

## **Perancangan Model Simulator dan Performansi Kesalahan Bit untuk Variasi Tipe Modulasi Digital dalam Lingkungan Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)**

### ***Simulator Model Design and Bit Error Performance for Variation of Digital Modulation Type in the Channel Environment Additive White Gaussian Noise (AWGN)***

**Budi Herdiana<sup>\*</sup>, Aditya Taufiqurrahman**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Komputer Indonesia Jl. Dipati ukur No 112, Bandung

<sup>\*</sup>Email : budi.herdiana@email.unikom.ac.id

**Abstrak** – Pada penelitian terkait simulasi performansi kesalahan bit modulasi digital dalam kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) saat ini masih terdapat beberapa kekurangan, dimana belum menampilkan gelombang sinyal sesudah diberikan derau, serta menampilkan hasil simulasi perbandingan kesalahan bit yang ditampilkan dalam bentuk grafik kurva untuk berbagai tipe modulasi. Selain itu belum melakukan analisa antara perhitungan dengan hasil simulasi probabilitas kesalahan bit. Maka pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan pada source code dan juga dibuatnya model simulator dalam *Graphical User Interface* (GUI) Matlab beserta dengan perhitungan teoritisnya. Pada hasil simulasi jumlah bit minimum sebesar 100 bit didapatkan jumlah kesalahan bit  $1 \times 10^{-2}$  untuk modulasi *Amplitude Shift Keying* (ASK),  $2 \times 10^{-2}$  untuk modulasi *Frequency Shift Keying* (FSK) dan  $1,2 \times 10^{-2}$  untuk *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Sedangkan pada jumlah bit maksimum sebesar 500 bit didapatkan jumlah kesalahan bit  $2 \times 10^{-3}$  untuk modulasi ASK,  $2 \times 10^{-3}$  untuk modulasi FSK, dan  $4 \times 10^{-3}$  untuk modulasi BPSK. Data simulasi yang didapatkan sudah sesuai dengan teori yang ada, dimana semakin besar energi bit yang digunakan maka *Bit Error Rate* (BER) yang dihasilkan akan semakin kecil. Hasil simulasi dan teoritis probabilitas kesalahan bit memiliki karakteristik yang sama, dimana modulasi BPSK memiliki penurunan probabilitas kesalahan bit yang lebih kecil dibandingkan modulasi ASK dan FSK. Simulasi pada penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran pada matakuliah sistem komunikasi digital, dalam memahami proses didapatkannya kesalahan bit modulasi digital serta performansi dari variasi tipe modulasi digital.

**Kata kunci** : BER, Kanal AWGN, MATLAB, Modulasi Digital, Simulasi

**Abstract** - In research related to the digital modulation bit error performance simulation in the *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) channel, there are currently still some shortcomings, which do not display signal waves after being given noise, and display the simulation results of bit error comparisons that are displayed in the form of curve graphs for various types of modulation. In addition, there has not been an analysis between the calculation and the simulation results of the bit error probability. So in this research, the development of the source code will be carried out and also a simulator model will be made in the Matlab *Graphical User Interface* (GUI) along with the theoretical calculations. In the simulation results, the minimum number of bits is 100 bits, the number of bit errors is  $1 \times 10^{-2}$  for *Amplitude Shift Keying* (ASK) modulation,  $2 \times 10^{-2}$  for *Frequency Shift Keying* (FSK) modulation. and  $1,2 \times 10^{-2}$  for *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). While the maximum number of bits is 500 bits, the number of bit errors is  $2 \times 10^{-3}$  for ASK modulation  $2 \times 10^{-3}$  for FSK modulation, and  $4 \times 10^{-3}$  for BPSK modulation. The simulation data obtained is in accordance with the existing theory, where the greater the bit energy used, the smaller the *Bit Error Rate* (BER) will be. In addition, the simulation results and the theoretical bit error probability have the same characteristics, where BPSK modulation has a lower bit error probability than ASK and FSK modulation. This simulation can be used as a lesson in digital communication systems courses, in understanding the process of obtaining digital modulation bit errors and the performance of various types of digital modulation.

**Keywords** : BER, AWGN Channel, MATLAB, Digital Modulation, Simulation

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Untuk membawa suatu informasi diperlukan modulasi dalam suatu proses perubahan suatu sinyal informasi gelombang *periodic*[1]. Dengan adanya modulasi, suatu informasi dapat dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasa berupa gelombang sinus dengan frekuensi tinggi[2].

Modulasi digital merupakan bagian dari suatu penumpangan sinyal digital ke dalam sinyal *carrier*[3]. Teknik modulasi digital umumnya digunakan untuk mengirim suatu data biner melewati kanal komunikasi *bandpass*[1]. Pada modulasi digital, proses modulasi berhubungan dengan perubahan atau penetapan terhadap nilai amplitude, frekuensi atau fasa dari sinyal *carrier* yang memiliki hubungan dengan *binery* 1 atau 0[2].

Dalam sistem transmisi sinyal dibutuhkan media atau kanal dalam menyampaikan informasi dari pengirim ke penerima diantaranya adalah kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Kanal AWGN merupakan gangguan yang bersifat *additive* terhadap sinyal transmisi yang dapat dilihat dari karakteristik derau AWGN yaitu sinyal keluaran yang melalui kanal AWGN sama dengan sinyal asli ditambah dengan derau AWGN[4]. Pada bagian sistem penerima akan muncul suatu nilai kesalahan bit akibat pengaruh dari kanal AWGN ini, dikarenakan hal tersebut bagian analisa kesalahan bit ini perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan kinerja modulasi digital yang dirancang[5].

Dalam pengambilan data probabilitas kesalahan bit untuk berbagai tipe modulasi digital pada umumnya masih tergolong kurang efektif, karena masih ditampilkan terpisah – pisah antara gelombang sinyal yang dikirimkan dengan yang diterima beserta grafik kurva kesalahan bit. Hal tersebut mengakibatkan tidak dapat dilakukannya analisa perbandingan performansi probabilitas kesalahan bit secara langsung untuk berbagai tipe modulasi digital. Selain itu analisa modulasi digital saat ini belum dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan perhitungan teoritis, baik perbandingan secara hasil perhitungan maupun karakteristik yang dihasilkan.

### B. Tinjauan *State of Art*

Pada Penelitian ini akan di rancang simulator modulator digital *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frekuensi Shift Keying* (FSK,) dan *Binary Phase*

*Shift Keying* (BPSK) yang berfokus pada pengukuran nilai – nilai kesalahan bit dari setiap tipe modulasi digital yang dirancang. Hasil akhir lain yang akan di tampilkan selain nilai kesalahan bit yaitu bentuk gelombang sebelum dan sesudah melewati kanal berderau yang akan di ilustrasikan pada sebuah panel *Graphical User Interface* (GUI).

Pada penelitian Sharma, Shrivastav, Jain dan Panday[6], membuat sebuah simulator dalam melihat kemampuan modulasi digital BPSK, *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* QAM saat diberikan derau AWGN. Simulator tersebut dibuat menggunakan program simulasi Matlab. Adapun parameter yang diujikan adalah performansi modulasi BPSK, QPSK dan QAM menggunakan kode *forward error correction* yang berbeda pada saluran saat melalui kanal AWGN yang diukur berdasarkan nilai perbandingan *Bit Error Rate* (BER) yang dihasilkan dalam bentuk grafik kurva.

Pada Penelitian Pushpa, Ranganathan dan Palanivelan[7] juga melakukan pengujian untuk kerja modulasi digital BPSK menggunakan pendekatan simulasi Matlab. Hasil kerja sistem transmisi pada penelitiannya diukur berdasarkan hasil simulasi modulasi BPSK menggunakan metode hamming, *Bose Chaudhuri Hocquenghem* (BCH), *Reed-Solomon* (RS), dan konvolusi pada kanal AWGN. Semua metode dibandingkan dalam hal BER dan  $E_b/N_0$ .

Dari hasil peneliatian-penelitian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa performansi probabilitas kesalahan bit modulasi digital yang dirancang secara umum di ukur berdasarkan hasil *bit error rate* dan tidak secara jelas menggambarkan proses teoritis perhitungan serta bagaimana bentuk gelombang sebelum dan sesudah melewati kanal berderau seperti AWGN ini.

### C. Tujuan

Tujuan dibuatnya penelitian ini adalah membuat simulasi serta analisa pengukuran performansi probabilitas kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN dalam memperoleh hasil performansi probabilitas kesalahan bit pada modulasi ASK, FSK dan BPSK ketika diberikan derau AWGN. Dalam melakukan analisa ini maka diperlukan perancangan *source code* yang dapat menampilkan tampilan data dan gelombang termodulasi digital serta kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital dalam bentuk grafik kurva.

Hasil simulasi yang didapat akan dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis performansi

probabilitas kesalahan bit berbagai Tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN. Perbandingan yang dilakukan meliputi kemampuan serta karakteristik yang dihasilkan pada hasil simulasi dan teoritis performansi probabilitas kesalahan bit berbagai Tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN.

*Source code* yang sudah dirancang akan dibuat kedalam GUI Matlab, dengan tampilan dapat menghasilkan performansi modulasi digital. Tujuan dari dibuatnya *source code* Matlab ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisa performansi serta pembacaan gelombang sinyal modulasi serta kurva performansi probabilitas kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital, karena sebelum menggunakan GUI tampilan gelombang sinyal modulasi serta kurva masih terpisah.

#### D. Sistematika Pembahasan

Jurnal ini diorganisasikan sebagai berikut. Bagian metodologi akan membahas mengenai blok diagram serta algoritma perancangan simulasi performansi probabilitas kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal AWGN dalam bentuk blok pada *flowchart*. Bagian hasil dan pembahasan akan membahas mengenai hasil dari pengujian. Bagian kesimpulan akan membahas kesimpulan yang didapatkan dari seluruh analisa pada penelitian ini.

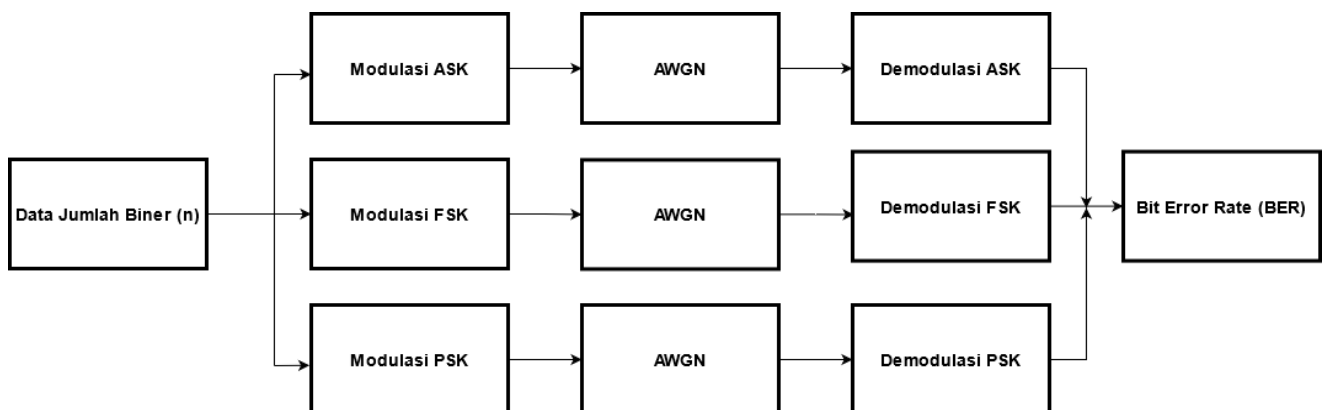
## II. METODOLOGI

### A. Tahapan Perancangan Program Simulasi

Simulasi yang dibuat berupa *source code* Matlab yang dapat menampilkan performansi kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital disertai dengan tampilan data dan gelombang termodulasi digital. Tahapan Perancangan Program Simulasi terdiri dari blok diagram serta algoritma perancangan. Diagram blok dan algoritma

perancangan dari sistem yang dibuat ditunjukkan pada **Gambar 1**. Dari blok diagram ini dapat dilihat bahwa iniput berawal dari data jumlah biner (Bit), yang digunakan pada simulasi probabilitas kesalahan bit pada modulasi digital. Pada bagian proses bit yang dimasukan dari input akan diubah kedalam bentuk sinyal modulasi digital sesuai dengan metode yang ada pada modulasi tersebut. Bentuk sinyal yang ideal pada modulasi ASK, FSK dan BPSK akan diberikan derau AWGN[2]. Proses pada blok AWGN ini ditujukan untuk membangkitkan sinyal modulasi yang dikirimkan menjadi ada *noisanya*. Setelah diberikan derau AWGN sinyal akan di demodulasikan sesuai dengan metode pada masing – masing modulasi digital. Sinyal yang dihasilkan pada demodulasi akan mengalami perubahan karena sinyal sudah terpengaruhi oleh *noise*. Output yang dihasilkan dari proses modulasi dan demodulasi ini akan menjadi nilai probabilitas kesalahan bit. Untuk mendapatkan nilai probabilitas kesalahan bit, data jumlah biner yang masuk akan dibagikan dengan data kesalahan yang diakibatkan derau AWGN.

Agar blok diagram pada tahapan perancangan simulasi dapat tergambar dengan jelas mengenai parameter apa saja yang digunakan dan juga proses didalamnya maka harus dibuat suatu algoritma perancangan simulasi. Algoritma perancangan merupakan kumpulan perintah dalam menyelesaikan suatu masalah secara sistematis, terstruktur dan logis. Masalah itu dapat berupa apa saja, dengan syarat untuk setiap permasalahan memiliki kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan sebuah algoritma. Algoritma juga memiliki proses pengulangan keputusan, agar keputusan yang di inginkan dapat selesai. Berbeda dengan blok diagram yang digambarkan secara sederhana, untuk menerangkan cara kerja simulasi performansi probabilitas kesalahan bit untuk berbagai tipe modulasi digital agar lebih mudah dimengerti dan dipahami.



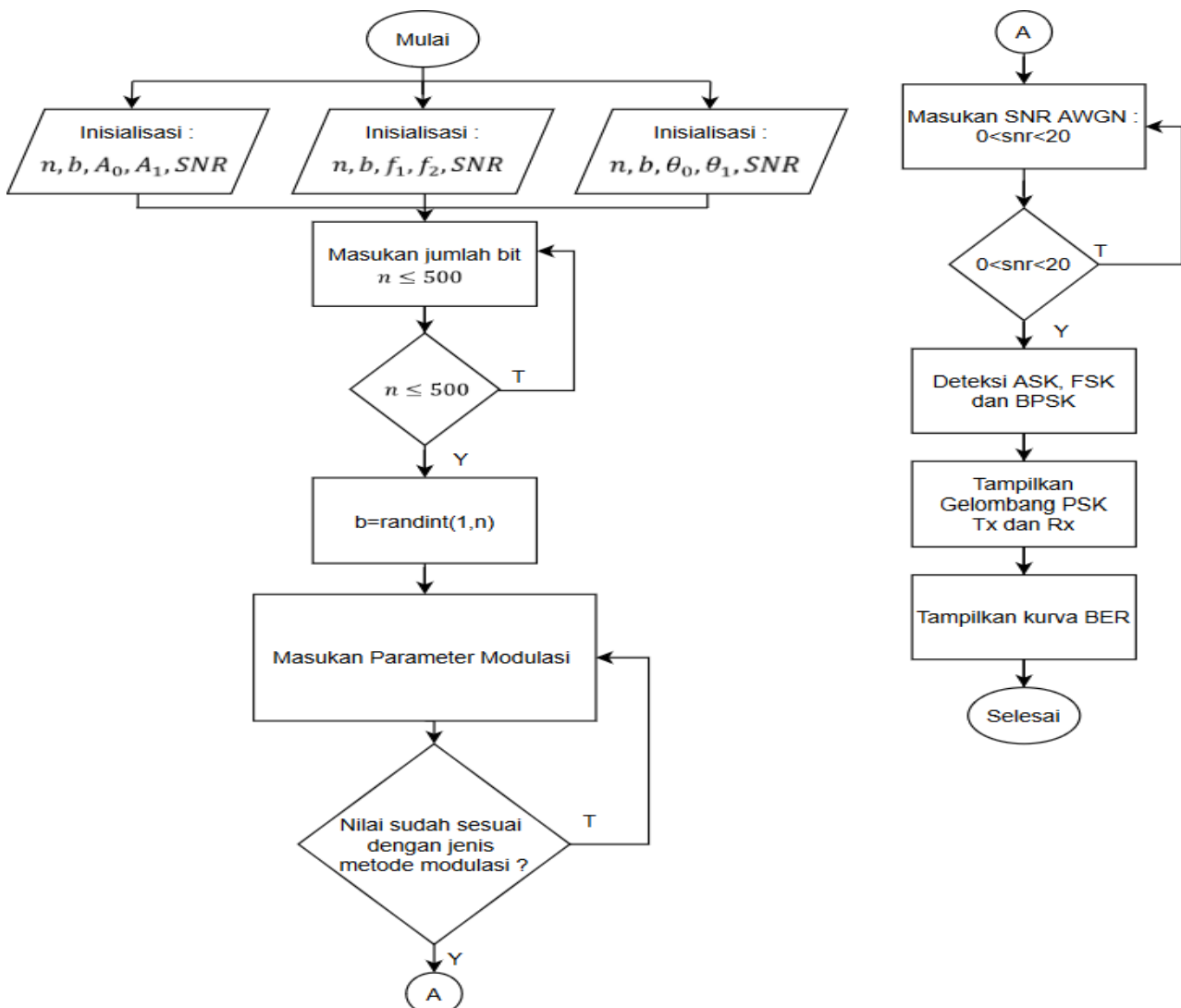
Gambar 1. Blok Diagram Probabilitas Kesalahan Bit

**B. Algoritma perancangan simulasi**

Pada algoritma perancangan simulasi probabilitas kesalahan bit modulasi ASK, FSK dan BPSK pada lingkungan kanal AWGN akan diperlihatkan bagaimana proses didapatkannya probabilitas kesalahan bit yang dihasilkan dari perbandingan kesalahan bit dari gelombang sinyal yang diterima dengan jumlah bit yang dikirimkan[8]. Algoritma perancangan dibuat dalam bentuk *flowchart*, dimana diagram akan menampilkan langkah-langkah dan keputusan untuk melakukan sebuah proses dari suatu program. *Flowchart* simulasi yang dibuat ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Pada blok modulasi digital ASK, FSK dan BPSK akan dilakukan inisialisasi pada bit, kode biner, amplitude, frekuensi, phase dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*. Inisialisasi ditujukan untuk mengetahui parameter – parameter atau ukuran apa saja yang akan digunakan pada *flowchart* ini. Bit yang digunakan pada simulasi ini adalah 100, 200,

300, 400 dan 500. Penggunaan energi bit yang kecil serta jarak simulasi yang bedekatan ini bertujuan untuk memudahkan dalam melihat hasil probabilitas kesalahan bit pada berbagai tipe modulasi digital. Dari proses masuknya bit, sudah dapat dihasilkan kode biner secara acak, kode biner tersebut akan dibangkitkan kedalam bentuk gelombang modulasi digital. Untuk mendapatkan bentuk gelombang dari berbagai tipe modulasi, nilai modulasi harus dimasukan dimana  $A_0 < A_1$  untuk amplitude,  $f_1 > f_2$  untuk frekuensi dan  $\theta_0 = 0^\circ$   $\theta_1 = 180^\circ$  untuk phase. Sinyal yang dihasilkan pada setiap metode modulasi akan diberikan derau AWGN yang didapatkan dari SNR[9]. Sinyal yang sudah diberikan derau AWGN akan didemodulasikan lalu kesalahan bit yang ada pada demodulasi akan dibandingkan dengan modulasi dalam mendapat nilai probabilitas kesalahan bit dalam bentuk grafik kurva.



Gambar 2. Flowchart simulasi

### C. Perancangan *source code*

Dalam memulai membuat perancangan *source code*, yang pertama harus diketahui adalah apa saja parameter yang akan digunakan, maka dari itu sebelum membuat *source code* diharuskan sudah membuat tahapan perancangan program simulasi agar tujuan yang akan dibuat menjadi jelas. Tahapan perancangan program simulasi dapat digambarkan dalam blok diagram dan juga *flowchart*.

Pada penelitian ini perancangan *source code* probabilitas kesalahan bit modulasi digital pada lingkungan kanal AWGN terbagi menjadi 5 bagian pemrosesan yaitu *source code* untuk perancangan modulasi, *source code* modulasi atau *transmitter*, *source code* pemberian noise AWGN, *source code* deteksi atau *reciver* dan *source code* kurva probabilitas kesalahan bit.

### D. Perancangan Panel GUI

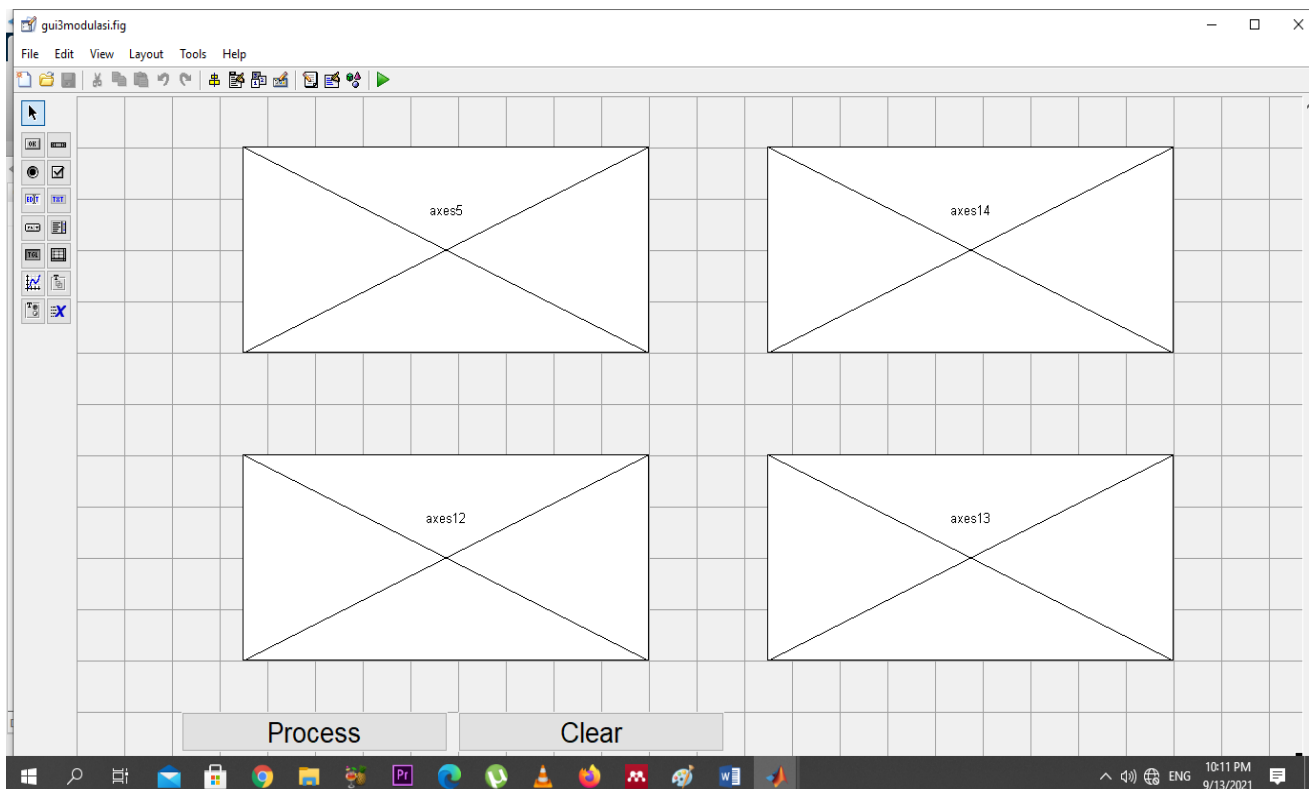
Program simulasi ini dibuat dengan menggunakan pemrograman Matlab khususnya GUI Matlab. GUI adalah sebuah program dari Matlab yang memungkinkan untuk membuat aplikasi berbasis grafis. Cara paling mudah untuk membuat antarmuka berbasis grafis GUI yaitu dengan menggunakan fasilitas graphical user interface development environment GUIDE. Berikut tampilan GUI yang dibuat pada simulasi ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Pada tampilan program simulasi yang digunakan menggunakan 4 axes untuk menghubungkan dengan subplot yang ada pada kodingan. Untuk axes 5, 14 dan 12 menampilkan sinyal *transmitter* dari masing – masing modulasi yaitu ASK, FSK dan BPSK. Sedangkan untuk axes 12 digunakan untuk menampilkan kurva bit error rate dari hasil perbandingan *transmitter* dan *reciver*.

*Push button process* digunakan untuk memanggil subplot yang terhubung dengan kodingan *reciver* modulasi ASK, FSK dan BPSK. Selain itu *push button process* ini juga terhubung dengan subplot kurva dan subplot figure *transmitter*.

*Push button clear* ini digunakan untuk membersihkan seluruh axes atau subplot yang tampil pada GUI dan figure *reciver*. Hal tersebut dilakukan untuk melakukan pengambilan data ulang dari awal, jadi tidak perlu keluar GUI untuk membersihkan atau menghilangkan seluruh bentuk sinyal dan kurva yang sudah tampil.

Pada grafik sinyal *transmitter* dibuat terpisah dengan GUI selain karena batasan subplot yang dapat digunakan adalah hanya 4 subplot saja dan juga untuk menghindari kode biner yang berbeda pada sinyal *transmitter* yang ditampilkan pada GUI. Ketika kode biner yang dikirimkan tidak sesuai dengan yang diterima maka pengambilan data tidak dapat dilakukan.



**Gambar 3.** Tampilan Program Simulasi

Ketidaksesuaian pada kode biner tersebut mengakibatkan gelombang sinyal yang dikirim maupun diterima mengalami ketidak sesuaian. Akibat yang dihasilkan dari ketidak sesuaian pada kode biner dan gelombang modulasi ini mengakibatkan data pada kurva tidak sesuai dengan yang seharusnya, karena kurva probabilitas kesalahan bit didapatkan dari perbandingan kesalahan bit yang ada pada gelombang sinyal yang diterima dengan gelombang sinyal yang dikirimkan.

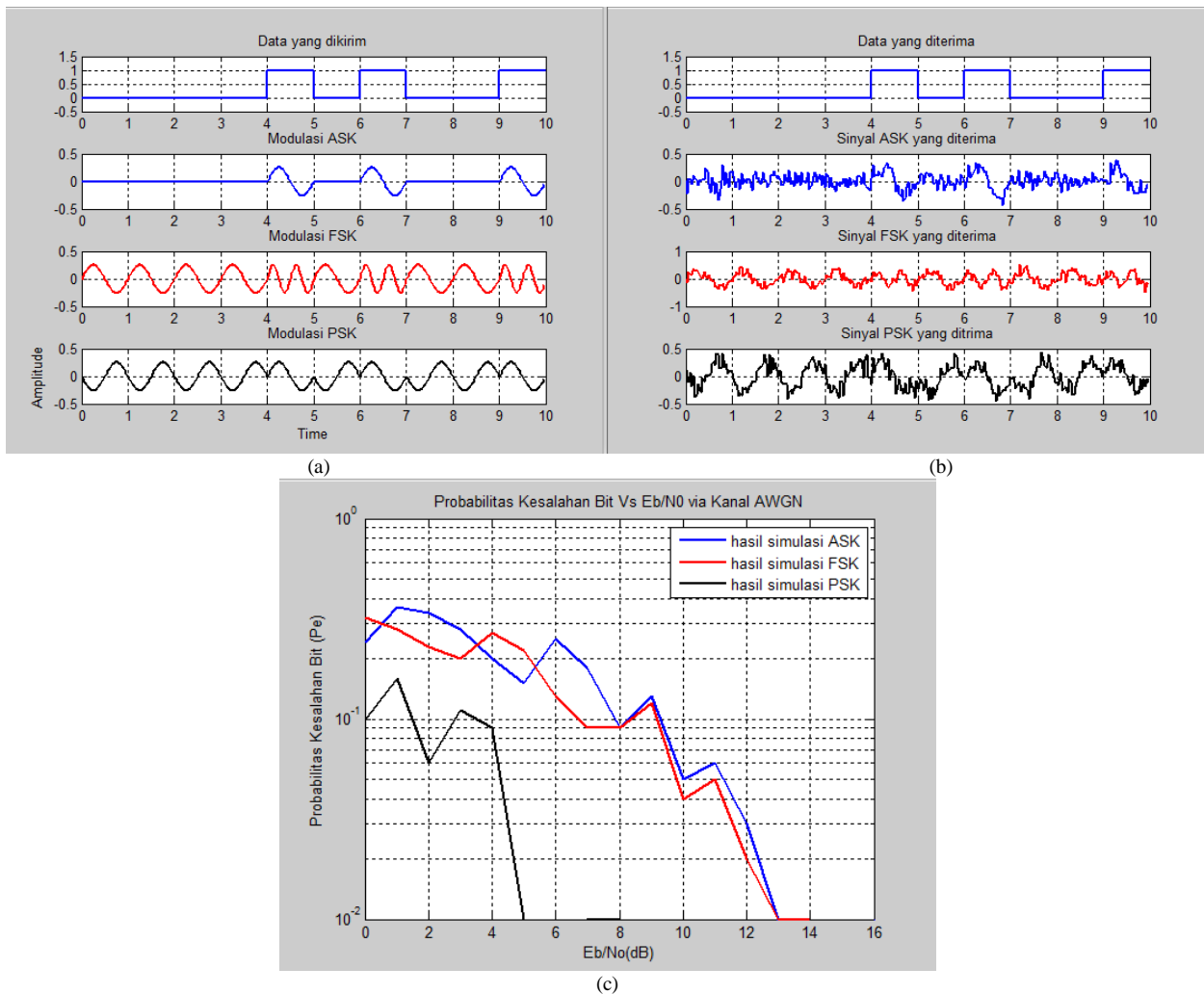
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Isi pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil dari pengujian performansi probabilitas kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN pada simulasi, perhitungan teoritis dan GUI yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performansi probabilitas kesalahan bit pada modulasi ASK, FSK dan BPSK ketika diberikan derau AWGN dan

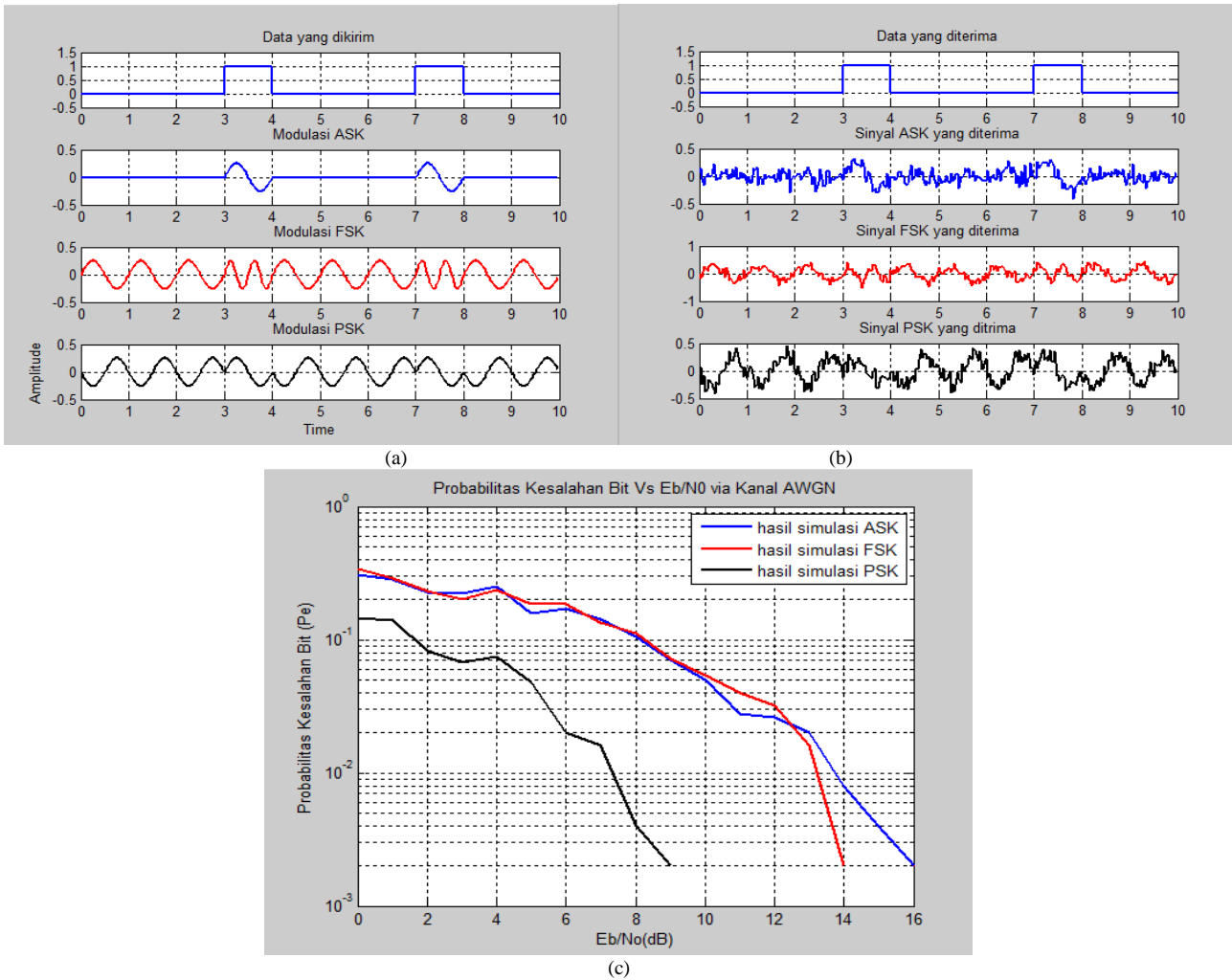
membandingkan serta memastikan bahwa performansi probabilitas kesalahan bit pada teoritis dan simulasi memiliki karakteristik yang sama.

Simulasi yang telah dirancang dan dapat menampilkan gelombang sinyal *transmitter*, *reciver* beserta dengan kurva performansi probabilitas kesalahan bit, akan dibuat dalam tampilan GUI Matlab. GUI Matlab dibuat agar memudahkan dalam pembacaan hasil serta melakukan analisa performansi probabilitas kesalahan bit.

Pada penelitian ini pengujian probabilitas kesalahan bit modulasi digital ASK, FSK dan BPSK dilakukan pada bit yang rendah yaitu bit 100 sampai 500, hal tersebut di tujukan agar grafik kurva yang dihasilkan pada setiap percobaan menghasilkan kesalahan bit yang lebih terlihat perubahannya. Pengambilan data simulasi performansi kesalahan bit untuk variasi tipe modulasi digital pada energi bit 100 dan 500 ditunjukkan oleh **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



**Gambar 4 .** Gelombang sinyal *transmitter*, *reciver* dan Grafik Kurva pada bit = 100. (a) Data yang dikirim, (b) Data yang diterima, dan (c) Probabilitas kesalahan Bit vs Eb/No .



**Gambar 5.** Gelombang sinyal *transmitter*, *receiver* dan Grafik Kurva pada bit = 500, (a) Data yang dikirim , (b) Data yang diterima, dan (c) Probabilitas kesalahan Bit vs Eb/N0 .

Dari hasil percobaan probabilitas kesalahan bit modulasi digital via kanal AWGN pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** dapat disimpulkan bahwa *noise* AWGN sangat mempengaruhi terhadap perubahan bentuk gelombang sinyal *receiver*. Kerusakan pada sinyal dapat dilihat pada masing-masing gelombang sinyal *receiver* modulasi ASK, FSK dan BPSK. Derau yang berikan dari kanal AWGN mengakibatkan sinyal modulasi mengalami penebalan dan perubahan bentuk sinyal, hal tersebut mengakibatkan sulitnya pembacaan atau perbandingan dengan kode biner yang digunakan. Perubahan pada gelombang sinyal *transmitter* dan *receiver* dapat dilihat pada perubahan nilai amplitude. Sebelum diberikan derau AWGN nilai amplitude pada modulasi ASK, FSK dan BPSK memiliki nilai kenaikan dan penurunan yang ideal yaitu 0,25 untuk kenaikan dan - 0,25 untuk penurunannya. Ketika sinyal modulasi tersebut diberikan derau AWGN nilai amplitude yang asalnya ideal menjadi berubah dengan nilai yang *random*. Dengan adanya perbedaan nilai amplitude

pada *transmitter* dan *receiver* dapat dihasilkan nilai probabilitas kesalahan bit, yang terbentuk dalam grafik kurva.

Bit selain berpengaruh terhadap nilai probabilitas kesalahan bit juga berpengaruh terhadap bentuk kurva yang dihasilkan. Hasil simulasi 100 bit pada **Gambar 4** mengalami banyak kenaikan nilai probabilitas kesalahan bit, hal tersebut mengakibatkan bentuk grafik kurva yang kurang baik. Data Kenaikan kesalahan bit dapat dilihat pada **Tabel 1**, dimana pada ASK 100 bit mengalami kenaikan kesalahan bit pada Eb/N0 2 dan 6, untuk FSK Eb/N0 2 dan BPSK Eb/N0 4. Saat energi bit dinaikan sampai 500 bit, kenaikan nilai probabilitas kesalahan bit semakin jarang terjadi. Banyaknya Kenaikan pada nilai probabilitas kesalahan bit bisa terjadi karena banyak faktor seperti, derau lebih besar dari energi bit, kapasitas kanal yang kecil, bitrate kecil dan bandwidth kecil.

Selain energi bit, kode biner yang digunakan pada simulasi sangat mempengaruhi hasil

probabilitas kesalahan bit. Hal tersebut dapat dilihat dari bentuk grafik kurva yang berbeda-beda pada setiap simulasi probabilitas kesalahan bit yang dilakukan. Data hasil simulasi performansi probabilitas kesalahan bit 100, 200, 300, 400 dan 500 ditampilkan pada **Tabel I**.

**Tabel I.** Simulasi Probabilitas Kesalahan Bit

Bit	$E_b/N_0$ (dB)	Probabilitas Kesalahan Bit ( $P_e$ )		
		Hasil Simulasi		
		ASK	FSK	BPSK
100	0	$2,4 \times 10^{-1}$	$3,2 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
	2	$3,4 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$
	4	$2 \times 10^{-1}$	$2,7 \times 10^{-1}$	$9 \times 10^{-2}$
	6	$2,5 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	8	$9 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	10	$5 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$< 1,2 \times 10^{-2}$
	12	$3 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-2}$	$< 1,2 \times 10^{-2}$
	14	$1 \times 10^{-2}$	$< 2 \times 10^{-2}$	$< 1,2 \times 10^{-2}$
	16	$< 1 \times 10^{-2}$	$< 2 \times 10^{-2}$	$< 1,2 \times 10^{-2}$
200	0	$2,8 \times 10^{-1}$	$2,9 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$
	2	$2,5 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
	4	$2,3 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$6,5 \times 10^{-2}$
	6	$1,6 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-2}$
	8	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-2}$
	10	$3,5 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$
	12	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$
	14	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$
	16	$< 1 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$
300	0	$3,2 \times 10^{-1}$	$3,1 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$
	2	$2,8 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
	4	$2,4 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$7 \times 10^{-2}$
	6	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-2}$
	8	$9,3 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$3,3 \times 10^{-3}$
	10	$4 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$< 3,3 \times 10^{-3}$
	12	$2,3 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-2}$	$< 3,3 \times 10^{-3}$
	14	$3,3 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-3}$	$< 3,3 \times 10^{-3}$
	16	$< 3,3 \times 10^{-3}$	$< 6,6 \times 10^{-3}$	$< 3,3 \times 10^{-3}$
400	0	$2,8 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$
	2	$2,5 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
	4	$2,4 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$4,5 \times 10^{-2}$
	6	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	8	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	10	$5,2 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-2}$	$< 2,5 \times 10^{-3}$
	12	$2,5 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$< 2,5 \times 10^{-3}$
	14	$2,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$< 2,5 \times 10^{-3}$
	16	$< 2,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$< 2,5 \times 10^{-3}$
500	0	$3 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$
	2	$2,2 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$8,2 \times 10^{-2}$
	4	$1,5 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$7,4 \times 10^{-2}$
	6	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-2}$
	8	$1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-3}$
	10	$5 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$< 4 \times 10^{-3}$
	12	$2,6 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-2}$	$< 4 \times 10^{-3}$
	14	$8 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$< 4 \times 10^{-3}$
	16	$2 \times 10^{-3}$	$< 2 \times 10^{-3}$	$< 4 \times 10^{-3}$
18	$< 2 \times 10^{-3}$	$< 2 \times 10^{-3}$	$< 4 \times 10^{-3}$	

Dari hasil simulasi tabel simulasi dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi energi bit yang digunakan maka nilai probabilitas yang dihasilkan akan semakin kecil. Mengetahui baik dan buruk nilai probabilitas

kesalahan bit dapat dilihat pada posisi akhir  $E_b/N_0$  yang didapatkan pada masing – masing modulasi[10]. Sebagai contoh saat melakukan simulasi 100 bit, nilai probabilitas kesalahan bit yang didapat pada ASK adalah  $1 \times 10^{-2}$  dan saat melakukan simulasi ASK pada 500 bit probabilitas kesalahan bit yang didapat  $2 \times 10^{-3}$ . Data tersebut menunjukkan bahwa probabilitas kesalahan bit ASK 500 bit lebih baik dari ASK 100 bit.

Dalam melakukan perhitungan teoritis untuk mendapatkan probabilitas kesalahan bit,  $E_b/N_0$ (dB) yang ada pada kurva tidak bisa langsung dimasukan kedalam rumus (1) karena  $E_b/N_0$  pada kurva masih dalam satuan dB(desibel). Maka dari itu  $E_b/N_0$ (dB) harus diubah menjadi  $E_b/N_0$  dengan menggunakan rumus (2), setelah didapatkan hasilnya barulah  $E_b/N_0$  dapat dimasukan kedalam rumus probabilitas kesalahan bit. Dalam mendapatkan  $Q(x)$  atau nilai probabilitas kesalahan bit pada teoritis,  $Q(x)$  dapat dicari dengan melihat hasil perhitungan  $E_b/N_0$  yang didapatkan ( $x$ ) dengan nilai  $x$  yang ada pada tabel *Q Function*. Carilah nilai  $x$  terdekat pada tabel *Q Function* dengan nilai  $x$  yang didapatkan pada perhitungan  $E_b/N_0$  maka itulah nilai probabilitas kesalahan bitnya. Pada **Tabel II** akan menunjukkan hasil perhitungan teoritis yang didapat pada masing-masing bit.

$$P_e = Q \sqrt{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)} \tag{1}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 10^{\frac{Eb/N0(dB)}{10}} \tag{2}$$

Keterangan :

$P_e$  = Probabilitas kesalahan bit

$Q$  = Probabilitas error simbol pada derau kanal

$E_b/N_0$  = Rasio energi bit terhadap derau

dB = Intensitas suara

Penurunan nilai probabilitas kesalahan bit yang terjadi pada hasil simulasi **Tabel I** dan perhitungan **Tabel II** modulasi ASK, FSK dan BPSK, dapat disimpulkan bahwa modulasi BPSK mengalami penurunan nilai probabilitas kesalahan bit yang lebih besar pada setiap  $E_b/N_0$  dibandingkan dengan modulasi lainnya. BPSK bisa lebih unggul dari modulasi yang lain karena modulasi ini menggunakan format yang sederhana dan cocok untuk transmisi data dengan kecepatan tinggi[11].

Teoritis bisa lebih unggul dari hasil simulasi dikarenakan pada teoritis energi bit lebih besar dibandingkan derau, selain itu derau yang ada pada teoritis ideal dan tidak random seperti derau pada simulasi. Energi bit yang besar dan derau yang kecil serta ideal ini menyebabkan kapasitas kanal menjadi lebih besar, bit yang diproses lebih banyak dan lebar cakupan frekuensi lebih baik.



Tabel II. Teoritis Probabilitas Kesalahan Bi

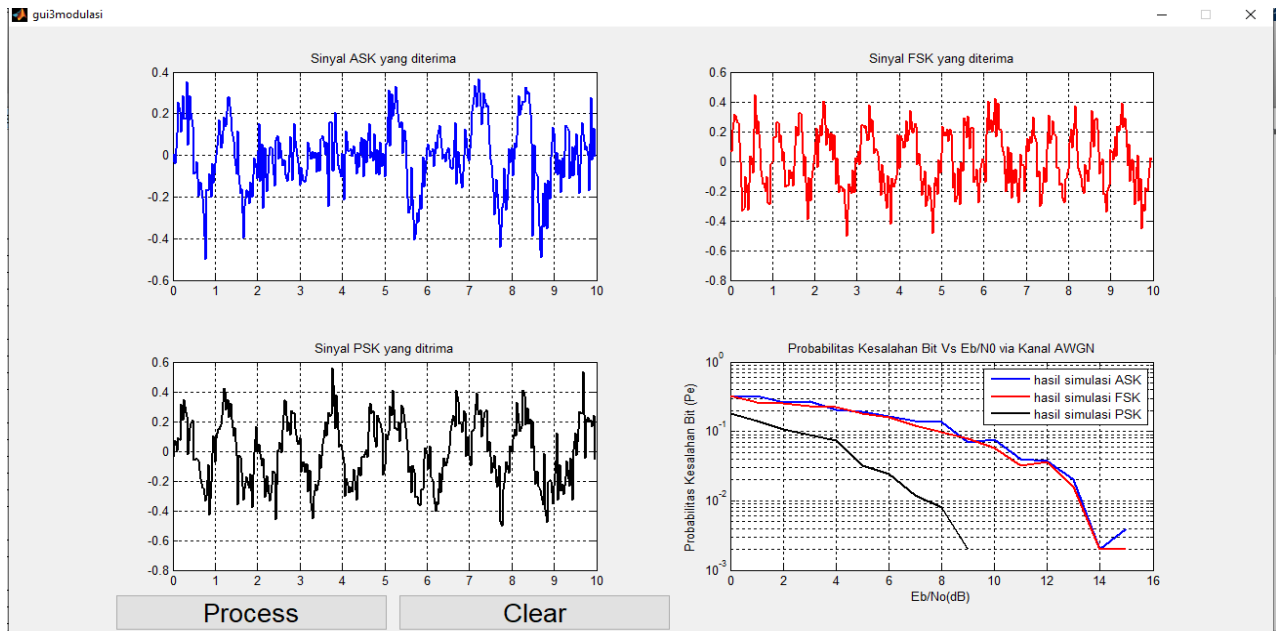
Bit	$E_b/N_0$ (dB)	Probabilitas Kesalahan Bit (Pe)		
		Hasil Teoritis		
		ASK	FSK	BPSK
100	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-2}$
	2	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
	4	$5,4 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	6	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	8	$6,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-4}$
	10	$8,1 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	12	$3,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	14	$2,8 \times 10^{-7}$	$< 3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	16	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
200	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-2}$
	2	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
	4	$5,4 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	6	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	8	$6,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-4}$
	10	$8,1 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	12	$3,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	14	$2,8 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	16	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
300	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-2}$
	2	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
	4	$5,4 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	6	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	8	$6,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-4}$
	10	$8,1 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	12	$3,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	14	$2,8 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	16	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
400	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-2}$
	2	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
	4	$5,4 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	6	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	8	$6,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-4}$
	10	$8,1 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	12	$3,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	14	$2,8 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	16	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-10}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
500	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-2}$
	2	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
	4	$5,4 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
	6	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	8	$6,2 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-4}$
	10	$8,1 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	12	$3,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	14	$2,8 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
	16	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-10}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$
18	$< 2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,4 \times 10^{-10}$	$< 1,9 \times 10^{-4}$	

GUI analisa pengukuran performansi *probability of error Bit* berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN ini dibuat dengan tujuan untuk memudahkan dalam melakukan simulasi, karena gelombang sinyal dan grafik kurva tampil dalam satu GUI[12]. Pengambilan data probabilitas kesalahan bit pada simulasi ini dapat dilakukan ketika kode biner yang digunakan sudah sesuai dengan gelombang sinyal baik pada transmitter maupun reciver. Perubahan yang terjadi pada gelombang sinyal saat diterima ini yang akan dibandingkan dengan sinyal yang

dikirim dalam mendapatkan probabilitas kesalahan bit modulasi digital. Pada **Gambar 6** menunjukkan tampilan yang dihasilkan pada GUI simulasi pengukuran performansi probabilitas kesalahan bit berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal AWGN. Dalam menampilkan sinyal *reciver* atau sinyal yang sudah diberikan derau AWGN pada GUI Matlab, yang pertama harus dilakukan adalah membuat 4 axes untuk menampilkan sinyal *reciver* pada modulasi ASK, FSK, BPSK dan Kurva probabilitas kesalahan bit. Tombol pada GUI digunakan untuk memanggil *source code* probabilitas kesalahan bit modulasi digital via kanal AWGN, agar *source code* dapat terpanggil oleh *push button process* pastikan *source code function push button1\_Callback (hObject, eventdata, handles)* berada diatas *source code* probabilitas kesalahan bit modulasi digital via kanal AWGN. Pastikan tidak ada *function* lain selain *pussh button*, karena nanti gelombang sinyal *reciver* modulasi ditigal dan kurva tidak dapat ditampilkan pada axes GUI.

Ketika *function pushbutton1\_Callback(hObject, eventdata, handles)* ditempatkan diatas *source code* probabilitas kesalahan bit pada modulasi digital via kanal AWGN, maka seluruh *source code* dibawahnya akan diproses ketika *pushbutton* ini digunakan. *Push button process* yang ada pada GUI akan memproses *input* energi bit, proses modulasi, input SNR AWGN, demodulasi dan Probabilitas kesalahan bit. Maksud dari proses tersebut adalah energi bit dalam kode biner akan dibangkitkan menjadi gelombang sinyal sesuai metode modulasinya. Sinyal modulasi akan diberikan derau AWGN melalui SNR, lalu sinyal tersebut akan di demodulasikan agar terlihat bentuk gelombang sinyal ketika sudah diberikan derau AWGN. Proses yang menampilkan seluruh modulasi yang sudah diberikan derau adalah *source code* deteksi. Pada proses *source code* BER Nilai kesalahan bit yang diterima akan dibagi dengan nilai bit yang dikirimkan untuk mendapatkan nilai probabilitas kesalahan bit dalam bentuk kurva yang ditampilkan pada GUI Matlab.

Untuk menampilkan bentuk gelombang sinyal *reciver* yang terdeteksi pada *source code* deteksi pada GUI, maka harus dibuat subplotnya terlebih dahulu yang terdiri dari stairs, axis dan title. Subplot ini digunakan sebagai perancangan tampilan gelombang sinyal maupun kurva, pada gelombang sinyal staris digunakan sebagai amplitude (sumbu y), axis sebagai time (sumbu y) dan title untuk judul pada gelombang sinyal tersebut.



Gambar 6. Tampilan GUI Probabilitas kesalahan bit modulasi digital

Dalam mengatur bentuk dan posisi gelombang sinyal dan kurva maka diperlukan subplot pada *source code*. Pada simulasi ini jenis subplot yang digunakan adalah 411 dan 2,1,1. Tiga angka yang ada pada subplot memiliki arti baris, kolom dan posisi jadi misal ingin menukar posisi sinyal *reciver* ASK dengan kurva cukup ubah angka paling kanan pada subplot, dimana angka tersebut memiliki arti posisi. Subplot memiliki batasan dalam penggunaannya yaitu hanya dapat menampilkan 4 axes pada GUI. Penggunaan tombol clear pada GUI ini digunakan untuk membersihkan GUI dan figure. *Source code delete()* merupakan *source code* yang digunakan untuk membersihkan setiap gelombang sinyal dan kurva yang ingin dihapus, sebagai contoh jika ingin membersihkan *Reciver* ASK maka *source code* yang dibuat adalah `delete(subplot(2,2,1))`.

GUI simulasi performansi probabilitas kesalahan bit ini dapat digunakan dalam pembelajaran pada mata kuliah sistem komunikasi digital. Pembelajaran tersebut terkait pemahaman cara didapatkannya kesalahan bit pada berbagai variasi modulasi digital beserta prosesnya. Selain itu simulasi ini juga dapat memudahkan mahasiswa dalam melakukan analisa performansi modulasi digital, karena simulasi ini menampilkan kurva dan gelombang sinyal dari berbagai jenis modulasi digital dalam satu tampilan GUI.

#### IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa pengukuran performansi *probability of error bit*

berbagai tipe modulasi digital pada lingkungan kanal transmisi AWGN, menunjukkan bahwa perancangan simulasi beserta GUI dapat bekerja dengan baik. Dimana pada perancangan simulasi sudah dapat menampilkan gelombang sinyal pengirim dan penerima untuk seluruh modulasi digital yang digunakan, beserta dengan kurva probabilitas kesalahan bit. Simulasi probabilitas kesalahan bit dapat menghasilkan data yang sesuai dengan teori yang ada, dimana modulasi BPSK dapat lebih baik dalam menghasilkan probabilitas kesalahan bit dibandingkan modulasi ASK dan FSK. Pada hasil analisa simulasi dan teoritis menunjukkan bahwa probabilitas kesalahan bit akan semakin kecil jika  $E_b/N_0$  semakin besar. Probabilitas kesalahan bit yang dihasilkan teoritis lebih kecil dari simulasi karena pada teoritis deraunya ideal dan energi bit lebih besar. Jika energi bit besar maka kapasitas kanal akan menjadi lebih besar, proses bitrate lebih unggul dan jumlah data yang ditransfer lebih unggul. Dari analisa ini didapatkan bahwa jarak energi bit yang berdekatan serta kode biner yang berbeda pada simulasi, dapat mengakibatkan hasil probabilitas kesalahan bit yang tidak sesuai dengan yang seharusnya, dimana bit yang kecil dapat menghasilkan probabilitas yang lebih unggul dibandingkan bit yang ada di atasnya. Kesalahan hasil probabilitas tersebut bisa terjadi karena setiap kode biner yang digunakan pada gelombang sinyal modulasi menghasilkan probabilitas yang berbeda – beda, ditambah dengan jarak simulasi bit yang berdekatan. GUI Matlab yang dibuat pada penelitian ini dapat menampilkan bentuk

gelombang sinyal yang sudah diberikan derau AWGN beserta dengan bentuk kurva yang didapatkan dari hasil perbandingan sinyal *transmitter* dan sinyal *reciver*. Diharapkan dengan adanya GUI probabilitas kesalahan bit ini, dapat membantu dalam pemahaman proses didapkannya nilai probabilitas kesalahan bit modulasi ASK, FSK dan BPSK.

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan lebih dari satu kanal transmisi, seperti ditambahkan dengan kanal transmisi rayleigh *fading* dan rician *fading*. Penambahan kanal transmisi tersebut bertujuan dalam melakukan analisa performansi untuk berbagai tipe kanal transmisi. Selain itu diharapkan dapat membuat tampilan GUI yang lebih baik, dimana dapat melakukan *input* bit dan kode biner dari GUI performansi probabilitas kesalahan bit. Dengan penggunaan kode biner yang tetap diharapkan penurunan probabilitas kesalahan bit dapat terlihat lebih jelas pada setiap percobaannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sudhir Babu dan K.V. Sambasiva Rao, "Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes," International Journal of Computer Applications., vol. 26, no. 9, hal. 23–28, 2011.
- [2] S. Bharati, M. A. Rahman, dan P. Podder, "Implementation of ASK, FSK and PSK with BER vs. SNR comparison over AWGN channel," Electrical Engineering and Systems Science arXiv, vol. 3, hal. 2–6, 2020.
- [3] B. Kurniawan dan J. Utama, "Perancangan Radio Portabel Untuk Masyarakat Pedesaan Di Indonesia Berbasis Frekuensi Modulasi (Fm) Dengan Menggunakan Mp3, Memory Card, Komputer Dan Line in Micropone Sebagai Media Input Radio," Majalah Ilmiah UNIKOM, vol. 13, no. 2, hal. 55–60, 2016.
- [4] M. Golam Sadeque, "Bit Error Rate (BER) Comparison of AWGN Channels for Different Type's Digital Modulation Using MATLAB Simulink," American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) ISSN (Print), vol. 13, no. 1, hal. 61–71, 2015.
- [5] V. Chaturvedi dan V. Kumar Gupta "Performance Analysis for Different Interleavers in Various Modulation Schemes with OFDM over an AWGN Channel," IOSR Journal of Engineering., vol. 02, no. 04, hal. 760–767, 2012.
- [6] V. Sharma, A. Shrivastav, A. Jain, dan A. Panday, "BER performance of OFDM-BPSK,-QPSK,- QAM over AWGN channel using forward Error correcting code," International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)., vol.2, no.3, hal. 1619–1624, 2012
- [7] V. Pushpa, H. Ranganathan, dan M. Palanivelan, "BER Analysis of BPSK for Block Codes and Convolution Codes Over AWGN Channel," International Journal of Pure and Applied Mathematics., vol. 114, no. 11, hal. 221–230, 2017.
- [8] D. D. Bohra dan A. Bora, "Bit error rate analysis in simulation of digital communication systems with different modulation schemes," International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET)., vol. 1, no. 3, hal. 406–413, 2014.
- [9] D. K. Chy dan M Khaliluzaman, "Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER," International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing., vol. 3, no. 1, hal. 7, 2015.
- [10] M. Divya, "Bit Error Rate Performance of BPSK Modulation and OFDM-BPSK with Rayleigh Multipath Channel," International Journal of Engineering and Advanced Technology., no. 24, hal. 2249–8958, 2013.
- [11] B. Chirag, A. Lohith, dan H. S. Prashantha, "Comparative performance analysis of various digital modulation schemes in AWGN channel," International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies., vol. 2017-Janua, hal. 1–5, 2017.
- [12] N. F. Naim, H. I. M. Zaini, S. S. Sarnin dan N. Ya'acob , "Interactive Learning Software For Electrical Engineering Subjects Using Matlab and ITS GUI," Journal of Fundamental and Applied Sciences., vol. 4, no. 1, hal. 9–10, 2017.