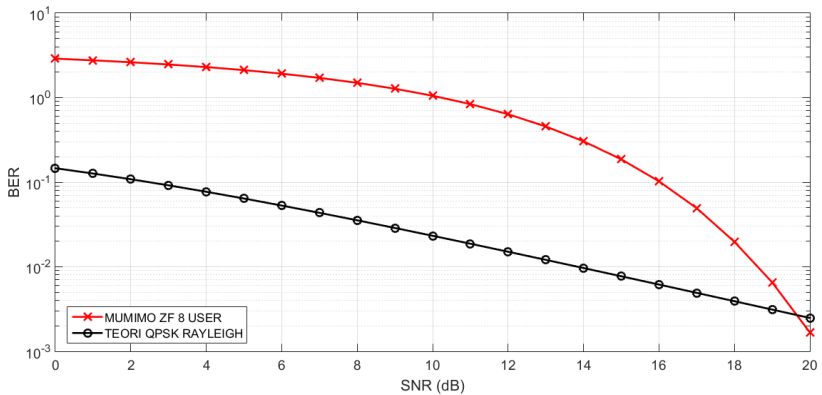
**Gambar 4.2.** BER vs SNR MU-MIMO ZF 4 USER

Gambar diatas merupakan grafik BER *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* saat  $user=4$  yang dibandingkan dengan *Bit Error Rate* modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.2 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB . Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.72295 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser MIMO OFDM* dengan *precoding Zero Forcing Beamforming* saat  $user=4$  adalah sebesar 0.0004085. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.2** Perbandingan BER MU-MIMO ZF 4 *user* dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO ZF 4 <i>user</i>	BER Teori
0	0.72295	0.115099
10	0.2636105	0.0055282
20	0.000009	$7.26 \times 10^{-5}$

c. *Multiuser* MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming saat *user*=8



**Gambar 4.3** BER vs SNR MU-MIMO ZF 8 *USER*

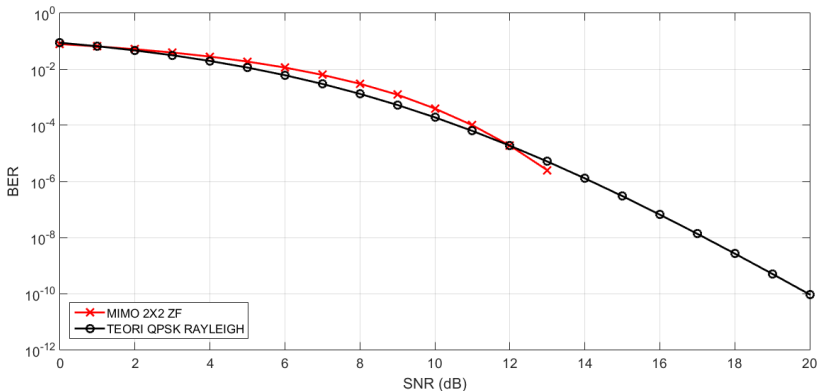
Gambar diatas merupakan grafik BER *Multiuser* MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming saat *user*=8 yang dibandingkan dengan Bit Error Rate modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.3 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 2.893076 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser* MIMO OFDM dengan *precoding* Zero Forcing Beamforming saat *user*=8 adalah sebesar 0.001672. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.3** Perbandingan BER MU-MIMO ZF 8 user dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO ZF 8 user	BER Teori
0	2.893076	0.14644
10	1.054498	0.023268
20	0.000032	0.002481

d. MIMO 2x2 ZF

MIMO yang digunakan saat simulasi didesain dengan menggunakan 2 buah antenna pada sisi transmitter dan 2 buah antenna pada sisi receiver. Sama halnya dengan simulasi untuk *Multiuser* MIMO OFDM *Zero Forcing Beamforming* sebelumnya, untuk hasil simulasi MIMO 2x2 ZF juga akan ditampilkan grafik BERnya.



**Gambar 4.4.** BER vs SNR MIMO 2x2 ZF

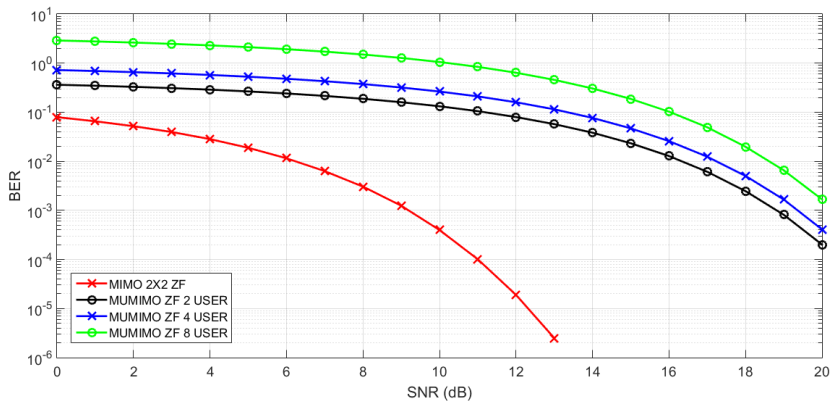
Gambar diatas merupakan grafik BER untuk MIMO 2x2 untuk ZF yang dibandingkan dengan *Bit Error Rate* modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.4 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.0792995 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk MIMO 2x2 adalah sebesar 0, sehingga yang muncul pada grafik hanya sampai SNR 13 dB.

Pada saat SNR 13 dB, nilai BERnya adalah 0.0000025. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.4** Perbandingan BER MIMO 2x2 ZF dan BER Teori

SNR (dB)	BER MIMO 2x2 ZF	BER Teori
0	0.0792995	0.088231
10	0.000398	0.000192
20	0	$9.21 \times 10^{-11}$

Dari keempat grafik BER yang telah ditampilkan, hasil simulasi tersebut dapat digabungkan menjadi satu gambar sehingga mempermudah dalam melakukan analisa. Berikut merupakan hasil simulasi untuk *Multiuser* MIMO OFDM *Zero Forcing Beamforming* saat *user=2*, *user=4*, *user=8*, dan MIMO 2x2 ZF.



**Gambar 4.5.** BER vs SNR *Zero Forcing Beamforming*

Dari gambar diatas, nilai BER untuk masing-masing parameter dapat dituliskan secara ringkas dalam tabel 4.5 berikut ini.

Berdasarkan tabel 4.5 maupun grafik pada gambar 4.5, dapat dilihat bahwa saat setiap terjadi penambahan jumlah *user* yang digunakan maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin akan semakin besar sehingga kualitas sistem menjadi semakin jelek. Hal ini dikarenakan, jika lebih banyak *user* yang dilayani oleh *Base Station*, maka semakin banyak interferensi yang dihasilkan oleh sistem tersebut.

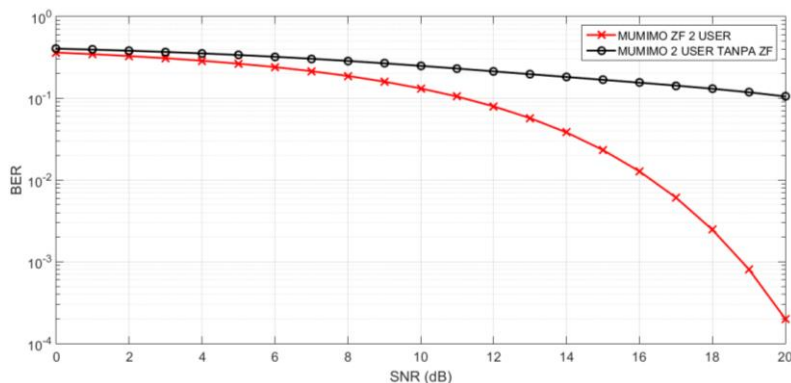
**Tabel 4.5** Perbandingan BER *Zero Forcing Beamforming*

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)			
	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 2 user	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 4 user	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 8 user	MIMO 2x2 ZF
0	0.362483	0.72295	2.893076	0.0792995
10	0.1320945	0.2636105	1.054498	0.000398
20	0.000201	0.0004085	0.001672	0

Untuk *Multiuser* MIMO *Zero Forcing Beamforming*, nilai BER paling baik dicapai saat  $user=2$  yaitu sebesar 0.000006. Sedangkan jika sistem *Multiuser* MIMO *Zero Forcing Beamforming* dibandingkan dengan MIMO 2x2, hasilnya adalah lebih baik MIMO 2x2 ZF. Dikarenakan, dalam sistem MIMO dengan menggunakan 2 antenna pada sisi transmitter, *user* yang dilayani hanya satu. Sehingga interferensi yang terjadi kecil.

e. Perbandingan *Multiuser* MIMO OFDM *Zero Forcing Beamforming* dan Tanpa *Zero Forcing Beamforming*

Gambar 4.6 merupakan hasil perbandingan *Bit Error Rate* (BER) untuk sistem *Multiuser* MIMO OFDM dengan menggunakan ZF dan tanpa menggunakan ZF. Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa sistem *Multiuser* MIMO OFDM tanpa ZF, pada saat SNR 30 dB, nilai BERnya adalah 0.002741 sedangkan untuk sistem *Multiuser* MIMO OFDM dengan ZF nilai BERnya adalah 0.000201 pada SNR 20 dB. Dari perbandingan nilai tersebut dapat dilihat bahwa sistem yang tidak menggunakan ZF menghasilkan nilai BER yang lebih besar jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan *precoding* ZF. Besarnya nilai BER yang dihasilkan oleh sistem tanpa ZF menunjukkan bahwa jumlah kesalahan pengiriman bit informasi banyak sehingga kinerja sistem kurang baik. Banyaknya jumlah bit informasi yang tidak sesuai antara transmitter dan *receiver*, diakibatkan oleh tidak adanya *precoding* yang memisah data tiap *user*nya sehingga data untuk masing-masing tercampur oleh interferensi dari *user* lain.



**Gambar 4.6** Perbandingan ZF dan Tanpa ZF

## 4.2 Hasil Simulasi *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming*

Pada bab ini akan ditunjukkan hasil simulasi *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user=2*, *user=4*, *user=8*, dan MISO OFDM MMSE *Beamforming*.

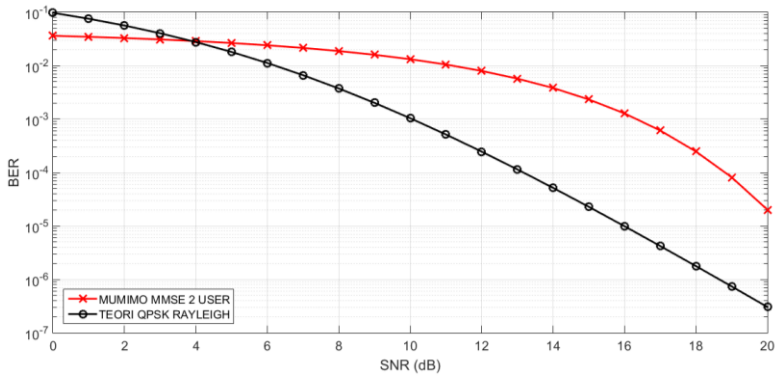
a. *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user=2*

Gambar 4.7 merupakan grafik BER *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user=2* yang dibandingkan dengan *Bit Error Rate* modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.7 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.6** Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 2 *user* dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO MMSE 2 <i>user</i>	BER Teori
0	0.0362	0.088231
10	0.0132	0.0001925
20	$2.0100 \times 10^{-5}$	$9.2087 \times 10^{-11}$



**Gambar 4.7** BER vs SNR MU-MIMO MMSE 2 user

Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.0362 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser* MIMO OFDM dengan *precoding* MMSE *Beamforming* saat *user*=2 adalah sebesar  $2.0100 \times 10^{-5}$ .

b. *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user*=4

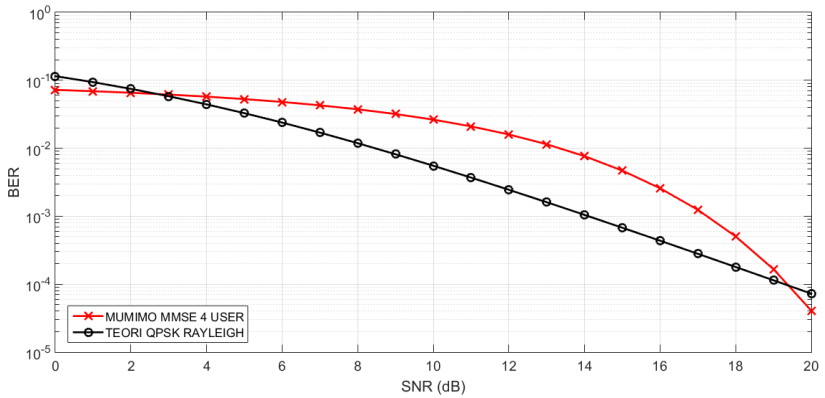
Gambar 4.8 merupakan grafik BER *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user*=4 yang dibandingkan dengan *Bit Error Rate* modulasi QPSK secara teori.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.7** Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 4 user dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO MMSE 4 user	BER Teori
0	0.0723	0.115099
10	0.0264	0.0055282
20	$4.0850 \times 10^{-5}$	$7.26 \times 10^{-5}$





**Gambar 4.8** BER vs SNR MU-MIMO MMSE 4 user

Gambar 4.8 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.0723 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser* MIMO OFDM dengan *precoding* MMSE *Beamforming* saat *user*=4 adalah sebesar  $4.0850 \times 10^{-5}$ .

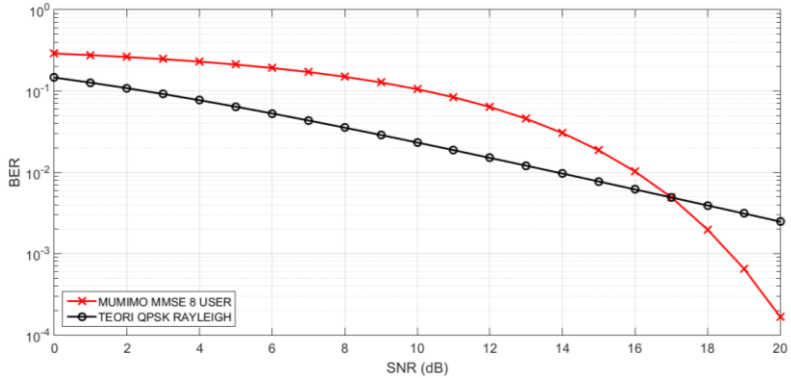
c. *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user*=8

Gambar 4.9 merupakan grafik BER *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user*=8 yang dibandingkan dengan Bit Error Rate modulasi QPSK secara teori.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.8** Perbandingan BER MU-MIMO MMSE 8 user dan BER Teori

SNR (dB)	BER MU-MIMO MMSE 8 user	BER Teori
0	0.2893	0.14644
10	0.1054	0.023268
30	$1.6720 \times 10^{-4}$	0.002481



**Gambar 4.9** BER vs SNR MU-MIMO MMSE 8 user

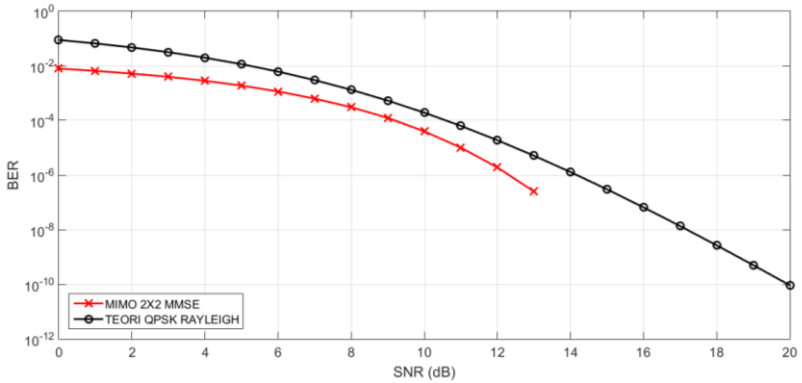
Gambar 4.9 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.2893 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk *Multiuser* MIMO OFDM dengan *precoding* MMSE *Beamforming* saat *user*=8 adalah sebesar  $1.6720 \times 10^{-4}$ .

d. MIMO 2x2 MMSE

MIMO yang digunakan saat simulasi didesain dengan menggunakan 2 buah antenna pada sisi transmitter dan 2 buah antenna pada sisi *receiver*. Sama halnya dengan simulasi untuk *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* sebelumnya, untuk hasil simulasi MIMO 2x2 MMSE juga akan ditampilkan grafik BERnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.9** Perbandingan BER MIMO 2x2 MMSE dan BER Teori

SNR (dB)	BER MIMO 2x2 MMSE	BER Teori
0	0.0079	0.088231
10	$3.9800 \times 10^{-5}$	0.000192
20	0	$9.21 \times 10^{-11}$



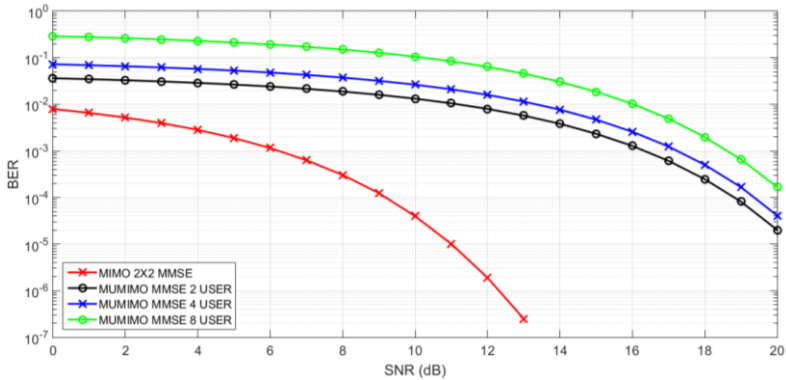
**Gambar 4.10** BER vs SNR MIMO 2x2 MMSE

Gambar diatas merupakan grafik BER untuk MIMO 2x2 untuk MMSE yang dibandingkan dengan Bit Error Rate modulasi QPSK secara teori. Gambar 4.10 menampilkan hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai dengan SNR 20 dB. Dapat dilihat bahwa pada saat SNR 0 dB nilai BERnya sebesar 0.0079 dan nilainya semakin turun seiring dengan SNR yang semakin besar. Pada saat SNR 20 dB, nilai BER untuk MIMO 2x2 adalah sebesar 0, sehingga yang muncul pada grafik hanya sampai SNR 13 dB. Pada saat SNR 13 dB, nilai BERnya adalah  $2.5000 \times 10^{-7}$ .

Dari keempat grafik BER yang telah ditampilkan, dapat digabungkan menjadi satu gambar sehingga mempermudah dalam melakukan analisa. Berikut merupakan hasil simulasi untuk *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* saat *user=2*, *user=4*, *user=8*, dan MIMO 2x2 MMSE.

Berdasarkan tabel 4.9 maupun grafik pada gambar 4.10, dapat dilihat bahwa saat setiap terjadi penambahan jumlah user yang digunakan maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin akan semakin besar sehingga kualitas sistem menjadi semakin jelek. Hasil tersebut mirip dengan hasil saat menggunakan *Zero Forcing Beamforming* yaitu nilai BER yang dihasilkan semakin besar seiring dengan jumlah *user* yang bertambah.

Untuk *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming*, nilai BER paling baik dicapai saat *user=2* yaitu sebesar  $2.0100 \times 10^{-5}$ .



**Gambar 4.11** BER vs SNR MMSE *Beamforming*

Sedangkan jika sistem *Multiuser* MIMO OFDM MMSE *Beamforming* dibandingkan dengan MISO OFDM MMSE *Beamforming*, hasilnya lebih baik MISO OFDM MMSE *Beamforming*. Dikarenakan, dalam sistem MIMO 2x2 dengan menggunakan dua antena pada sisi transmitter, *user* yang dilayani hanya satu. Sehingga interferensi yang terjadi kecil.

**Tabel 4.10** Perbandingan BER MMSE *Beamforming*

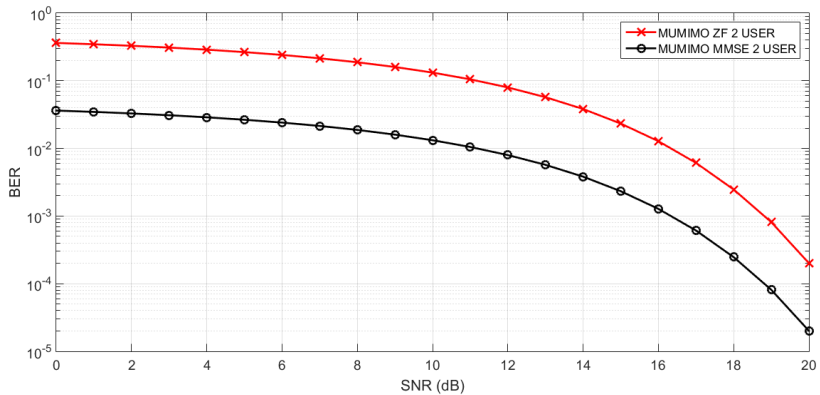
SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)			
	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 2 user	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 4 user	<i>Multiuser</i> MIMO OFDM 8 user	MIMO 2x2
0	0.0362	0.0723	0.2893	0.0079
10	0.0132	0.0264	0.1054	$3.9800 \times 10^{-5}$
20	$2.0100 \times 10^{-5}$	$4.0850 \times 10^{-5}$	$1.6720 \times 10^{-5}$	0

### 4.3 Perbandingan *Zero Forcing Beamforming* dan MMSE *Beamforming*

Pada subbab ini akan ditunjukkan perbandingan antara *precoding Zero Forcing Beamforming* dan MMSE *Beamforming*. Hasil perbandingan yang ditampilkan berupa grafik BER saat *user*=2,4, dan 8 serta saat menggunakan sistem MIMO 2x2.

a. Multiuser MIMO OFDM saat  $user = 2$

Hasil simulasi perbandingan BER untuk *Zero Forcing Beamforming* dan *MMSE Beamforming* saat  $user=2$  dapat dilihat pada gambar 4.13. Gambar 4.13 menampilkan grafik BER hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai 20 dB. Grafik untuk hasil BER *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* adalah grafik yang berwarna merah sedangkan Grafik untuk hasil BER *Multiuser MIMO OFDM MMSE Beamforming* adalah grafik yang berwarna hitam. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik BER *MMSE Beamforming* yaitu grafik yang berwarna hitam berada dibawah grafik BER *Zero Forcing Beamforming*.



**Gambar 4.12** BER vs SNR ZF dan MMSE saat  $user=2$

Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi BER untuk *MMSE Beamforming* lebih baik dibanding dengan menggunakan *Zero Forcing Beamforming*. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai BER yang dihasilkan atau semakin curam penurunan grafik BER yang dihasilkan maka kinerja sistem semakin baik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.12.

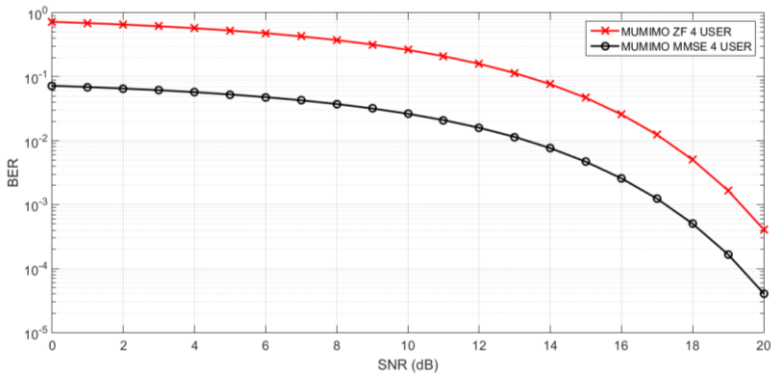
**Tabel 4.11** Perbandingan BER ZF vs MMSE saat  $user=2$

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)		Selisih nilai BER( $\Delta$ )
	Zero Forcing	MMSE	
0	0.362483	0.0362	0.3263
10	0.1320945	0.0132	0.1189
30	0.000201	$2.0100 \times 10^{-5}$	$1.8090 \times 10^{-4}$

b. *Multiuser* MIMO OFDM saat  $user=4$

Hasil simulasi perbandingan BER untuk ZF dan MMSE saat  $user=4$  dapat dilihat pada gambar 4.13.

Gambar 4.13 menampilkan grafik BER hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai 20 dB. Grafik untuk hasil BER *Multiuser* MIMO OFDM *Zero Forcing Beamforming* adalah grafik yang berwarna merah sedangkan Grafik untuk hasil BER *Multiuser* MIMO OFDM *MMSE Beamforming* adalah grafik yang berwarna hitam. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik BER MMSE *Beamforming* yaitu grafik yang berwarna hitam berada dibawah grafik BER *Zero Forcing Beamforming*.



**Gambar 4.13** BER vs SNR ZF dan MMSE saat  $user=4$

Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi BER untuk MMSE *Beamforming* lebih baik dibanding dengan menggunakan *Zero Forcing Beamforming*. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai BER yang dihasilkan atau semakin curam penurunan grafik BER yang dihasilkan

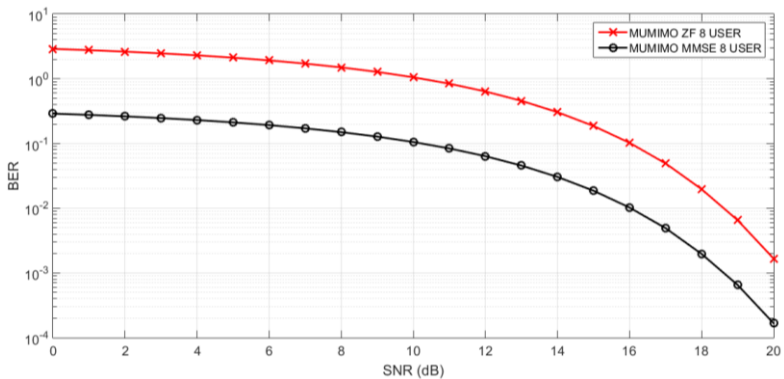
maka kinerja sistem semakin baik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.12

**Tabel 4.12** Perbandingan BER ZF vs MMSE saat  $user = 4$

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)		Selisih Nilai BER ( $\Delta$ )
	Zero Forcing	MMSE	
0	0.72295	0.0723	0.6506
10	0.2636105	0.0264	0.2372
20	0.000009	$4.0850 \times 10^{-5}$	$3.1850 \times 10^{-5}$

c. *Multiuser MIMO OFDM* saat  $user=8$

Gambar 4.15 menampilkan grafik BER hasil simulasi saat SNR 0 dB sampai 20 dB.



**Gambar 4.14** BER vs SNR ZF dan MMSE saat  $user=8$

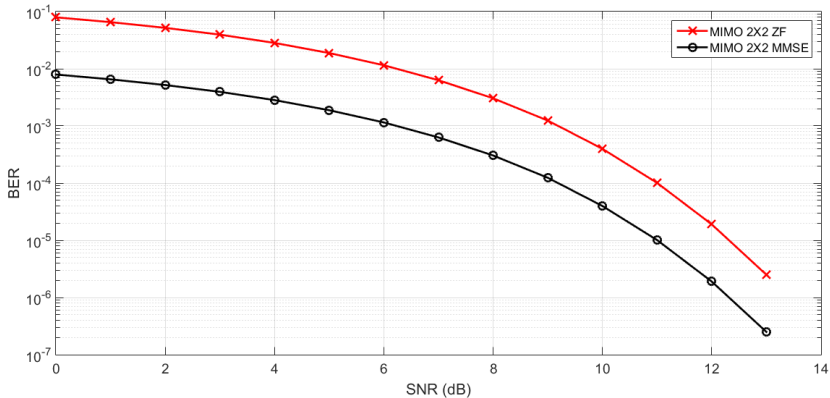
Grafik untuk hasil BER *Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming* adalah grafik yang berwarna merah sedangkan Grafik untuk hasil BER *Multiuser MIMO OFDM MMSE Beamforming* adalah grafik yang berwarna hitam. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik BER MMSE *Beamforming* yaitu grafik yang berwarna hitam berada dibawah grafik BER *Zero Forcing Beamforming*. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi BER untuk MMSE *Beamforming* lebih baik dibanding dengan menggunakan *Zero Forcing Beamforming*. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai BER yang dihasilkan atau

semakin curam penurunan grafik BER yang dihasilkan maka kinerja sistem semakin baik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.13

**Tabel 4.13** Perbandingan BER ZF vs MMSE saat  $user = 8$

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)		Selisih Nilai BER ( $\Delta$ )
	Zero Forcing	MMSE	
0	2.893076	0.2893	2.6038
10	1.054498	0.1054	0.9491
30	0.000032	$1.6720 \times 10^{-4}$	$1.3520 \times 10^{-4}$

d. MIMO 2x2



**Gambar 4.15** BER vs SNR ZF dan MMSE MIMO 2x2

Dari gambar 4.15, dapat dilihat bahwa hasil simulasi BER saat SNR 13 dB untuk MMSE *Beamforming* lebih baik dibanding dengan menggunakan *Zero Forcing Beamforming*. Sistem MIMO 2x2 tidak dapat dianalisa saat SNR 20 dB karena pada SNR 30 dB nilai BERnya nol. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.15



**Tabel 4.14** Perbandingan BER ZF vs MMSE MIMO 2x2

SNR (dB)	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		Selisih Nilai BER ( $\Delta$ )
	<i>Zero Forcing</i>	MMSE	
0	0.0792995	0.0079	0.0714
10	0.000398	$3.9800 \times 10^{-5}$	$3.5820 \times 10^{-4}$
20	0	0	0

Berdasarkan grafik hasil simulasi yang telah ditampilkan, dapat dilihat bahwa *Signal to Noise (SNR)* meningkatkan nilai BER (*Bit Error Rate*) pada *precoding Zero Forcing* sedangkan untuk MMSE nilai BERnya menurun. *Bit Error Rate (BER)* dari *Zero Forcing Beamforming* jelas lebih besar jika dibandingkan dengan MMSE untuk SNR yang sama. Berdasarkan hal tersebut, kinerja *Multiuser MIMO OFDM* dengan metode *precoding MMSE Beamforming* kinerja sistemnya lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan metode *Zero Forcing Beamforming*.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian terhadap performansi kinerja sistem *Multiuser* MIMO OFDM *Zero Forcing Beamforming* yang telah dilakukan dengan menggunakan 8 buah antena pada *Base Station* dan jumlah *user* sebanyak 2 *user*, 4 *user*, dan 8 *user*, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Berdasarkan jumlah *user* atau penggunaannya, dengan menggunakan metode *Zero Forcing Beamforming*, banyak *user* atau pengguna mempengaruhi kinerja sistem. Saat SNR 20 dB, nilai BER terkecil didapatkan dari sistem MU-MIMO OFDM 2 *user* dengan nilai BER sebesar 0.000201.
2. Berdasarkan jumlah *user* atau penggunaannya, metode MMSE *Beamforming* (*Minimum Mean Square Error*) juga menunjukkan hasil yang sama seperti *Zero Forcing*. Yaitu jumlah *user* mempengaruhi kualitas kinerja sistem. Saat SNR 20 dB, nilai BER terkecil didapatkan dari sistem MU-MIMO OFDM 2 *user* dengan nilai BER sebesar  $2.0100 \times 10^{-5}$
3. Sistem MIMO 2x2 ZF menghasilkan nilai BER yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem *Multiuser* MIMO *Zero Forcing*. Pada saat SNR 20 dB, sistem *Multiuser* MIMO *Zero Forcing* menghasilkan BER sebesar 0.000201, sedangkan untuk sistem MISO OFDM nilai BERnya 0.
4. Dengan menggunakan metode MMSE, kinerja sistem *Multiuser* MIMO OFDM lebih efektif dalam mengurangi interferensi antar *user* karena nilai BER yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan *Zero Forcing*.
5. Jumlah *user* maksimal yang dapat dilayani pada sistem *Multiuser* MIMO OFDM adalah sebanyak 8 *user* karena jumlah antena yang digunakan pada *Base Station* juga sejumlah 8 buah

#### **5.2 Saran**

1. Untuk mendapatkan hasil kinerja yang maksimal dengan sistem *Multiuser* MIMO diperlukan untuk menambah jumlah antena pada sisi transmiter dengan jumlah yang lebih banyak sehingga *user* dapat dilayani dengan baik.

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. <https://id.wikipedia.org/wiki/4G>
- [2]. M. Hasbullah Mazlan, Mehran Behjati, Rosdiadee Nordin, Mahamod Ismail, "Investigation of Pilot Training Effect in Massive-MIMO TDD System", Department of Electrical, Electronics and System Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- [3]. Erik G. Larsson, Ove Edfors and Fredrik Tufvesson, Thomas L. Marzetta, "Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems", IEEE Communications Magazine, February 2014
- [4]. Yalin Zhang, Bijan Golkar, Elvino S. Sousa, dan Qinyu Zhang, "Efficient User Selection for Downlink Zero-Forcing based Multiuser MIMO Systems", Department of Electronic and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Shenzhen Graduate School, Guangdong, China 518055 and Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada M5S 3G4.
- [5]. Bernard Sklar, "Digital Communication Fundamentals and Applications Second Editions", Communications Engineering Services, Tarzana, California and University of California Los Angeles, Prentice Hall P T Rupper Saddle River, New Jersey 07458
- [6]. K. Sengar, N.Rani, D. Sharma, S. Verma and T. Singh, "Study and Capacity Evaluation of SISO, MISO, and MIMO RF Wireless Communication Systems," International Journal of Engineering Trends and Technology (IJEET), vol.9, no. 9, p.1,2014
- [7]. R. Shah, Chirag, "Performance and Comparative Analysis of SISO, SIMO, MISO, MIMO", International Journal of Wireless Communication and Simulation, vol.9, no.1, pp.1-14,2017
- [8]. Nimay Ch Giri, Anwasha Sahoo, J.R. Swain, P. Kumar, A. Nayak, P. Debogswami, "Capacity and Performance Comparison of SISO and MIMO System for Next Generation Network (NGN)", International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), vol.3 issue 9, September 2014
- [9]. T. Xuejian and L. Tao, "OFDM mobile communication principles and applications," Posts and Telecommunications Press, 2003.

- [10]. Y. Sun and Z. Xiong, "Progressive image transmission over space-time coded OFDM-based MIMO systems with adaptive modulation," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no.8, pp. 1016–1028, Aug. 2006
- [11]. Asim M. Mazin and Garth V. Crosby, "REDUCING THE PEAK TO AVERAGE POWER RATIO OF MIMO-OFDM SYSTEMS", *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*, Vol.5, No.3, May 2013
- [12]. D. Gesbert, M. Kountouris, R. W. Heath, C. B. Chae, and T. Salzer, "Shifting the MIMO paradigm," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 5, pp. 36–46, Sep. 2007.
- [13]. Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung-Gu Kang, "MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB", John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2010.
- [14]. Shengchun Huang, Hao Yin, Jiangxing Wu, and Victor C. M. Leung, "User Selection for Multiuser MIMO Downlink With Zero-Forcing Beamforming", *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, vol. 62, no.7, September 2013
- [15]. G. Caire and S. Shamai, "On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 7, pp. 1691–1706, Jul. 2003.
- [16]. Clayton Shepard, Narendra Anand, Lin Zhong, "Practical Performance of MU-MIMO Precoding in Many-Antenna Base Station", RICE University, Texas.
- [17]. Zvi Rosberg, Antonio Cantoni, and Ren P. Liu, "Resource Allocation for QOS Multiuser MIMO with Zero Forcing and MMSE Beamforming", *IEEE 18th International Workshop on Quality of Service (IWQoS)*, 2010.
- [18]. Mounir Esslaoui, Mohammed Essaïdi, "Performance of Multiuser MIMO-OFDM downlink system with ZF-BF and MMSE-BF linear precoding", *International Journal of Innovation and Applied Studies Information and Telecommunication Systems*, Vol. 3 No.4, pp. 946-952, Aug. 2013.
- [19]. Langton, Charan, (2002), *All About Modulation – Part I*, Diakses di [www.complextoreal.com](http://www.complextoreal.com) [10 November 2016]
- [20]. Rian Suryo Darmawan, Prapto Nugroho, Addin Suwastono, "Simulasi Modulator Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Menggunakan Simulink", *Prosiding Seminar Nasional XI*

“Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2016 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta,2016

- [21]. <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/awgn-additive-white-gaussian-noise/>
- [22]. Koyalkar Raman Kishore and Sathish Kumar B, "Wireless Channel Modeling Clarke's, Jakes' and modified Jakes' models",2014.
- [23]. Chirag R. Shah, Department of Electronics &Telecommunication Engineering, University of Mumbai, Performance and Comparative Analysis of OFDM, OFDM–CDMA & OFDM–IDMA Systems, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT),Vol. 5 Issue 04, April-2016

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## LAMPIRAN

### A. Listing Program Multiuser MIMO OFDM Zero Forcing Beamforming

```
%%=====MultiuserMIMO=====
=====%%
%%=====8User=====
=====%%
clc; clear all;
M=8;
%jumlah antena BS
K=8;
%jumlah user (single antena)
jumlah_data=1000000;
nifft=8;
nfft=8;
ukuran_blok=8;
n_cp=ceil(0.1*ukuran_blok);
%panjang CP
snr=30; %snr
dalam dB
%noise sbmlm dikalikan snr
noise=1/sqrt(2)*(randn(K,(562500))+1i*randn(K,(562500)));
%kanal yang digunakan
kanal=(randn(K,M)+1i*randn(K,M));

%%=====Transmitter=====
=====%%
%data yang akan dikirim
data_input=randsrc(K,jumlah_data,0:1);

%modulasi qpsk
%%modulasi user 1
data =reshape(data_input(1,:),2,[]);
inphase=data(1,:);
quadrature=data(2,:);
inphase_val=(2*inphase-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_val=(2*quadrature-1)*(1/sqrt(2));
```



```

dataqpsk=inphase_val+i*quadrature_val;

%%modulasi user 2
data2=reshape(data_input(2,:),2,[]);
inphase_2=data2(1,:);
quadrature_2=data2(2,:);
inphase_2_val=(2*inphase_2-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_2_val=(2*quadrature_2-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk2= inphase_2_val+i*quadrature_2_val;

%%modulasi user 3
data3=reshape(data_input(3,:),2,[]);
inphase_3=data3(1,:);
quadrature_3=data3(2,:);
inphase_3_val=(2*inphase_3-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_3_val=(2*quadrature_3-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk3= inphase_3_val+i*quadrature_3_val;

%%modulasi user 4
data4=reshape(data_input(4,:),2,[]);
inphase_4=data4(1,:);
quadrature_4=data4(2,:);
inphase_4_val=(2*inphase_4-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_4_val=(2*quadrature_4-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk4= inphase_4_val+i*quadrature_4_val;

%%modulasi user 5
data5=reshape(data_input(5,:),2,[]);
inphase_5=data5(1,:);
quadrature_5=data5(2,:);
inphase_5_val=(2*inphase_5-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_5_val=(2*quadrature_5-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk5= inphase_5_val+i*quadrature_5_val;

%%modulasi user 6
data6=reshape(data_input(6,:),2,[]);
inphase_6=data6(1,:);
quadrature_6=data6(2,:);
inphase_6_val=(2*inphase_6-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_6_val=(2*quadrature_6-1)*(1/sqrt(2));

```

```

dataqpsk6= inphase_6_val+i*quadrature_6_val;

%%modulasi user 7
data7=reshape(data_input(7,:),2,[]);
inphase_7=data7(1,:);
quadrature_7=data7(2,:);
inphase_7_val=(2*inphase_7-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_7_val=(2*quadrature_7-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk7= inphase_7_val+i*quadrature_7_val;

%%modulasi user 8
data8=reshape(data_input(8,:),2,[]);
inphase_8=data8(1,:);
quadrature_8=data8(2,:);
inphase_8_val=(2*inphase_8-1)*(1/sqrt(2));
quadrature_8_val=(2*quadrature_8-1)*(1/sqrt(2));
dataqpsk8= inphase_8_val+i*quadrature_8_val;

%konversi serial to paralel
xp1=reshape(dataqpsk,ukuran_blok,[]);
xp2=reshape(dataqpsk2,ukuran_blok,[]);
xp3=reshape(dataqpsk3,ukuran_blok,[]);
xp4=reshape(dataqpsk4,ukuran_blok,[]);
xp5=reshape(dataqpsk5,ukuran_blok,[]);
xp6=reshape(dataqpsk6,ukuran_blok,[]);
xp7=reshape(dataqpsk7,ukuran_blok,[]);
xp8=reshape(dataqpsk8,ukuran_blok,[]);
xp=[xp1 xp2 xp3 xp4 xp5 xp6 xp7 xp8];

%IFFT
for i=1:K*length(dataqpsk)/ukuran_blok
    matrix_data_ifft(:,i)=ifft((xp(:,i)),nifft);

    %%nilai CP
    for j=1:n_cp
        cp(j,i)=matrix_data_ifft(j+(ukuran_blok-
1),i);
    end

    %%penambahan nilai CP

```

```

        data_ifft(:,i)=
vertcat(cp(:,i),matrix_data_ifft(:,i));
end

%ukuran data hasil ofdm
[baris_ofdm kolom_ofdm]=size(data_ifft);

%konversi paralel to serial
sin_ofdm1=reshape(data_ifft(:,1:62500),1,[]);
sin_ofdm2=reshape(data_ifft(:,62501:125000),1,[])
);
sin_ofdm3=reshape(data_ifft(:,125001:187500),1,[])
);
sin_ofdm4=reshape(data_ifft(:,187501:250000),1,[])
);
sin_ofdm5=reshape(data_ifft(:,250001:312500),1,[])
);
sin_ofdm6=reshape(data_ifft(:,312501:
375000),1,[]);
sin_ofdm7=reshape(data_ifft(:,375001:
437500),1,[]);
sin_ofdm8=reshape(data_ifft(:,437501:
500000),1,[]);
sin_ofdm=[sin_ofdm1;sin_ofdm2;sin_ofdm3;sin_ofdm
4; .....
        sin_ofdm5;sin_ofdm6;sin_ofdm7;sin_ofdm8];

%zero forcing beamforming
Im=eye(M,M);
%matriks indentitas

%%perhitungan bobot user 1
Hs_i=rref(kanal([2 3 4 5 6 7 8],:));
Pi=Im-(Hs_i'*inv(Hs_i*Hs_i')*Hs_i);
w1=(Pi*kanal(1,:))'/(kanal(1,:)*Pi*kanal(1,:))';

%%perhitungan bobot user 2
Hs_i2=rref(kanal([1 3 4 5 6 7 8],:));
Pi2=Im-(Hs_i2'*inv(Hs_i2*Hs_i2')*Hs_i2);

```

```
w2=(Pi2*kanal(2,:)')/(kanal(2,)*Pi2*kanal(2,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 3
```

```
Hs_i3=rref(kanal([1 2 4 5 6 7 8],:));  
Pi3=Im-(Hs_i3'*inv(Hs_i3*Hs_i3')*Hs_i3);  
w3=(Pi3*kanal(3,:)')/(kanal(3,)*Pi3*kanal(3,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 4
```

```
Hs_i4=rref(kanal([1 2 3 5 6 7 8],:));  
Pi4=Im-(Hs_i4'*inv(Hs_i4*Hs_i4')*Hs_i4);  
w4=(Pi4*kanal(4,:)')/(kanal(4,)*Pi4*kanal(4,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 5
```

```
Hs_i5=rref(kanal([1 2 3 4 6 7 8],:));  
Pi5=Im-(Hs_i5'*inv(Hs_i5*Hs_i5')*Hs_i5);  
w5=(Pi5*kanal(5,:)')/(kanal(5,)*Pi5*kanal(5,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 6
```

```
Hs_i6=rref(kanal([1 2 3 4 5 7 8],:));  
Pi6=Im-(Hs_i6'*inv(Hs_i6*Hs_i6')*Hs_i6);  
w6=(Pi6*kanal(6,:)')/(kanal(6,)*Pi6*kanal(6,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 7
```

```
Hs_i7=rref(kanal([1 2 3 4 5 6 8],:));  
Pi7=Im-(Hs_i7'*inv(Hs_i7*Hs_i7')*Hs_i7);  
w7=(Pi7*kanal(7,:)')/(kanal(7,)*Pi7*kanal(7,))';
```

```
%%perhitungan bobot user 8
```

```
Hs_i8=rref(kanal([1 2 3 4 5 6 7],:));  
Pi8=Im-(Hs_i8'*inv(Hs_i8*Hs_i8')*Hs_i8);  
w8=(Pi8*kanal(8,:)')/(kanal(8,)*Pi8*kanal(8,))';
```

```
w=[w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7 w8];
```

```

d=1/M*ones(1,K);
D=sqrt(diag(d)); %power kontrol
q=sin_ofdm; %simbol

for i=1:K %loop kolom
    for k=1:K %untuk decision user
        for j=1:M %loop baris
            A1(j,i,k)=w(j,i);
            if k~=i
                A1(j,i,k)=0;
            end
        end
    end
end

%data hasil precoding
x_pre1=A1(:, :, 1)*D*q;
x_pre2=A1(:, :, 2)*D*q;
x_pre3=A1(:, :, 3)*D*q;
x_pre4=A1(:, :, 4)*D*q;
x_pre5=A1(:, :, 5)*D*q;
x_pre6=A1(:, :, 6)*D*q;
x_pre7=A1(:, :, 7)*D*q;
x_pre8=A1(:, :, 8)*D*q;

m=1;
for ii=0:1:snr
    noise=(1/sqrt(10^(ii/10)))*nose;
    %noise dikalikan snr

    %perkalian data precoding dg kanal
    xt1=kanal*x_pre1;
    xt2=kanal*x_pre2;
    xt3=kanal*x_pre3;
    xt4=kanal*x_pre4;
    xt5=kanal*x_pre5;
    xt6=kanal*x_pre6;
    xt7=kanal*x_pre7;
    xt8=kanal*x_pre8;

```

```

%penambahan noise
xr1=sum(xt1(:,:))+noise(1,:);
xr2=sum(xt2(:,:))+noise(2,:);
xr3=sum(xt3(:,:))+noise(3,:);
xr4=sum(xt4(:,:))+noise(4,:);
xr5=sum(xt5(:,:))+noise(5,:);
xr6=sum(xt6(:,:))+noise(6,:);
xr7=sum(xt7(:,:))+noise(7,:);
xr8=sum(xt8(:,:))+noise(8,:);

%%=====Receiver=====
=====%%
%%ukuran data yang diterima
[kolom_rx baris_rx]=size(xr1);

%konversi serial to paralel
xr_p1=reshape(xr1,9,[]);
xr_p2=reshape(xr2,9,[]);
xr_p3=reshape(xr3,9,[]);
xr_p4=reshape(xr4,9,[]);
xr_p5=reshape(xr5,9,[]);
xr_p6=reshape(xr6,9,[]);
xr_p7=reshape(xr7,9,[]);
xr_p8=reshape(xr8,9,[]);

%penghapusan CP
xr_p1(1:n_cp,:)=[];
xr_p2(1:n_cp,:)=[];
xr_p3(1:n_cp,:)=[];
xr_p4(1:n_cp,:)=[];
xr_p5(1:n_cp,:)=[];
xr_p6(1:n_cp,:)=[];
xr_p7(1:n_cp,:)=[];
xr_p8(1:n_cp,:)=[];
xr_p=[xr_p1 xr_p2 xr_p3 xr_p4 xr_p5 xr_p6 xr_p7
xr_p8];

%FFT
for i=1:kolom_ofdm

```

```

    data_fft(:,i) = fft(xr_p(:,i),nfft);
end

%konversi paralel to serail
xr_s1=reshape(data_fft(:,1:62500),1,[]);
xr_s2=reshape(data_fft(:,62501:125000),1,[]);
xr_s3=reshape(data_fft(:,125001:187500),1,[]);
xr_s4=reshape(data_fft(:,187501:250000),1,[]);
xr_s5=reshape(data_fft(:,250001:312500),1,[]);
xr_s6=reshape(data_fft(:,312501:375000),1,[]);
xr_s7=reshape(data_fft(:,375001:437500),1,[]);
xr_s8=reshape(data_fft(:,437501:500000),1,[]);

%demodulasi
%%demodulasi untuk user 1
demod_I=real(xr_s1);
demod_Q=imag(xr_s1);
for n=1:jumlah_data/2
    if demod_I(1,n)<0
        s_IR(1,n)=-1;
    else s_IR(1,n)=1;
    end
    if demod_Q(1,n)<0
        s_QR(1,n)=-1;
    else s_QR(1,n)=1;
    end
end
est_bit=[];
est_bit(1,:)=s_IR;
est_bit(2,:)=s_QR;
datadata=reshape(est_bit,1,jumlah_data);
est_bit1=(datadata+1)/2;
y1=est_bit1;

%demodulasi untuk user 2
demod_II=real(xr_s2);
demod_QQ=imag(xr_s2);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II(1,k)<0
        s_IR2(1,k)=-1;

```

```

else s_IR2(1,k)=1;
end
if demod_QQ(1,k)<0
    s_QR2(1,k)=-1;
else s_QR2(1,k)=1;
end
end

est_bit2=[];
est_bit2(1,:)=s_IR2;
est_bit2(2,:)=s_QR2;
datadata2=reshape(est_bit2,1,jumlah_data);
est_bit12=(datadata2+1)/2;
y2=est_bit12;

%demodulasi untuk user 3
demod_II3=real(xr_s3);
demod_QQ3=imag(xr_s3);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II3(1,k)<0
        s_IR3(1,k)=-1;
    else s_IR3(1,k)=1;
    end
    if demod_QQ3(1,k)<0
        s_QR3(1,k)=-1;
    else s_QR3(1,k)=1;
    end
end

est_bit3=[];
est_bit3(1,:)=s_IR3;
est_bit3(2,:)=s_QR3;
datadata3=reshape(est_bit3,1,jumlah_data);
est_bit13=(datadata3+1)/2;
y3=est_bit13;

%demodulasi untuk user 4
demod_II4=real(xr_s4);
demod_QQ4=imag(xr_s4);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II4(1,k)<0
        s_IR4(1,k)=-1;

```



```

else s_IR4(1,k)=1;
end
if demod_QQ4(1,k)<0
    s_QR4(1,k)=-1;
else s_QR4(1,k)=1;
end
end

est_bit4=[];
est_bit4(1,:)=s_IR4;
est_bit4(2,:)=s_QR4;
datadata4=reshape(est_bit4,1,jumlah_data);
est_bit14=(datadata4+1)/2;
y4=est_bit14;

    %demodulasi untuk user 5
demod_II5=real(xr_s5);
demod_QQ5=imag(xr_s5);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II5(1,k)<0
        s_IR5(1,k)=-1;
    else s_IR5(1,k)=1;
    end
    if demod_QQ5(1,k)<0
        s_QR5(1,k)=-1;
    else s_QR5(1,k)=1;
    end
end

est_bit5=[];
est_bit5(1,:)=s_IR5;
est_bit5(2,:)=s_QR5;
datadata5=reshape(est_bit5,1,jumlah_data);
est_bit15=(datadata5+1)/2;
y5=est_bit15;

    %demodulasi untuk user6
demod_II6=real(xr_s6);
demod_QQ6=imag(xr_s6);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II6(1,k)<0
        s_IR6(1,k)=-1;

```

```

else s_IR6(1,k)=1;
end
if demod_QQ6(1,k)<0
    s_QR6(1,k)=-1;
else s_QR6(1,k)=1;
end
end

est_bit6=[];
est_bit6(1,:)=s_IR6;
est_bit6(2,:)=s_QR6;
datadata6=reshape(est_bit6,1,jumlah_data);
est_bit16=(datadata6+1)/2;
y6=est_bit16;

%demodulasi untuk user 7
demod_II7=real(xr_s7);
demod_QQ7=imag(xr_s7);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II7(1,k)<0
        s_IR7(1,k)=-1;
    else s_IR7(1,k)=1;
    end
    if demod_QQ7(1,k)<0
        s_QR7(1,k)=-1;
    else s_QR7(1,k)=1;
    end
end

est_bit7=[];
est_bit7(1,:)=s_IR7;
est_bit7(2,:)=s_QR7;
datadata7=reshape(est_bit7,1,jumlah_data);
est_bit17=(datadata7+1)/2;
y7=est_bit17;

%demodulasi untuk user 8
demod_II8=real(xr_s8);
demod_QQ8=imag(xr_s8);
for k=1:jumlah_data/2
    if demod_II8(1,k)<0
        s_IR8(1,k)=-1;

```

```

else s_IR8(1,k)=1;
end
if demod_QQ8(1,k)<0
    s_QR8(1,k)=-1;
else s_QR8(1,k)=1;
end
end

est_bit8=[];
est_bit8(1,:)=s_IR8;
est_bit8(2,:)=s_QR8;
datadata8=reshape(est_bit8,1,jumlah_data);
est_bit18=(datadata8+1)/2;
y8=est_bit18;

%%bit error rate
eror1=biterr(data_input(1,:),y1);
eror2=biterr(data_input(2,:),y2);
eror3=biterr(data_input(3,:),y3);
eror4=biterr(data_input(4,:),y4);
eror5=biterr(data_input(5,:),y5);
eror6=biterr(data_input(6,:),y6);
eror7=biterr(data_input(7,:),y7);
eror8=biterr(data_input(8,:),y8);
ber1=eror1/jumlah_data;
ber2=eror2/jumlah_data;
ber3=eror3/jumlah_data;
ber4=eror4/jumlah_data;
ber5=eror5/jumlah_data;
ber6=eror6/jumlah_data;
ber7=eror7/jumlah_data;
ber8=eror8/jumlah_data;
ber(1,m)=(ber1+ber2+ber3+ber4+ber5+ber6+ber7+ber
8)/2;
m=m+1;
end
semilogy(0:1:snr,ber,'-ok')
grid on

```

## RIWAYAT PENULIS



Nama : Isky Fihafny Asdira  
Nama Panggilan : Isky  
NRP : 07111645000003  
Tempat, tanggal lahir : Mojokerto, 8 Juni 1994  
Alamat : Jalan Pendidikan 111 Pulokulon RT.03  
RW.02 Kelurahan Pulorejo Kecamatan  
Prajuritkulon Kota Mojokerto  
Email : iskyfihafny@gmail.com