

## EVALUASI KINERJA SISTEM MIMO-OFDMA MENGGUNAKAN ALOKASI SUB-PEMBAWA FDMA BERUPA *BLOCK* DAN *INTERLEAVED*

Haryo Punto Susilo <sup>[1]</sup>, Sudjadi <sup>[2]</sup>, Sukiswo <sup>[2]</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jalan Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

### ABSTRACT

Nowadays, The use of the wireless channel is become popular, although it has many limitations. In addition, the need for wireless data access in high speed is also encouraging the development of techniques that can improve system capacity and reliability of the channel. One technique is quite popular and can meet the above requirements are MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) technology utilizing OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), a wide channel can be divided into several narrow subchannel, each of which can be used to transmit data in parallel so that a channel can be used jointly by several user.

In this final project will combine techniques of transmission between MIMO and OFDMA using MATLAB simulator. With FDMA subcarrier allocation of Block and Interleaved, transmission channels used are Rayleigh and AWGN. OFDMA with MIMO systems integration is expected to give better performance, the goal became the rationale for combining the two systems are widely used. From the simulation BER value of the performance of the system using Block and Interleaved subcarrier allocation show value that are not much different. And the use of MIMO system make the system better BER value.

**Keywords:** MIMO, OFDMA, ,QPSK, Block, Interleaved, Rayleigh, AWGN

## I. PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Salah satu teknik yang cukup populer dan dapat untuk mengatasi masalah yang terjadi pada komunikasi menggunakan kanal nirkabel adalah sistem MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*). MIMO merupakan pengembangan dari sistem multi antenna yang sudah ada, yaitu SIMO (Single-Input Multiple-Output), dan MISO (Multiple-Input Single-Output).

Penggunaan OFDMA juga dapat membantu mengatasi masalah transmisi sinyal maupun data. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) merupakan metoda akses jamak yang memanfaatkan teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), sebuah kanal lebar dapat dibagi menjadi beberapa subkanal sempit, yang masing-masingnya dapat digunakan untuk mengirimkan data secara paralel. OFDMA mengembangkan kemampuan OFDM, sehingga sebuah kanal dapat digunakan bersama-sama oleh beberapa pengguna.

### I.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisis kinerja kombinasi MIMO dengan OFDMA.
2. Membandingkan nilai BER pada sistem OFDMA baik menggunakan MIMO maupun tanpa MIMO.
3. Membandingkan nilai BER pada Teknik Alokasi Sub-pembawa (Block & Interleaved FDMA) pada sistem OFDMA baik menggunakan MIMO maupun tanpa MIMO.

### I.3 Pembatasan Masalah

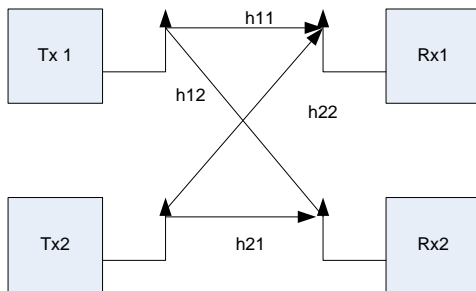
Agar permasalahan yang dibahas terfokus dan tidak melebar, maka Tugas Akhir ini mengambil batasan masalah sebagai berikut:

1. Sinyal masukan adalah data digital acak.
2. Modulasi digital yang digunakan adalah QPSK.
3. Simulasi yang diamati adalah BER pada penerima baik menggunakan MIMO atau tanpa MIMO pada sistem MIMO-OFDMA.
4. Simulasi dilakukan hanya pada kanal *Downlink*.
5. Menggunakan antenna STBC MIMO (2x5).

6. Kanal yang digunakan berupa kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*.

## II. DASAR TEORI MIMO

Teknologi MIMO kali pertama diperkenalkan oleh seorang ahli dari Bell Laboratories pada tahun 1984. Dengan teknologi MIMO, sebuah penerima atau pengirim dapat menggunakan lebih dari satu antena. Tujuannya adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling melemahkan. MIMO juga memiliki kelemahan, yaitu adanya waktu jeda yang menyebabkan adanya tunda pada antena akan mengirimkan sinyal, meskipun pengiriman sinyal lebih cepat. Waktu jeda ini terjadi karena adanya proses yang membuat sistem harus membagi sinyal mengikuti jumlah antena yang dimiliki oleh perangkat MIMO yang jumlahnya lebih dari satu.



Gambar 1 Teknik pentransmisi pada MIMO.

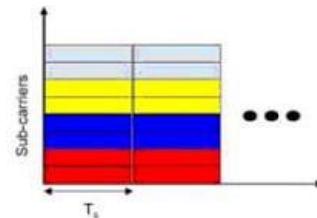
Secara sederhana *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) adalah penggunaan multi antena baik di pemancar (pengirim) dan juga di penerima (receiver) untuk meningkatkan performa telekomunikasi. MIMO sendiri merupakan salah satu bentuk dari *Smart Antenna*. MIMO digunakan dalam teknologi komunikasi nirkabel karena mempunyai kemampuan yang berarti dalam meningkatkan data *throughput* tanpa adanya tambahan lebar pita maupun *transmit power* (daya pemancar).

### Prinsip Dasar OFDMA

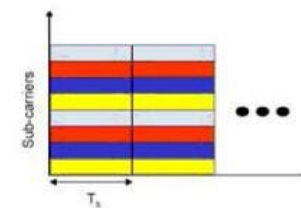
OFDMA merupakan sistem multipengguna berbasis OFDM yang menggabungkan teknik multiakses yang saat ini telah digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel. Multiakses memungkinkan beberapa pengguna berbagi spektrum frekuensi secara simultan tanpa saling mengganggu. Saat ini ada beberapa metode multiakses, antara lain : FDMA, TDMA dan CDMA. Dalam Tugasakhir ini menggunakan metode multiakses FDMA,

sehingga sistem OFDMA yang dipakai adalah OFDM-FDMA.

Metode OFDM-FDMA membagi user dengan menempatkannya pada set subcarrier yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan alokasi subcarrier ke user, bentuk variasi OFDM-FDMA yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Block dan Interleaved FDMA.



(a)



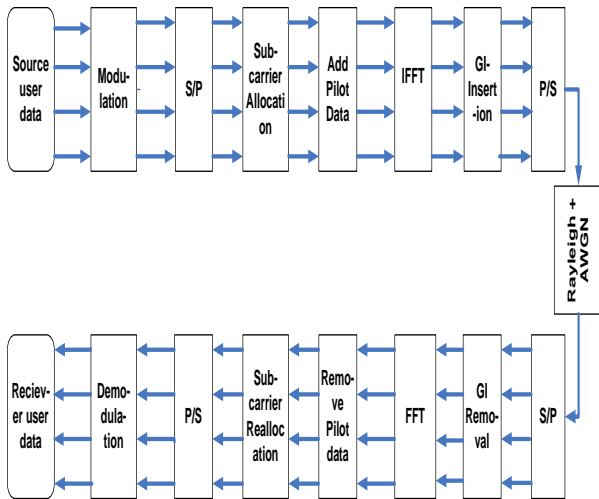
(b)

Gambar 2 (a) Block (b) Interleaved FDMA.

### Sistem OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah bentuk khusus dari *multi carrier modulation* (MCM) yang membagi aliran data dengan kecepatan tinggi ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui beberapa *subcarrier*. Pada OFDM, data masukan dialirkan ke beberapa *subcarrier* paralel yang saling orthogonal dengan laju data yang lebih rendah. Dengan sifat orthogonalitas ini maka antar subcarrier dapat dibuat *overlap* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). *Multiplexing subcarrier* secara *overlap* tersebut tentu saja dapat menghemat *resource* berupa *bandwidth*. Sedangkan pada sistem transmisi multicarrier konvensional, untuk mengirimkan data secara paralel digunakan beberapa *carrier* yang tidak *overlap*, selain itu dibutuhkan juga *guard band* untuk membatasi *carrier* satu dengan yang lainnya. Pada OFDM, sifat orthogonal ini dapat dibangkitkan dengan menggunakan IFFT (*Inves Fast Fourier Transform*). IFFT digunakan pada modulasi dan FFT pada demodulasi sinyal OFDM.

### Pemancar dan Penerima OFDMA



Gambar 3 Pemancar dan Penerima OFDMA.

Pemancar dalam sistem OFDMA terdiri dari *data masukan*, modulator, *Serial to Parallel (S/P)*, *Alokasi Sub-pembawa*, *Pilot Insertion*, *IFFT*, *Guard Interval*, dan *Parallel to Serial (P/S)*. Persamaan untuk IFFT dapat dilihat pada persamaan :

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)$$

Kemudian simbol-simbol OFDMA yang masih dalam bentuk paralel akan diubah kembali menjadi bentuk serial pada blok *parallel to serial*. Sinyal tersebut akan diberi tambahan *guard interval* yang untuk mengurangi terjadinya ISI (*Intersymbol Interference*).

Proses yang terjadi pada penerima adalah kebalikan dari proses yang dilakukan pada pemancar. Penerima akan membawa sinyal terima yang telah melalui kanal, kemudian dipisahkan antara sinyal pilot dengan data, sinyal pilot diestimasi untuk mendapatkan nilai S N R yang diperlukan sebagai variabel acuan dalam proses modulasi adaptif, lalu sinyal data dilakukan proses kebalikan seperti yang terjadi pada pemancar sampai didapatkan data-data kembali sesuai seperti saat dikirimkan.

### Modulasi QPSK

QPSK atau *quadrature-PSK* adalah bentuk lain dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana  $M=4$  (karenanya dinamakan "*quaternary*" yang berarti "4"). *M-ary* adalah suatu bentuk turunan dari kata "*binary*".  $M$  berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. Dalam QPSK ada empat *phase* keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Karena masukan digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner (basis 2), maka untuk menghasilkan empat kondisi

masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Menggunakan 2 bit, ada empat kondisi yang mungkin: 00, 01, 10 dan 11. Karena itu dalam QPSK data masukan biner dikelompokkan dalam grup yang terdiri dari 2 bit yang disebut dibit. Setiap kode dibit membangkitkan salah satu dari *phase* keluaran yang mungkin. Oleh karena itu setiap dibit 2-bit masuk ke dalam modulator, terjadi satu perubahan keluaran.

### Kanal Transmisi

Kanal transmisi merupakan kanal yang digunakan untuk mengirimkan data atau informasi.

Dalam komunikasi, kanal additive white Gaussian derau (AWGN) adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari white derau dengan kerapatan spectrum yang konstan dan distribusi Gaussian dari sample derau. Kanal ini tidak melibatkan fading, frequency selectivity, interference, nonlinearity dan dispersion.

.Distribusi *Rayleigh* merupakan hasil penjumlahan dari dua kuadratur Gaussian derau.

### Signal to Noise Ratio (SNR)

*Signal to Noise Ratio* (SNR) adalah suatu konsep yang diartikan sebagai perbandingan daya sinyal dengan daya derau . SNR membandingkan tingkat sinyal yang diinginkan dengan tingkat derau. Semakin tinggi rasio, derau semakin tidak mengganggu. Dalam bidang teknik SNR adalah rasio daya antara suatu sinyal dengan derau.

### Bit Error Rate (BER)

Dalam telekomunikasi, rasio error adalah rasio jumlah bit, elemen, karakter, atau blok yang diterima dan dibanding dengan jumlah total bit, elemen, karakter, ataupun blok yang dikirim sepanjang interval waktu tertentu. Rasio yang paling sering ditemui adalah bit error ratio (BER). Contoh BER adalah jumlah kesalahan bit (error bits) yang diterima dibagi dengan jumlah total bit yang dikirimkan. Biasanya kurva BER digambarkan dalam hubungan BER (dB) dengan SNR (dB).

### III. PROGRAM SIMULASI

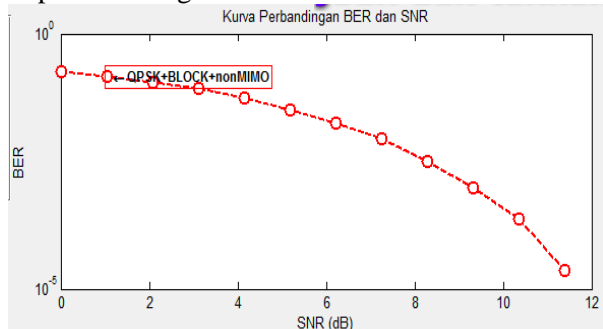
Simulasi sistem MIMO-OFDMA pada tugas akhir ini menggunakan 1024 IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) yang perincinya sebagai berikut : 120 pilot sub-pembawa, 720 data sub-pembawa, dan 184 null subpembawa dengan modulasi QPSK pada kanal AWGN (additive white Gaussian noise) dan

distribusi *Rayleigh*, dan menggunakan STBC MIMO 2x5. Jumlah user dalam simulasi adalah 30.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

##### Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Block* FDMA Tanpa Menggunakan MIMO

Setelah disimulasikan untuk hasil grafik penggunaan modulasi QPSK pada alokasi sub-pembawa menggunakan *Block* FDMA diperlihatkan gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan Alokasi *Block* Tanpa MIMO

Dan untuk keterangan mengenai nilai perbandingan BER dan SNR dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Block* FDMA tanpa menggunakan MIMO

SNR	BER
0	$1.853 \times 10^{-1}$
1.345	$1.489 \times 10^{-1}$
2.069	$1.140 \times 10^{-1}$
3.1034	$8.561 \times 10^{-2}$
4.1379	$5.486 \times 10^{-2}$
5.1724	$3.259 \times 10^{-2}$
6.2069	$1.743 \times 10^{-2}$
7.2414	$8.696 \times 10^{-3}$
8.2759	$3.148 \times 10^{-3}$
9.3103	$9.645 \times 10^{-4}$
10.345	$2.315 \times 10^{-4}$
11.379	$2.315 \times 10^{-5}$
12.414	0
13.448	0
14.483	0
15.517	0
16.552	0

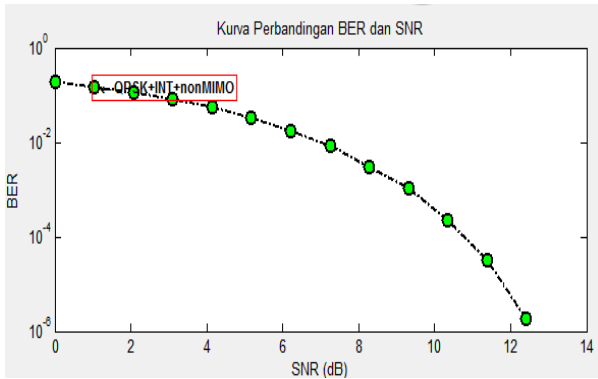
Tabel 1 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Block* FDMA tanpa menggunakan MIMO (Lanjutan)

17.586	0
18.621	0
19.655	0
20.69	0
21.724	0
22.759	0
23.793	0
24.828	0
25.862	0
26.897	0
27.931	0
28.966	0
30	0

Tabel 1 memperlihatkan hasil simulasi kinerja sistem OFDMA menggunakan alokasi sub-pembawa *Block* dari rentang SNR 0-30 dB. Nilai BER semakin kecil ketika nilai SNR lebih besar. BER menjadi 0 ketika nilai SNR diatas 11 dB. Nilai BER membaik dan mencapai nilai 0 sebanding dengan nilai SNR yang semakin besar. Pada SNR 0 dB memiliki BER  $1.853 \times 10^{-1}$  dB, SNR 1.345 dB memiliki BER  $1.489 \times 10^{-1}$  dB dan pada SNR 2.069 dB, menunjukkan BER  $1.140 \times 10^{-1}$  dB, terlihat tidak begitu besar perbedaan BER pada rentang nilai SNR antara 0 dB sampai 2.069 dB. Namun akan terjadi perubahan nilai yang cukup berarti ketika memasuki SNR 3.1034 dB, yang memiliki BER  $8.561 \times 10^{-2}$  dB. SNR terus mengecil dalam rentang antara 3.1034 dB hingga 6.2069 dB dengan selisih  $8.2642 \times 10^{-2}$ . Jika dilihat dari grafik 4.2, tingkat penurunan BER cenderung linear pada titik 0 sampai 2.069 dB, 3.1034 sampai 4.1379 dB dengan laju penurunan BER  $1.4267 \times 10^{-2}$ /dB.

##### Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Interleaved* FDMA Tanpa Menggunakan MIMO

Gambar 5 merupakan grafik hasil simulasi modulasi QPSK dengan *Interleaved* Tanpa MIMO.



Gambar 5 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan Alokasi *Block* Tanpa MIMO

Pada tabel 2 dapat dilihat data hasil simulasi modulasi QPSK menggunakan alokasi sub-pembawa berupa *Interleaved* FDMA tanpa menggunakan MIMO.

Tabel 2 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Interleaved* FDMA tanpa menggunakan MIMO

SNR	BER
0	1.840x10 <sup>-01</sup>
1.345	1.493 x10 <sup>-02</sup>
2.069	1.151 x10 <sup>-02</sup>
3.1034	8.227x10 <sup>-02</sup>
4.1379	5.543x10 <sup>-02</sup>
5.1724	3.335x10 <sup>-02</sup>
6.2069	1.777x10 <sup>-02</sup>
7.2414	8.543x10 <sup>-03</sup>
8.2759	3.163x10 <sup>-03</sup>
9.3103	9.783x10 <sup>-04</sup>
10.345	1.862x10 <sup>-04</sup>
11.379	2.7130x10 <sup>-05</sup>
12.414	5.4253x10 <sup>-06</sup>
13.448	0
14.483	0
15.517	0
16.552	0
17.586	0
18.621	0

Tabel 2 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Interleaved* FDMA tanpa menggunakan MIMO (Lanjutan)

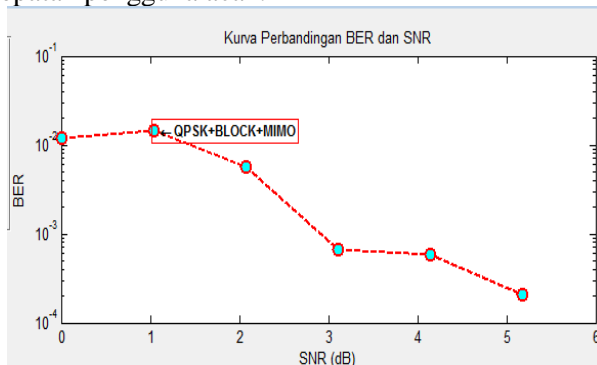
19.655	0
20.69	0
21.724	0
22.759	0
23.793	0
24.828	0
25.862	0
26.897	0
27.931	0
28.966	0
30	0

Tabel 2 memperlihatkan hasil simulasi modulasi QPSK menggunakan alokasi sub-pembawa *Interleaved* dari rentang SNR 0-30. dB BER semakin kecil ketika SNR lebih besar. BER menuju 0 ketika SNR diatas 11 dB. BER membaik dan mencapai 0 sebanding dengan SNR yang semakin besar, jika SNR semakin besar maka BER akan semakin baik. Ketika SNR 0 dB BER adalah 1.840x10<sup>-01</sup> dB, dan SNR 1.345 dB memiliki BER 1.493x10<sup>-01</sup> dB, dan pada SNR 2.069 dB, BER sebesar 1.151x10<sup>-01</sup> dB, terlihat tidak begitu besar perbedaan BER pada rentang nilai SNR antara 0 dB sampai 2.069 dB. Namun akan terjadi perubahan nilai yang cukup berarti ketika memasuki SNR 3.1034 dB, yang memiliki BER 8.227x10<sup>-02</sup> dB. SNR terus mengecil dalam rentang antara 3.1034 dB hingga 12.414 dB dan BER menjadi 0 ketika SNR 13.448 dB. Dari gambar 4.3, tingkat penurunan BER cenderung linear pada titik 1.345 sampai 2.069 dB, 7.2414 sampai 9.3103 dB dan laju penurunan BER rata-rata 1.0888x10<sup>-02</sup>/dB.

Perbandingan nilai BER antara *Block* dan *Interleaved* FDMA tanpa menggunakan MIMO terlihat tidak begitu banyak berbeda. Pada SNR 0 dB, SNR pada *Block* 1.853x10<sup>-01</sup> dan pada *Interleaved* sebesar 1.840x10<sup>-01</sup>, begitu pula dengan BER untuk SNR selanjutnya. Namun yang terlihat sedikit berbeda adalah pada saat nilai SNR sebesar 12.414 dB, untuk alokasi sub-pembawa pada *Block* nilai sudah menuju 0 dB akan tetapi pada *Interleaved* nilai BER masi ada, sebesar 5.4253x10<sup>-06</sup> dB.

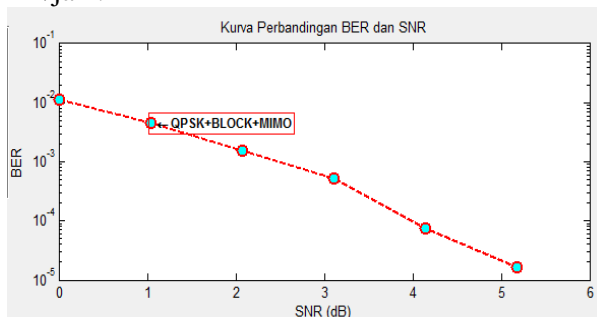
## Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Block* Menggunakan MIMO

Berikut merupakan simulasi untuk modulasi QPSK dengan *Block* menggunakan MIMO. Simulasi ini akan dilakukan seperti pada simulasi QPSK dengan *Block* tanpa MIMO, namun pada pembahasan kali ini akan digunakan MIMO untuk simulasi. Berikut merupakan grafik dari modulasi QPSK dengan *Block* dengan MIMO dengan kecepatan pengguna acak.



Gambar 6 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan *Block* menggunakan MIMO dengan kecepatan pengguna acak.

Sebagai pembandingan selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan kecepatan pengguna yang sudah ditentukan, yaitu 30 km/jam.



Gambar 7 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan *Block* menggunakan MIMO dengan kecepatan pengguna 30 km/jam.

Data untuk hasil simulasi modulasi QPSK dengan *Block* menggunakan MIMO dengan kecepatan pengguna yang ditentukan dan dengan kecepatan pengguna yang acak dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Block* Dengan MIMO

SNR	BER	BER
	Kecepatan Acak	Kecepatan 30 km/jam
0	$1.176 \times 10^{-2}$	$1.114 \times 10^{-2}$
1.345	$1.467 \times 10^{-2}$	$4.581 \times 10^{-3}$
2.069	$5.702 \times 10^{-3}$	$1.528 \times 10^{-3}$
3.1034	$6.582 \times 10^{-4}$	$5.226 \times 10^{-4}$
4.1379	$5.823 \times 10^{-4}$	$7.596 \times 10^{-5}$
5.1724	$2.045 \times 10^{-4}$	$1.627 \times 10^{-5}$
6.2069	0	0
7.2414	0	0
8.2759	0	0
9.3103	0	0
10.345	0	0
11.379	0	0
12.414	0	0
13.448	0	0
14.483	0	0
15.517	0	0
16.552	0	0
17.586	0	0
18.621	0	0
19.655	0	0
20.69	0	0
21.727	0	0
22.759	0	0
23.793	0	0
24.828	0	0
25.862	0	0
26.897	0	0
27.931	0	0
28.966	0	0
30	0	0

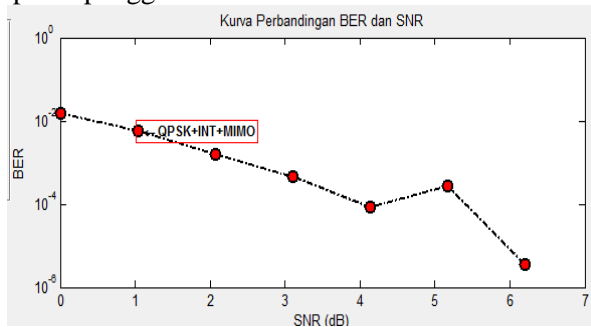
Secara detail dapat dijelaskan bahwa pada saat SNR 0 dB, BER pada percobaan  $1.176 \times 10^{-2}$  dB. BER pada SNR 1.345 dB untuk percobaan sebesar  $1.467 \times 10^{-2}$  dB. Untuk percobaan yang dilakukan BER menuju 0 ketika SNR diatas 6.2069 dB. Kecepatan pengguna yang acak mempengaruhi nilai fd pada kanal Reyleigh.

Pada kecepatan 30 km/jam diperoleh hasil : untuk SNR 0 dB, nilai BER sebesar  $1.114 \times 10^{-2}$  dB, pada SNR 3.1034 nilai BER sebesar  $1.647 \times 10^{-3}$  dB, pada nilai SNR 5.1724 dB

memiliki BER sebesar  $1.085 \times 10^{-5}$  dB, dan pada SNR 6.2069 dB nilai BER sudah menjadi 0 dB.

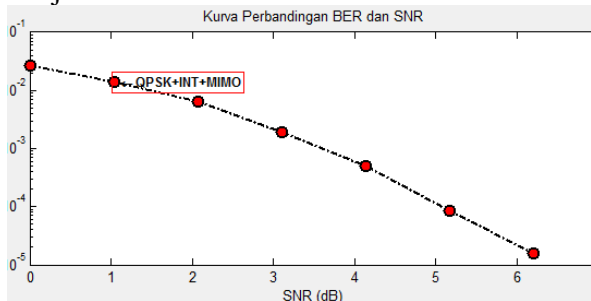
### Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Interleaved* Menggunakan MIMO

Berikut merupakan simulasi untuk modulasi QPSK dengan *Interleaved* menggunakan MIMO. Simulasi ini akan dilakukan seperti pada simulasi QPSK dengan Block tanpa MIMO, namun pada pembahasan kali ini akan digunakan MIMO untuk simulasi. Berikut merupakan grafik dari modulasi QPSK dengan *Interleaved* dengan MIMO dengan kecepatan pengguna acak.



Gambar 8 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan *Interleaved* menggunakan MIMO dengan kecepatan pengguna acak.

Sebagai pembandingan selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan kecepatan pengguna yang sudah ditentukan, yaitu 40 km/jam.



Gambar 9 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan *Interleaved* menggunakan MIMO dengan kecepatan 40 km/jam.

Setelah melakukan simulasi program untuk modulasi QPSK dengan *Interleaved* Alokasi dengan MIMO, data hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4 Data Hasil Simulasi Kinerja Sistem OFDMA Dengan Alokasi Sub-Pembawa *Interleaved* Dengan MIMO

SNR	BER	
	Kecepatan Acak	Kecepatan 40 km/jam
0	$1.495 \times 10^{-02}$	$2.732 \times 10^{-02}$
1.345	$5.817 \times 10^{-03}$	$1.363 \times 10^{-02}$
2.069	$1.599 \times 10^{-03}$	$6.183 \times 10^{-03}$
3.1034	$4.611 \times 10^{-04}$	$1.875 \times 10^{-03}$
4.1379	$8.499 \times 10^{-05}$	$4.938 \times 10^{-04}$
5.1724	$2.730 \times 10^{-04}$	$8.488 \times 10^{-04}$
6.2069	$3.617 \times 10^{-06}$	$1.543 \times 10^{-05}$
7.2414	0	0
8.2759	0	0
9.3103	0	0
10.345	0	0
11.379	0	0
12.414	0	0
13.448	0	0
14.483	0	0
15.517	0	0
16.552	0	0
17.586	0	0
18.621	0	0
19.655	0	0
20.69	0	0
21.727	0	0
22.759	0	0
23.793	0	0
24.828	0	0
25.862	0	0
26.897	0	0
27.931	0	0
28.966	0	0
30	0	0

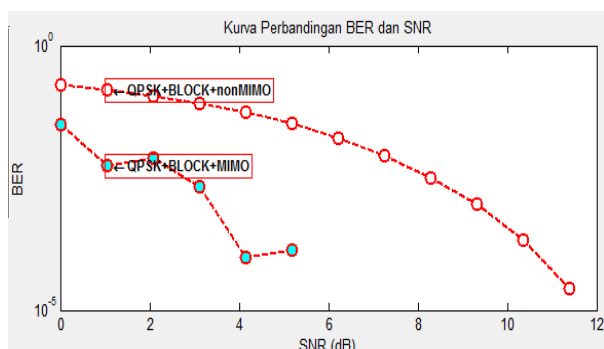
Simulasi dilakukan dengan kecepatan pengguna yang acak dan ditentukan. Pada kecepatan pengguna acak bisa dikatakan bahwa grafik untuk SNR dan BER tidak berbentuk linear sempurna dengan laju penurunan BER  $2.075 \times 10^{-03}$ /dB. Secara detail dapat dijelaskan bahwa pada saat SNR 0 dB, BER bernilai  $1.495 \times 10^{-02}$  dB. BER pada SNR 1.345 dB untuk percobaan sebesar  $5.817 \times 10^{-03}$  dB, untuk percobaan pertama BER 0 ketika SNR 7.2414 dB begitu juga pada percobaan kedua. Namun pada percobaan nilai

BER sempat naik kembali yaitu dari BER  $4.611 \times 10^{-04}$  dB menjadi  $2.730 \times 10^{-04}$  dB dan menjadi turun atau menjadi  $3.617 \times 10^{-06}$  dB. Hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan yang acak yang mempengaruhi nilai fd.

Pada kecepatan 40 km/jam diperoleh hasil : untuk SNR 0 dB, nilai BER sebesar  $2.732 \times 10^{-02}$  dB, pada SNR 3.1034 nilai BER sebesar  $1.875 \times 10^{-03}$  dB, pada nilai SNR 5.1724 dB memiliki BER sebesar  $8.488 \times 10^{-04}$  dB, dan pada SNR 6.2069 dB nilai BER  $1.543 \times 10^{-05}$  dB, dan menuju 0 pada nilai SNR diatas 7.2414 dB.

**Perbandingan Kinerja Sistem OFDMA Tanpa Menggunakan MIMO dan dengan Menggunakan MIMO Dengan Alokasi Sub-Pembawa Block**

Grafik hasil perbandingan kinerja antara OFDMA modulasi QPSK tanpa MIMO dan dengan MIMO menggunakan Block diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan Block tanpa dan dengan MIMO

Tabel 5 Data Hasil Perbandingan Kinerja Sistem OFDMA dengan Block dengan MIMO

SNR	BER tanpa MIMO	BER dengan MIMO
0	$1.841 \times 10^{-01}$	$3.211 \times 10^{-02}$
1.345	$1.487 \times 10^{-01}$	$5.498 \times 10^{-03}$
2.069	$1.138 \times 10^{-01}$	$7.628 \times 10^{-03}$
3.1034	$8.260 \times 10^{-02}$	$2.123 \times 10^{-03}$
4.1379	$5.503 \times 10^{-02}$	$9.765 \times 10^{-05}$
5.1724	$3.375 \times 10^{-02}$	$1.410 \times 10^{-04}$
6.2069	$1.811 \times 10^{-02}$	0
7.2414	$8.015 \times 10^{-03}$	0
8.2759	$3.519 \times 10^{-03}$	0
9.3103	$9.150 \times 10^{-04}$	0
10.345	$2.260 \times 10^{-04}$	0
11.379	$2.170 \times 10^{-05}$	0
12.414	0	0

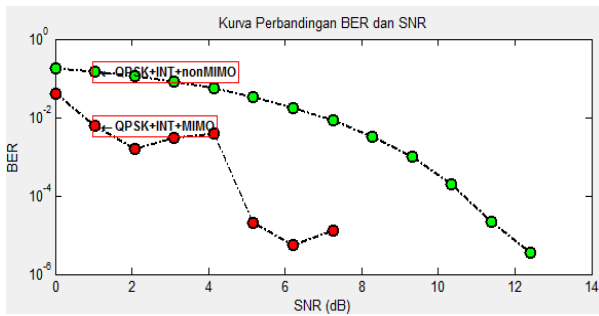
Tabel 5 Data Hasil Perbandingan Kinerja Sistem OFDMA dengan Block dengan MIMO (Lanjutan)

13.448	0	0
14.483	0	0
15.517	0	0
16.552	0	0
17.586	0	0
18.621	0	0
19.655	0	0
20.69	0	0
21.724	0	0
22.759	0	0
23.793	0	0
24.828	0	0
25.862	0	0
26.897	0	0
27.931	0	0
28.966	0	0
30	0	0

Setelah menganalisa hasil tabel dan grafik terlihat perbedaan antara menggunakan MIMO dan tidak menggunakan MIMO. Pada simulasi tanpa menggunakan MIMO BER pada saat SNR 0 sebesar  $1.841 \times 10^{-01}$  dB dan yang menggunakan MIMO sebesar  $3.211 \times 10^{-02}$  dB. Hasil BER untuk yang menggunakan MIMO terlihat lebih baik dibandingkan dengan yang tidak menggunakan MIMO. Pada simulasi tanpa menggunakan MIMO, BER 0 pada saat SNR 12.414 dB tapi pada simulasi menggunakan MIMO, BER menjadi 0 ketika SNR 6.2069 dB, nilai hasil yang cukup berbeda. Dari grafik juga terlihat untuk nilai SNR yang sama, BER menggunakan MIMO jauh lebih kecil atau lebih baik, dengan nilai selisih rata-rata BER antara kedua simulasi sebesar  $9.51 \times 10^{-02}$  dB. Untuk mencapai nilai BER 0, sistem non MIMO membutuhkan SNR 12.414 dB, dan sistem yang menggunakan MIMO membutuhkan SNR sebesar 6.2069 dB.

**Perbandingan Kinerja Sistem OFDMA Tanpa Menggunakan MIMO dan dengan Menggunakan MIMO Dengan Alokasi Sub-Pembawa Interleaved**

Perbandingan kinerja selanjutnya adalah perbandingan kinerja antara OFDMA modulasi QPSK tanpa MIMO dan menggunakan MIMO dengan Interleaved, grafik perbandingan simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar 11, dan data hasil simulasi disajikan pada tabel 6.



Gambar 11 Grafik Kinerja Sistem OFDMA dengan *Interleaved* tanpa dan dengan MIMO

Tabel 6 Data Hasil Perbandingan Kinerja Sistem OFDMA dengan *Interleaved* dengan MIMO

SNR	BER tanpa MIMO	BER dengan MIMO
0	$1.840 \times 10^{-1}$	$3.931 \times 10^{-2}$
1.345	$1.493 \times 10^{-2}$	$6.099 \times 10^{-3}$
2.069	$1.151 \times 10^{-2}$	$1.567 \times 10^{-3}$
3.1034	$8.227 \times 10^{-2}$	$2.982 \times 10^{-3}$
4.1379	$5.543 \times 10^{-2}$	$3.832 \times 10^{-3}$
5.1724	$3.335 \times 10^{-2}$	$1.989 \times 10^{-5}$
6.2069	$1.777 \times 10^{-2}$	$5.425 \times 10^{-6}$
7.2414	$8.543 \times 10^{-3}$	$1.2695 \times 10^{-5}$
8.2759	$3.163 \times 10^{-3}$	0
9.3103	$9.783 \times 10^{-4}$	0
10.345	$1.862 \times 10^{-4}$	0
11.379	$2.7130 \times 10^{-5}$	0
12.414	$5.4253 \times 10^{-6}$	0
13.448	0	0
14.483	0	0
15.517	0	0
16.552	0	0
17.586	0	0
18.621	0	0
19.655	0	0
20.69	0	0
21.724	0	0
22.759	0	0
23.793	0	0
24.828	0	0
25.862	0	0
26.897	0	0
27.931	0	0
28.966	0	0
30	0	0

Setelah menganalisa hasil tabel dan grafik terlihat perbedaan antara menggunakan MIMO dan tidak menggunakan MIMO. Pada simulasi tanpa menggunakan MIMO, BER pada saat SNR 0 sebesar  $1.841 \times 10^{-1}$  dB dan yang menggunakan MIMO sebesar  $3.931 \times 10^{-2}$  dB. Hasil BER untuk yang menggunakan MIMO terlihat lebih baik dibandingkan dengan yang tidak menggunakan MIMO. Pada simulasi tanpa menggunakan MIMO nilai BER 0 pada saat SNR adalah 13.448 dB tapi pada simulasi menggunakan MIMO nilai BER menjadi 0 ketika nilai SNR adalah 8.2759 dB, nilai hasil yang cukup berbeda. Dari grafik juga terlihat untuk nilai SNR yang sama, BER menggunakan MIMO jauh lebih kecil atau lebih baik, dengan nilai selisih rata-rata BER antara kedua simulasi sebesar  $4.42 \times 10^{-2}$  dB. Untuk mencapai nilai BER 0, sistem non MIMO membutuhkan SNR 13.448 dB, dan sistem yang menggunakan MIMO membutuhkan SNR sebesar 8.2759 dB.

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisis pada sistem adalah sebagai berikut :

1. Kinerja sistem OFDMA tanpa menggunakan MIMO menunjukkan variasi alokasi sub-pembawa *Block FDMA* memiliki nilai BER yang lebih baik dibandingkan dengan *Interleaved FDMA*.
2. Kinerja sistem OFDMA tanpa menggunakan MIMO memiliki selisih nilai BER rata-rata antara alokasi sub-pembawa *Block* dan *Interleaved* sebesar  $1.87 \times 10^{-2}$  dB.
3. Laju penurunan BER yang didapat pada simulasi sistem OFDMA tanpa menggunakan MIMO dengan alokasi sub-pembawa *Block FDMA* sebesar  $1.4267 \times 10^{-2}$  /dB.
4. Laju penurunan BER yang didapat pada simulasi sistem OFDMA tanpa menggunakan MIMO dengan alokasi sub-pembawa *Interleaved FDMA* sebesar  $1.0888 \times 10^{-2}$  /dB.
5. Kinerja sistem OFDMA menggunakan MIMO memiliki laju penurunan BER yang bervariasi dengan rata-rata laju penurunan  $2.840 \times 10^{-3}$  /dB.
6. Kinerja sistem OFDMA menggunakan MIMO dengan alokasi

sub-pembawa *Block* FDMA menghasilkan nilai BER yang lebih rendah dibanding dengan sistem tanpa menggunakan MIMO, dengan selisih nilai rata-rata sebesar  $9.51 \times 10^{-02}$  dB.

7. Kinerja sistem OFDMA menggunakan MIMO dengan alokasi sub-pembawa *Interleaved* FDMA menghasilkan nilai BER yang lebih rendah dibanding dengan sistem tanpa menggunakan MIMO, dengan selisih nilai rata-rata sebesar  $4.42 \times 10^{-02}$  dB.
8. Pada kinerja sistem OFDMA menggunakan MIMO, kecepatan pengguna yang acak mempengaruhi nilai BER untuk nilai SNR yang sama, baik pada *Block* atau *Interleaved* FDMA .

### Saran

Beberapa saran yang bisa menjadi masukan untuk penelitian lebih lanjut antara lain :

1. Mensimulasikan dengan menggunakan variasi modulasi yang lebih banyak, atau menggunakan modulasi adaptif.
2. Mensimulasikan sistem ini bukan hanya untuk *downlink* tapi untuk *uplink* juga.
3. Mencoba menggunakan skema MIMO dengan teknik lain.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Faiza, Delsina, *Kombinasi Space Time Block Code dengan Teknik MC-CDMA pada Sistem MIMO*, Tesis, ITB, Bandung, 2008.
- [2]. Hara, Shinsuke, Ramjee Prasad, *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communication*. Artech House, London, 2003.
- [3]. Putra, Deni Ade, *Evaluasi Kinerja OFDMA Dengan Modulasi Adaptif Pada Kanal Downlink*, Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010
- [4]. Rappaport, Theodore S, *Wireless Communications*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [5]. Schulzeand, Henrik, Christian Luders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA*, John Wiley & Son, West Sussex, 2005.
- [6]. Senopati, Fery A, *Analisis Kinerja Sistem Akses Jamak Pada Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Menggunakan Teknik Code Division Multiple Access (CDMA)*, Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [7]. S.M. Alamouti, *Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication*, IEEE Journal on Select Areas in Communications, Vol.16, pp. 1451-1458, Okt. 1998.
- [8]. Tsoulos, George, *MIMO System Technology for Wireless Communication*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.
- [9]. Vucetic, Branka, Jinhong Yuan, *Space-Time Coding*, Wiley, West Sussex, 2003.
- [10]. Wibisono, Gunawan, Uke, Gunadi, *Konsep Teknologi Seluler*, Informatika, Bandung, 2007.
- [11]. Wu, Nan, L Hanzo, dkk, *Near-Capacity Multi-Functional MIMO Systems*, PDF File, Januari, 2011.

### BIODATA



Haryo Punto Susilo, lahir di Kota Semarang pada tanggal 12 Mei 1988. Saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang dengan mengambil konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Sudjadi M.T

Sukiswo, S.T., M.T.

**NIP. 195906198951111001**

**NIP. 19690714199702 1001**

Tanggal: \_\_\_\_\_

Tanggal: \_\_\_\_\_

