

ANALISIS MULTIUSER ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) BERBASIS PERANGKAT LUNAK

Widya Catur Kristanti Putri¹, Rachmad Saptono², Aad Hariyadi³

^{1,2,3}Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

Abstrak

Penerapan teknologi OFDM masih belum diberikan sepenuhnya dalam Program Studi Telekomunikasi di Politeknik Negeri Malang. Hal itu disebabkan karena penerapan teknologi tersebut diterapkan pada perangkat keras. Namun hal tersebut dapat diatasi dengan mensimulasikan teknologi OFDM tersebut melalui perangkat lunak. Untuk penelitian teknologi OFDM telah dilakukan namun pada skripsi ini dilakukan penerapan dan pengembangan sistem tersebut dengan menggunakan variabel varian *user* dan penerapan sistem tersebut pada teknologi 4G selular.

Penerapan sistem tersebut dilakukan dengan membuat simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan membuat program yang sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan. Parameter-parameter yang ditentukan antara lain varian *user* terdiri dari 1 *user*, 2 *user*, dan 3 *user*. Untuk modulasi digunakan modulasi BPSK dan QPSK. Kanal yang digunakan dalam simulasi yaitu kanal AWGN dan Rayleigh Fading. Parameter tersebut akan dijadikan sebagai pembanding. Dari penerapan tersebut menghasilkan nilai BER sehingga didapatkan bit *error* yang muncul pada simulasi program sistem Multiuser OFDM. Untuk menentukan efisiensi *bandwidth* dalam sistem Multiuser OFDM digunakan persamaan matematis dengan cara melakukan perhitungan tanpa bantuan perangkat lunak.

Dari penerapan sistem tersebut ke dalam program dengan memasukkan parameter-parameter yang telah ditentukan, menghasilkan nilai BER yang dapat menjadi pembanding untuk parameter-parameter yang telah ditentukan. Bit *error* yang muncul pada penerapan sistem Multiuser OFDM untuk bit *error* pada Modulasi BPSK dengan kanal AWGN dan Rayleigh Fading muncul bit *error* masing-masing dengan rata-rata 9 bit dan 14 bit pada SNR 11 dB. Sedangkan pada modulasi QPSK dengan kanal AWGN dan Rayleigh Fading muncul bit *error* masing-masing dengan rata-rata 13 bit dan 18 bit pada SNR 14 dB. Selanjutnya pada perhitungan efisiensi *bandwidth* pada alokasi frekuensi 20 MHz untuk modulasi BPSK didapatkan tiga nilai efisiensi *bandwidth* antara lain, 1 bps/Hz secara teori untuk pratikal yaitu code rate $\frac{1}{2}$ adalah 0.3 bps/Hz dan code rate $\frac{3}{4}$ adalah 0.45 bps/Hz. Sedangkan modulasi QPSK juga didapatkan tiga nilai efisiensi *bandwidth* antara lain, 2 bps/Hz secara teori untuk pratikal yaitu code rate $\frac{1}{2}$ adalah 0.6 bps/Hz dan code rate $\frac{3}{4}$ adalah 0.9 bps/Hz.. Dalam penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa pada kategori nilai bit *error* yang muncul modulasi BPSK lebih baik dalam penerapan dibandingkan modulasi QPSK. Namun untuk efisiensi *bandwidth*, modulasi QPSK lebih baik penerapannya dibandingkan dengan modulasi BPSK.

Kata Kunci: Multiuser, OFDM, BPSK, QPSK, BER, Efisiensi Bandwidth

I. Pendahuluan

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) disebut dengan teknik multicarrier maupun teknik multiplexing[1]. Teknologi OFDM merupakan teknologi multiplexing yang merupakan teknologi komunikasi yang berkembang dengan pesat di era sekarang yang dapat menghemat bandwidth.

Penerapan sistem Multiuser OFDM masih belum terdapat pengembangan oleh sebab itu dilakukan perkembangan dengan menggunakan variabel varian *user*. Penerapan sistem Multiuser dibantu oleh perangkat lunak dikarenakan dalam penggunaan perangkat keras memiliki harga yang tidak murah. Sehingga dilakukan penerapan Multiuser OFDM dalam pembuatan dan penggambaran dengan menggunakan perangkat lunak yaitu MATLAB. Penerapan tersebut dapat menghasilkan grafik dan grafik yang dihasilkan dapat dianalisis sesuai teori. Kemudian untuk desain Multiuser OFDM memiliki parameter antara lain varian *user*, jenis modulasi dan jenis kanal. Hasil output yaitu nilai dari BER terhadap SNR. Hasil dari penerapan dan pengujian disajikan menggunakan fitur pada Matlab yaitu GUI Matlab agar lebih mudah dalam penyampaian. Efisien

bandwidth sendiri dihitung menggunakan persamaan matematis.

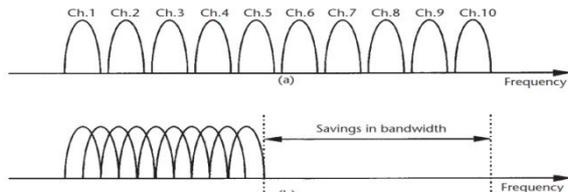
Berdasarkan hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah pengguna pada sistem Multiuser OFDM?
2. Bagaimana pengaruh jenis modulasi sistem Multiuser OFDM?
3. Bagaimana pengaruh nilai BER terhadap nilai SNR?
4. Bagaimana perhitungan efisiensi bandwidth?

II. Kajian Pustaka

2.1. OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) merupakan teknik transmisi data yang memiliki kecepatan tinggi dan menggunakan sinyal *carrier*. Sinyal *carrier* tersebut disusun saling *overlapping*. Sifat dari *subcarrier* mempunyai sifat yang orthogonal[1].



Gambar 1. Konsep Sinyal OFDM

Penggunaan OFDM memungkinkan penghematan *bandwidth* hingga 50%. Dalam menentukan efisiensi *bandwidth* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{eff} [bps/hz] = \frac{\text{max. data rate (bps)}}{\text{allocated bandwidth (hz)}} \quad (2.1)$$

Dengan keterangan:

η_{eff} = Efisiensi *Bandwidth* (bps/Hz)

max. data rate= maksimal nilai data yang dikirim (bps)

allocated bandwidth= alokasi *bandwidth* penerapan OFDM menurut IEEE 802.11

Perumusan 2.1 didapatkan dari jurnal 11th International Conference on Development and Application Systems[2]. Untuk menentukan efisiensi *bandwidth* terlebih dahulu menghitung nilai *max. data rate*:

$$\text{max. data rate} = \frac{\text{OFDM Simbol}}{\text{Simbol durasi OFDM}} = \dots \text{Mbps} \quad (2.2)$$

Untuk menghitung nilai OFDM Simbol:

OFDM Simbol

= no of bit / modulation symbol X no of subcarrier (2.3)

Untuk nilai tetapan *subcarrier* pada penerapan sistem OFDM dengan standar IEEE 802.11a maka nilai nilai *subcarrier* yaitu 64. Serta untuk nilai alokasi frekuensi yaitu 20 MHz. Hal tersebut juga berlaku untuk menghitung nilai dari simbol durasi OFDM untuk rumusan Δf (*Subcarrier frequency spacing*). Untuk menghitung nilai simbol durasi terlebih dahulu menghitung nilai Δf :

$$\Delta f = \frac{20 \text{ Mhz}}{64} = 312.5 \text{ kHz} \quad (2.4)$$

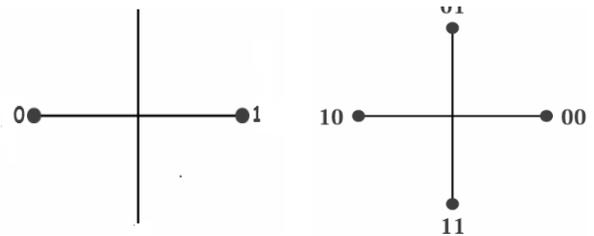
Sehingga nilai simbol durasi T_{FFT} didapatkan:

$$T_{FFT} = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{312.5 \text{ kHz}} = 3.2 \mu s \quad (2.5)$$

Perumusan Δf atau *subcarrier frequency spacing* merupakan parameter dalam penerapan OFDM sesuai standar IEEE 802.11a [3]. Serta untuk code rate modulasi mengacu juga pada standar IEEE 802.11a [3]. Standar tersebut juga berlaku dalam penggunaan nilai FFT dan alokasi frekuensi yaitu masing-masing 64 dan 20 MHz. Untuk itu dalam perhitungan efisiensi *bandwidth* pada skripsi ini mengacu operator yang menggunakan alokasi frekuensi 20 MHz.

2.2. Modulasi M-PSK

Modulasi PSK sendiri merupakan modulasi digital yang merubah sinyal dengan menggeser fasa hingga 180° namun nilai amplitude tetap atau konstan[4].



Gambar 2. Konstelasi BPSK dan QPSK

Menurut gambar 2 dapat disimpulkan konstelasi untuk setiap masing-masing modulasi. Nilai derajat untuk setiap modulasi dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Tabel Konstelasi BPSK

Input	Degree
1	0°
0	180°

Tabel 2. Tabel Konstelasi QPSK

Input 1	Input 2	Degree
0	0	0°
0	1	90°
1	0	180°
1	1	270°

2.3. Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Pembentukan sinyal orthogonal menggunakan persamaan matematis antara lain:

FFT:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (2.6)$$

IFFT:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (2.7)$$

Keterangan:

N = Jumlah point FFT (*subcarrier total*).

x(k)= nilai dari spectrum ke - k (*domain frekuensi*).

x(n)= nilai sinyal domain waktu.

2.4. BER

BER atau kependekan dari *Bit Error Rate* adalah kondisi yang menunjukkan presentasi kesalahan bit yang diperbolehkan dalam pengiriman atau pentransmision data. Dalam standar ITU (*International Telecommunication Union*) bahwa nilai BER untuk komunikasi *microwave* yaitu 10⁻⁶. BER juga dapat dijadikan sebagai parameter atau indikator sebuah kesuksesan suatu sistem transmisi data atau komunikasi data.

Berikut persamaan matematis untuk menghitung nilai BER[5]:

$$BER = \frac{N_{Err}}{N_{bits}}$$

Keterangan:

BER = Nilai BER

N_{Err} = Jumlah bit *error*

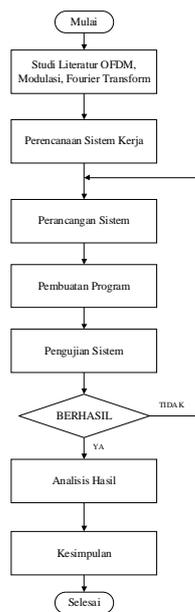
N_{bits} = Jumlah bit yang dikirimkan

2.5. SNR

Penambahan noise dalam pengiriman data pasti meliputi sinyal yang membawanya. Dikatakan bahwa daya pada sinyal input, dan keluaran dari penguat meliputi sinyal dengan daya dan noise dengan daya. Sehingga SNR dapat dikatakan sebagai daya yang dikeluarkan saat pengiriman data. Satuan untuk SNR yaitu decibel (dB).

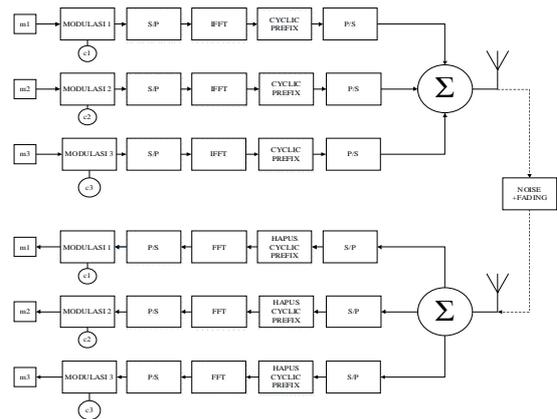
III. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian disusun dengan maksud agar penelitian dilakukan secara terperinci. Tahapan penelitian dalam penyusunan skripsi ini ditampilkan pada Gambar 3.



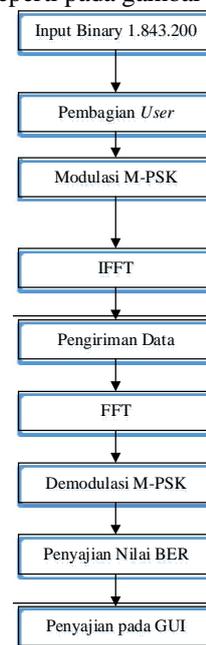
Gambar 3. Tahapan Penelitian

Dalam pembuatan sistem maka mengacu pada perancangan yang telah dibuat seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Setelah dibuat sistem seperti pada gambar 4 maka sistem akan dimasukkan parameter-parameter yang diuraikan seperti pada gambar 5.



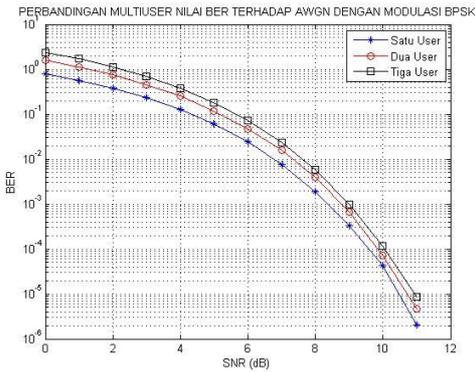
Gambar 5. Bagan Rancang Sistem

Untuk Gambar 5 merupakan proses dalam pemrograman sistem sesuai dengan jumlah *user* yaitu 1, 2, dan 3. Jenis modulasi dan demodulasi yang digunakan yaitu BPSK dan QPSK, serta kanal menggunakan kanal AWGN dan Rayleigh. Perancangan sistem diterapkan pada simulasi dengan pembuatan program pada MATLAB. Penerapan untuk 4 kategori sebagai perbandingan. Keempat kategori antara lain Modulasi BPSK pada kanal AWGN, Modulasi BPSK pada kanal Rayleigh Fading, Modulasi QPSK pada kanal AWGN, dan Modulasi BPSK pada kanal Rayleigh Fading.

IV. Hasil Pengujian dan Pembahasan

4.1. Analisis Sistem Multiuser OFDM Untuk Modulasi BPSK

4.1.1. Kanal AWGN



Gambar 6. Performansi Multiuser OFDM pada Kanal AWGN dengan Modulasi BPSK

Berdasarkan Gambar 6 bahwa nilai BER untuk ketiga varian untuk nilai BER mendekati nilai standar ITU didapatkan pada SNR 11 dB Untuk melihat nilai BER pada SNR 11 dB terdapat pada tabel 1.

Tabel 3. Data Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 11 dB pada Kanal AWGN dengan Modulasi BPSK untuk Data 1.843.200 bit.

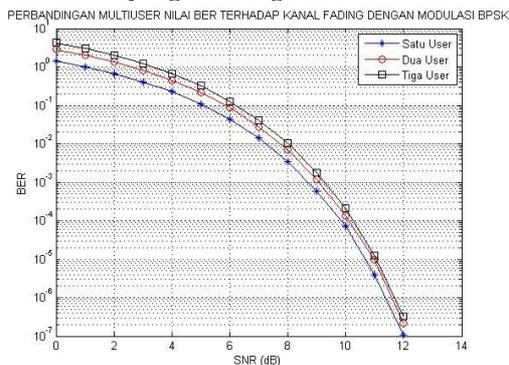
Jumlah User	BER SNR = 11 dB
1	0.000002
2	0.000004
3	0.000008

Nilai BER tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya user maka bit error yang didapatkan semakin besar jumlahnya. Nilai bit error yang muncul untuk masing-masing varian user dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 11 dB pada Kanal AWGN dengan Modulasi BPSK

Jumlah User	BER SNR = 11 dB
1	4 bit
2	7 bit
3	15 bit

4.1.2. Kanal Rayleigh Fading



Gambar 7. Performansi Multiuser OFDM pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi BPSK

Berdasarkan Gambar 7. bahwa nilai BER untuk ketiga varian untuk nilai BER mendekati nilai standart ITU didapatkan pada SNR 11 dB dan 12 dB. Untuk melihat nilai BER pada SNR 11 dB terdapat pada tabel 2.

Tabel 5. Data Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 11 dB dan 12 dB pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi BPSK untuk Data 1.843.200 bit.

Jumlah User	BER SNR = 11 dB	BER SNR = 12 dB
1	0.000003	0.0000001
2	0.000009	0.0000002
3	0.000012	0.0000003

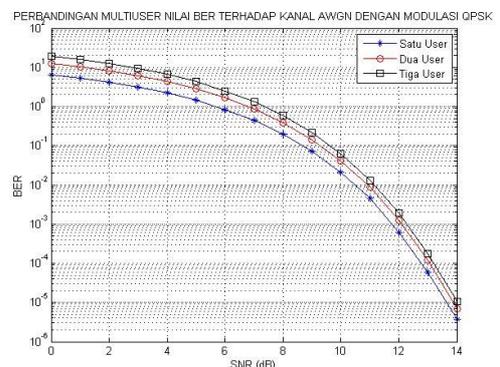
Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya user maka bit error yang didapatkan semakin besar jumlahnya. Nilai BER muncul pada SNR 11 dB namun untuk SNR 12 dB juga muncul Nilai BER namun nilai BER tersebut bilang dihitung tetap tidak memunculkan bit error karena ketiga varian user memiliki nilai bit error 0 pada SNR 12 dB. Jumlah bit error yang muncul dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 11 dB dan 12 dB pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi BPSK

Jumlah User	BER SNR = 11 dB	BER SNR = 12 dB
1	5 bit	0 bit
2	16 bit	0 bit
3	22 bit	0 bit

4.2. Analisis Sistem Multiuser OFDM Untuk Modulasi QPSK

4.2.1. Kanal AWGN



Gambar 8. Performansi Multiuser OFDM pada Kanal AWGN dengan Modulasi QPSK

Berdasarkan Gambar 8 bahwa nilai BER untuk ketiga varian *user* nilai BER yang mendekati standar ITU yaitu pada SNR 14 dB. Untuk melihat nilai BER pada SNR 14 dB terdapat pada tabel 7.

Tabel 7. Data Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 14 dB pada Kanal AWGN dengan Modulasi QPSK untuk Data 1.843.200 bit.

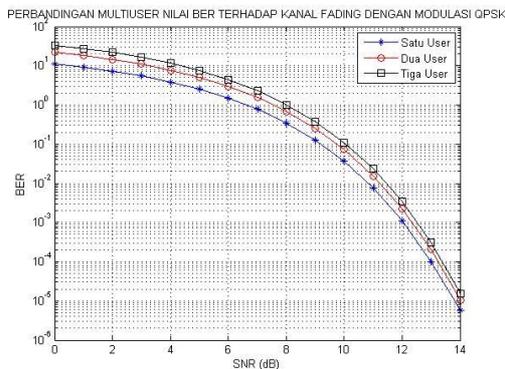
Jumlah User	BER SNR = 14 dB
1	0.000004
2	0.000007
3	0.000010

Nilai BER tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya *user* maka bit *error* yang didapatkan semakin besar jumlahnya. Nilai bit *error* yang muncul untuk masing-masing varian *user* dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 14 dB pada Kanal AWGN dengan Modulasi QPSK

Jumlah User	BER SNR = 14 dB
1	7 bit
2	13 bit
3	18 bit

4.2.2. Kanal Rayleigh Fading



Gambar 9. Performansi Multiuser OFDM pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi QPSK

Berdasarkan Gambar 9 bahwa nilai BER untuk ketiga varian *user* nilai BER yang mendekati standar ITU yaitu pada SNR 14 dB. Untuk melihat nilai BER pada SNR 14 dB terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Data Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 14 dB pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi QPSK untuk Data 1.843.200 bit.

Jumlah User	BER SNR = 14 dB
1	0.000005
2	0.000010
3	0.000015

Nilai BER tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya *user* maka bit *error* yang didapatkan semakin besar jumlahnya. Nilai bit *error* yang muncul untuk masing-masing varian *user* dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Jumlah Bit Error Setiap User dengan Nilai SNR 14 dB pada Kanal Rayleigh Fading dengan Modulasi QPSK

Jumlah User	BER SNR = 14 dB
1	9 bit
2	18 bit
3	27 bit

4.3. Perhitungan Efisiensi Bandwidth

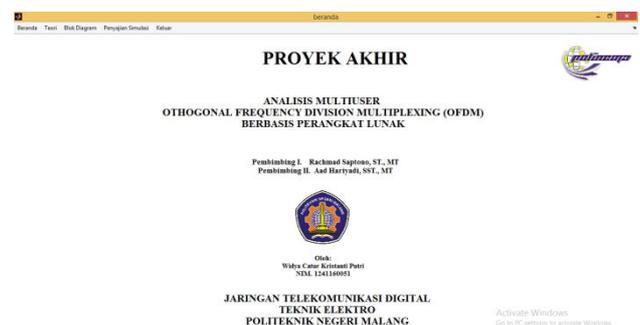
Perhitungan efisiensi *bandwidth* dilakukan secara manual dengan menggunakan rumusan yang terdapat pada bab 2 dalam sub bab OFDM. Rumusan yang dipakai yaitu rumusan 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5. Jumlah data bit yang dikirimkan yaitu 1843200 bit serta frekuensi yang digunakan yaitu satu dari alokasi frekuensi operator GSM di Indonesia. Perhitungan efisiensi *bandwidth* pada sub bab ini menggunakan alokasi frekuensi 20 MHz. Frekuensi tersebut sesuai standar penerapan konsep OFDM. Untuk nilai kedua modulasi dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Nilai Efisiensi Bandwidth untuk Modulasi BPSK dan QPSK

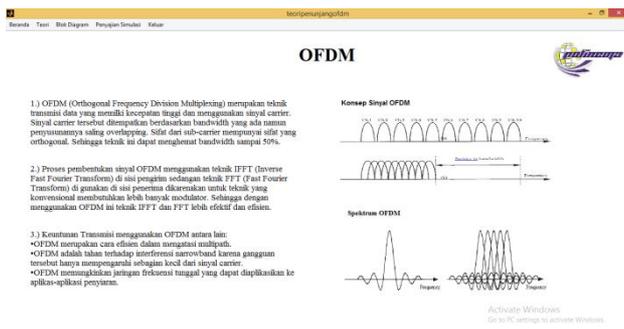
KETERANGAN	BPSK	QPSK
EFISIENSI BANDWIDTH	Teori • 1 bps / Hz	Teori 2 bps / Hz
	Praktik • 0.3 bps / Hz (code rate 1/2)	Praktik • 0.6 bps / Hz (code rate 1/2)
	• 0.45 bps / Hz (code rate 3/4)	• 0.9 bps / Hz (code rate 3/4)

4.4. Tampilan User Interface (Penyajian Simulasi)

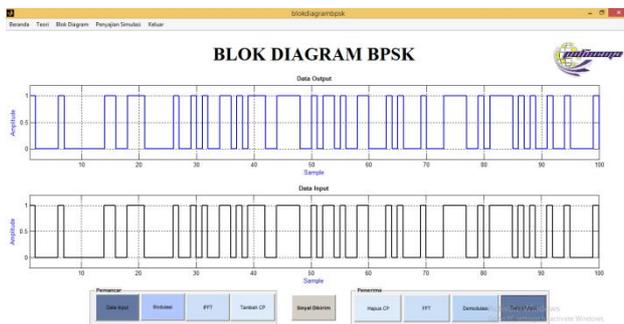
Tampilan perancangan dengan GUI berisi hasil dari pengujian sistem untuk setiap 4 kategori. Berikut tampilan GUI yang telah dibuat:



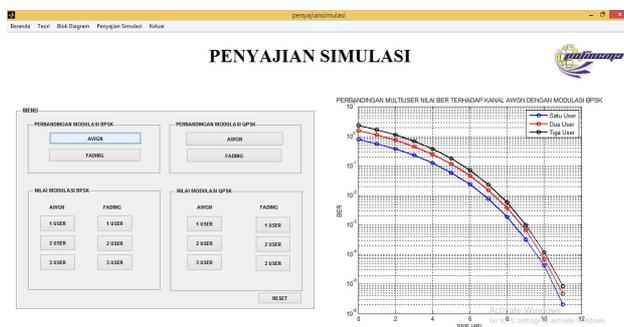
Gambar 10. Interface Menu Beranda



Gambar 11. Interface Menu Teori



Gambar 12. Interface Menu Blok Diagram



Gambar 13. Interface Menu Penyajian Simulasi

V. Penutup Kesimpulan

- Jumlah *user* memengaruhi sistem Multiuser OFDM yaitu semakin bertambahnya jumlah *user* maka kinerja dari sistem Multiuser OFDM semakin buruk. Hal itu ditandai dengan munculnya bit *error* yang ditransmisikan oleh *transmitter* menuju *receiver*, yaitu semakin banyak jumlah *user* maka semakin banyak pula bit *error* yang didapatkan pada proses pengiriman data. Data bit *error* tersebut dapat dilihat pada tabel xxx.
- Penggunaan jenis modulasi BPSK dan QPSK pada sistem Multiuser OFDM menunjukkan bahwa penggunaan modulasi BPSK membutuhkan daya

yang lebih kecil untuk mendekati nilai BER yang sesuai standar ITU yaitu pada 11 dB. Sedangkan penggunaan modulasi QPSK untuk mendapatkan nilai BER yang mendekati standar ITU membutuhkan daya yang lebih besar yaitu 14 dB. Namun rata-rata bit *error* yang didapatkan pada modulasi BPSK untuk kanal AWGN dan Fading jauh lebih baik yaitu 9 bit dan 14 bit dibandingkan dengan modulasi QPSK yaitu 13 bit dan 18 bit di masing-masing kanal.

- Pengaruh nilai BER terhadap SNR yaitu menunjukkan berapa daya yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai BER yang mendekati standar ITU. Penghematan daya untuk mendapatkan nilai BER maka untuk modulasi BPSK membutuhkan daya 12 dB dalam mendapatkan nilai BER minimal. Sedangkan untuk modulasi QPSK membutuhkan daya 14 dB dalam mendapatkan nilai BER minimal.
- Nilai efisiensi *bandwidth* untuk kedua modulasi berdasarkan code rate antara lain untuk modulasi BPSK *code rate* $\frac{1}{2}$ adalah 0.3 bps/Hz sedangkan untuk *code rate* $\frac{3}{4}$ adalah 0.45 bps/Hz. Pada modulasi QPSK *code rate* $\frac{1}{2}$ didapatkan nilai 0.6 bps/Hz dan sedangkan *code rate* $\frac{3}{4}$ adalah 0.9 bps/Hz.

Saran

- Pada skripsi ini masih ada yang perlu dikembangkan yaitu untuk perhitungan efisiensi *bandwidth* dapat digabungkan dalam sistem sehingga tidak hanya nilai BER yang didapat namun nilai efisiensi *bandwidth*. Pengembangan pada sisi jenis modulasi dapat ditambahkan jenis modulasi m-PSK yang lain atau modulasi QAM.

Daftar Pustaka

- [1] P. Ramjee, "OFDM for Wireless Communications Systems", Artec House, Inc., London, 2004.
- [2] Stanciu A. E., Nemtoi L.M., dan Moise I.M. 2012. Considerations Regarding The Spectral Efficiency of Orthogonal Frequency Division Multiplexing. *Jurnal 11th International Confrence on Development and Application Systems*: 133-134.
- [3] IEEE Std 802.11a – 1999. Hal: 9.
- [4] Analog Transmission of Digital Data: ASK, FSK, PSK, QAM. CSE 3212, Fall 2010. Instructor: N. Vlajic.
- [5] <http://www.keysight.com/main/editorial.jsp?key=1481106&id=1481106&nid=-11143.0.00&lc=eng&cc=ID>, diakses tanggal 1 Juni 2016