



Perancangan Simulator Modulasi Analog dan Digital Berbasis App Designer Matlab untuk Media Pembelajaran Sistem Telekomunikasi

Naufal Arif Ardiansyah^{1*}, Desi Fitriana², Shita Fitria Nurjihan³, Fitri Elvira Ananda⁴

^{1,3}Program Studi Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

^{2,4}Program Studi Broadband Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

*Email: ardiansyah.naufalarif@gmail.com

Abstract: This paper proposes an application that was designed using MATLAB App Designer in the form of an analog and digital modulation simulator that can be used as a learning tools in telecommunications systems courses. Studying the modulation process is one of the core areas of knowledge in the telecommunications field. Modulation is the process of superimposing an information signal on a carrier signal to produce a modulated signal. Modulation can be divided into analog modulation and digital modulation. Analog modulation is modulation with an input signal in the form of an analog signal, while digital modulation has an input signal in the form of a binary or digital signal. The results of designing analog and digital modulation simulators can display simulations of AM, FM, PM, ASK, FSK, and PSK modulation in the form of information signals, carrier signals, modulation signals, as well as BER and SNR results for digital modulation. The simulator can work properly and in accordance with the theoretical analysis of analog and digital modulation. The greater the SNR level, the more the modulation system performance increases, because the BER (Bit Error Rate) value becomes lower.

Keywords: analog modulation; carrier signal; digital modulation; information signal; telecommunication systems;

1. PENDAHULUAN

Dalam mata kuliah teori Sistem Telekomunikasi di Politeknik Negeri Jakarta membahas prinsip dasar proses pengiriman informasi dari pengirim ke penerima melalui suatu sistem komunikasi. Proses tersebut melibatkan beberapa tahapan penting, mulai dari pembangkitan sinyal informasi, proses modulasi, transmisi melalui media, hingga penerimaan kembali sinyal informasi di sisi penerima. Salah satu materi inti yang dipelajari dalam mata kuliah ini adalah modulasi, yaitu proses penumpangan sinyal informasi ke sinyal pembawa agar informasi dapat dikirimkan secara efisien dan andal. Namun, konsep modulasi sering kali bersifat abstrak karena melibatkan representasi sinyal dalam bentuk matematis dan grafis. Oleh karena itu, diperlukan sebuah media pembelajaran berbasis aplikasi yang mampu memvisualisasikan proses modulasi secara interaktif, sehingga dapat membantu mahasiswa memahami konsep sistem telekomunikasi secara lebih jelas.

Secara umum, modulasi dapat dibedakan menjadi dua yaitu modulasi digital dan modulasi analog. Modulasi digital merupakan modulasi dengan sinyal masukan berupa sinyal biner atau sinyal digital, sedangkan modulasi analog yaitu modulasi dengan sinyal masukan berupa sinyal analog. Modulasi digital diantaranya adalah Amplitudo Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK) dan modulasi analog seperti Amplitudo Modulation (AM), Frequency Modulation (FM), Phase Modulation (PM).

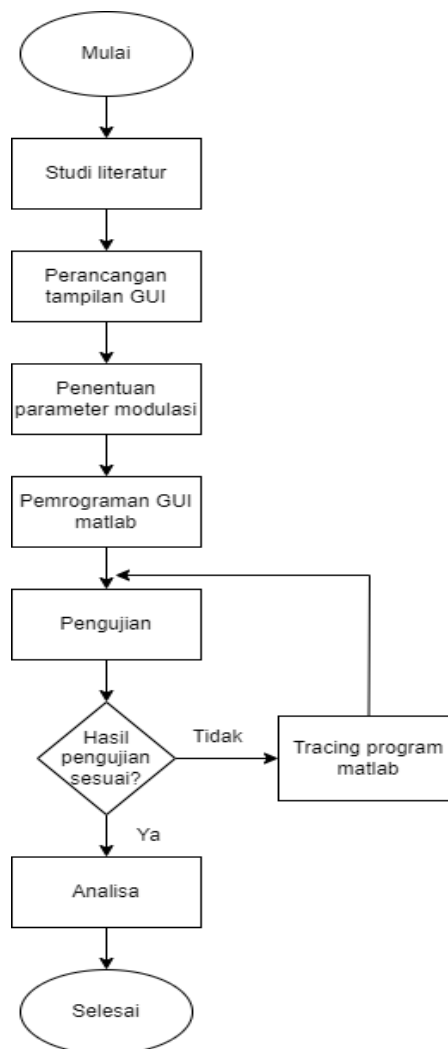
Meskipun telah banyak dilakukan penelitian terkait perancangan simulator pada bidang telekomunikasi, setiap penelitian umumnya memiliki tujuan, pendekatan, serta implementasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lingkungan masing-masing. Perbedaan kurikulum, tingkat pemahaman pengguna, serta perkembangan teknologi menjadi faktor yang memengaruhi desain dan fungsi simulator yang dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengembangan simulator pada sistem telekomunikasi masih memiliki ruang untuk terus dikembangkan. Simulator modulasi analog FSK pada kanal AWGN telah dikembangkan oleh (Ariiqoh, 2023). Selanjutnya, simulator modul praktikum teknik modulasi digital FSK, BPSK, dan QPSK dirancang oleh (Sa'iyanti, 2013). Selain itu, (Boulmaf, 2010) juga melakukan perancangan simulator modulasi analog dan digital menggunakan Matlab Simulink. Namun demikian, penggunaan simulator-simulator tersebut masih memiliki keterbatasan, karena harus dijalankan melalui perangkat lunak yang sama dengan yang digunakan pada tahap perancangan. Kondisi ini menyebabkan kurangnya fleksibilitas dalam penggunaan sehingga kurang efektif untuk diterapkan sebagai media pembelajaran yang praktis dan mudah diakses.

Pada penelitian ini, penulis membuat perancangan sebuah simulator modulasi analog dan digital yang mencakup modulasi AM, FM, PM, ASK, FSK, dan PSK. Simulator yang dikembangkan mampu menampilkan sinyal informasi, sinyal pembawa, sinyal modulasi, serta hasil parameter Bit Error Rate (BER) dan Signal-to-Noise Ratio (SNR) pada modulasi digital. Kemudian, simulator ini dikonversi ke dalam format aplikasi desktop (.exe) untuk memudahkan user dalam melakukan simulasi tanpa ketergantungan pada perangkat lunak perancangan tertentu. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan simulator modulasi analog dan digital berbasis MATLAB App Designer yang tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi sinyal, tetapi dirancang secara pedagogis untuk mengintegrasikan pemahaman konseptual, representasi visual, dan analisis matematis modulasi dalam satu lingkungan interaktif. Simulator ini menyatukan berbagai skema modulasi analog dan digital dalam satu antarmuka yang konsisten, memungkinkan mahasiswa melakukan eksplorasi dan perbandingan parameter secara langsung. Selain itu, dilengkapi dengan evaluasi efektivitas pembelajaran berbasis data kuantitatif melalui analisis pre-test dan post-test, sehingga memberikan kontribusi bahwa simulator yang dikembangkan mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa pada mata kuliah Sistem Telekomunikasi dibandingkan metode pembelajaran konvensional. Dengan demikian, simulator yang dirancang menjadi lebih fleksibel dan

praktis digunakan dalam rangka menunjang proses pembelajaran sistem telekomunikasi di lingkungan Politeknik Negeri Jakarta.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan simulator modulasi analog dan digital berbasis App Designer pada matlab dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu perancangan tampilan simulator, penentuan parameter modulasi analog dan digital, pembuatan program simulator, pengujian simulator dan analisa hasil pengujian. Alur tahapan pembuatan simulator tersebut ditunjukkan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* tahap perancangan simulator

Perancangan tampilan simulator yaitu melakukan rancangan tampilan simulator untuk masing-masing modulasi dengan GUI (*Graphical User Interface*). Perancangan tampilan harus memperhatikan setiap parameter yang akan digunakan pada masing-masing modulasi analog dan digital. Tampilan simulator terdiri atas satu frame utama sebagai

halaman awal, yang dilengkapi dengan tombol pilihan modulasi analog dan modulasi digital. Selanjutnya, pada masing-masing kategori modulasi tersebut disediakan pilihan jenis-jenis modulasi analog dan digital dasar.

Tahap selanjutnya adalah penentuan parameter pada modulasi analog dan digital, yaitu menentukan parameter-parameter yang akan ditampilkan pada simulator untuk masing-masing jenis modulasi, seperti frekuensi *carrier*, frekuensi sinyal *input*, indeks modulasi, sinyal biner, *Bit Error Rate* (BER), dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Setelah perancangan tampilan dan penentuan parameter modulasi, tahap berikutnya adalah melakukan pemrograman simulator menggunakan kombinasi pemrograman berbasis skrip dengan fitur App Designer pada Matlab.

Tahap terakhir adalah melakukan pengujian simulator dengan memberikan beberapa variasi nilai parameter masukan yang telah disediakan. Hasil pengujian yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan teori untuk membuktikan bahwa simulator yang dirancang telah bekerja sesuai dengan konsep modulasi yang benar. Selanjutnya, hasil pengujian tersebut dianalisis berdasarkan teori yang relevan.

2.1 Modulasi Amplitudo (AM)

Pada jenis modulasi ini amplitudo sinyal pembawa diubah-ubah secara proporsional terhadap amplitudo sesaat sinyal pemodulasi, sedangkan frekuensinya tetap selama proses modulasi. Persamaan gelombang AM sebagai berikut:

$$S_{AM}(t) = [1 + a S_i(t)] \cos (\omega_c t + \theta)$$

Dimana:

a : koefisien modulasi AM ($0 \leq a \leq 1$)

$S_i(t)$: sinyal informasi

ω_c : frekuensi sudut sinyal pembawa

2.2 Modulasi Frekuensi (FM)

Berdasarkan (Santiary, 2009) sinyal modulasi e_m digunakan untuk mengubah frekuensi pembawa f_c , misalnya, e_m dapat digunakan untuk mengubah kapasitansi dari rangkaian osilator frekuensi pembawa. Jika perubahan pada frekuensi pembawa adalah ke_m dengan k adalah konstanta yang dikenal sebagai konstanta deviasi frekuensi, maka frekuensi pembawa sesaat adalah:

$$f_i = f_c + ke_m$$

$$e_m = Em_{max} (\sin \omega_m t)$$

$$f_i = f_c + k Em_{max} (\sin \omega_m t)$$

$$\Delta_f = k Em_{max}$$

$$f_i = f_c + \Delta_f (\sin \omega_m t)$$

Index modulasi untuk deviasi frekuensi adalah:

$$mf = \frac{\Delta_f}{f_m}$$

Dimana:

$E_{m_{max}}$: amplitudo maksimum

Δ_f : deviasi frekuensi puncak

ω_m : $2\pi f_m$: frekuensi sudut sinyal modulasi

2.3 Modulasi Phasa (PM)

PM adalah proses penumpangan sinyal informasi pada komponen phasa dari sinyal carrier. PM berjenis modulasi sudut seperti FM, phasa sesaat gelombang pembawa divariasikan sesuai sinyal informasi.

$$S_{PM}(t) = A \cos (\omega_c t + d_p m(x) + \theta)$$

Dimana:

A : amplitude sinyal pembawa

ω_c : frekuensi sudut sinyal pembawa

d_p : index deviasi phasa

$m(x)$: sinyal modulasi

2.4 Amplitude Shift Keying (ASK)

ASK merupakan jenis modulasi digital yang paling sederhana. Sinyal direpresentasikan dalam dua kondisi perubahan amplitudo gelombang pembawa, yaitu logika "1" dan "0". Logika "1" direpresentasikan dengan status "ON" (ada gelombang pembawa) sedangkan logika "0" direpresentasikan dengan status "OFF" (tidak ada gelombang pembawa) sehingga dikenal juga dengan OOK (*On Off Keying*). Dari dua kondisi tersebut, didapatkan sebuah sinyal termodulasi ASK (Rahardi, 2009). Pada OOK, sinyal pembawa termodulasi amplitude adalah sebagai berikut:

$$S_{ASK}(t) = A \sin (2\pi f_c t)$$

Dimana:

f_c : frekuensi pembawa

A : variable data bit (1 atau 0)

2.5 Frequency Shift Keying (FSK)

FSK merupakan salah satu skema modulasi yang umum digunakan untuk mengirimkan informasi digital antar perangkat digital. Pada modulasi ini, data ditransmisikan dengan menggeser frekuensi sinyal pembawa kontinu secara biner ke salah satu dari dua

frekuensi diskrit. Salah satu frekuensi ditetapkan sebagai frekuensi *mark* untuk merepresentasikan logika biner satu, sedangkan frekuensi lainnya ditetapkan sebagai frekuensi *space* untuk merepresentasikan logika biner nol (Mayzar, 2020).

$$S_1(t) = A \sin(2\pi f_1 t)$$

$$S_2(t) = A \sin(2\pi f_2 t)$$

Dimana:

A : variable data bit (1 atau 0)

f_1 : frekuensi *mark*

f_2 : frekuensi *space*

2.6 Phase Shift Keying (PSK)

PSK merupakan modulasi yang menyatakan pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran fasa. Biner 0 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa yang sama terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya dan biner 1 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa berlawanan dengan sinyal yang dikirim sebelumnya. Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital (Kishore, 2019). Persamaan bentuk gelombang BPSK adalah sebagai berikut:

$$S_{PSK}(t) = A \sin(\omega c t + \theta c)$$

Dimana:

A : variable data bit (1 atau 0)

ωc : frekuensi sudut sinyal pembawa

θc : sudut fasa sinyal pembawa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tampilan simulator terdiri dari halaman utama dan halaman isi. Halaman utama terdapat dua pilihan tombol untuk modulasi analog dan modulasi digital. Pada modulasi analog terdapat pilihan tombol AM (Amplitudo Modulation), FM (Frequency Modulation), dan PM (Phase Modulation). Sedangkan pada modulasi digital terdapat pilihan tombol ASK (Amplitudo Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), dan PSK (Phase Shift Keying). Tampilan simulator ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



(b)



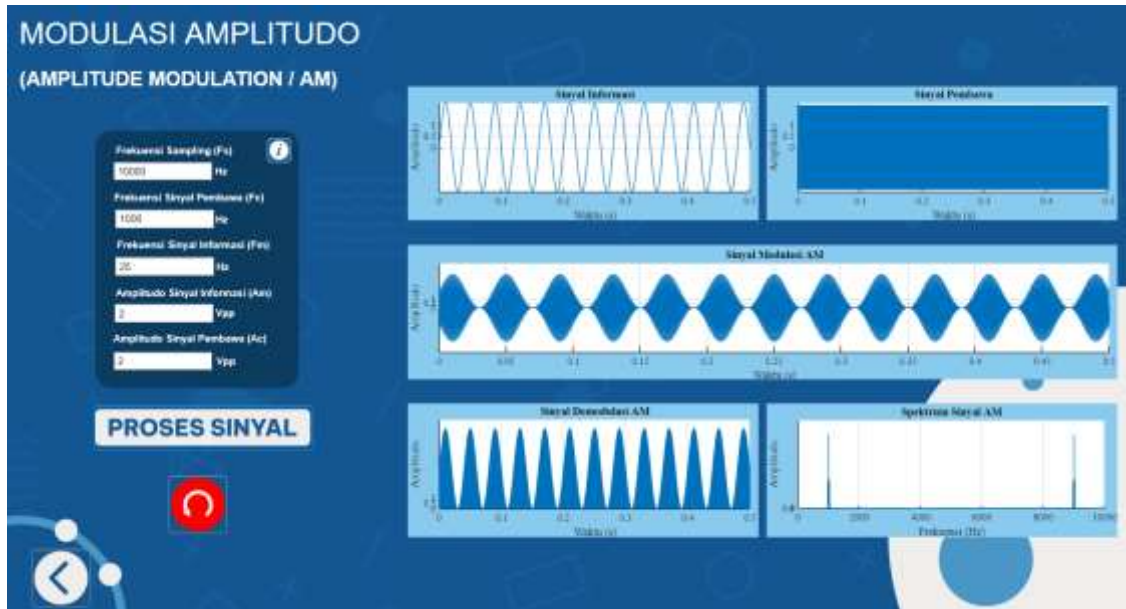
(c)

Gambar 2. (a) Halaman utama, (b) Halaman Modulasi Analog, (c) Halaman Modulasi Digital

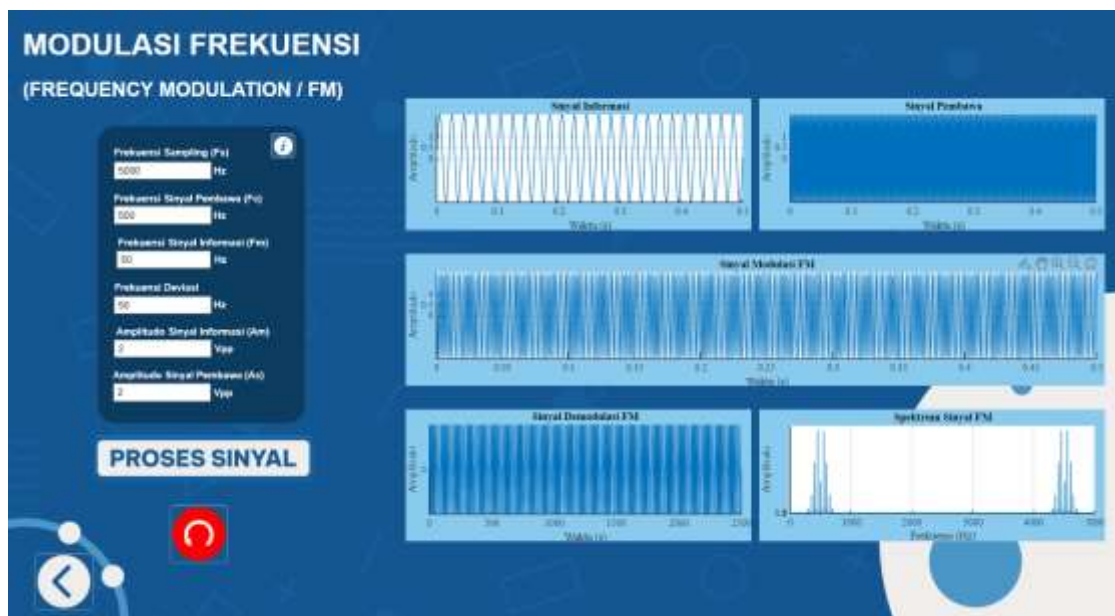
3.1. Hasil Simulasi Modulasi Analog

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi modulasi AM yang dihasilkan oleh simulator yang dirancang. Grafik sinyal informasi dan sinyal pembawa ditampilkan untuk menunjukkan karakteristik masing-masing sinyal sebelum proses modulasi. Besaran input yang diberikan yaitu berupa frekuensi sampling (F_s), frekuensi sinyal pembawa (F_c), frekuensi sinyal informasi (F_m), amplitudo sinyal pembawa (A_c) dan amplitudo sinyal informasi (A_m) dengan nilai $F_s = 10$ KHz, $F_c = 1$ KHz, $F_m = 25$ Hz, $A_m = 2$, $A_c = 2$. Hasil modulasi AM memperlihatkan bahwa amplitudo sinyal pembawa berubah mengikuti amplitudo sinyal informasi, sementara frekuensi dan fasa sinyal pembawa tetap konstan. Selain itu, hasil demodulasi AM menunjukkan bahwa sinyal informasi dapat direkonstruksi kembali dengan baik. Hasil ini tervalidasi dengan konsep teoritis yang dijelaskan pada [Budi, 2010 dan Dennis 2005]. Spektrum frekuensi sinyal AM juga ditampilkan untuk menunjukkan komponen frekuensi hasil modulasi, yang terdiri dari komponen frekuensi pembawa serta sideband atas dan sideband bawah di sekitar frekuensi pembawa.

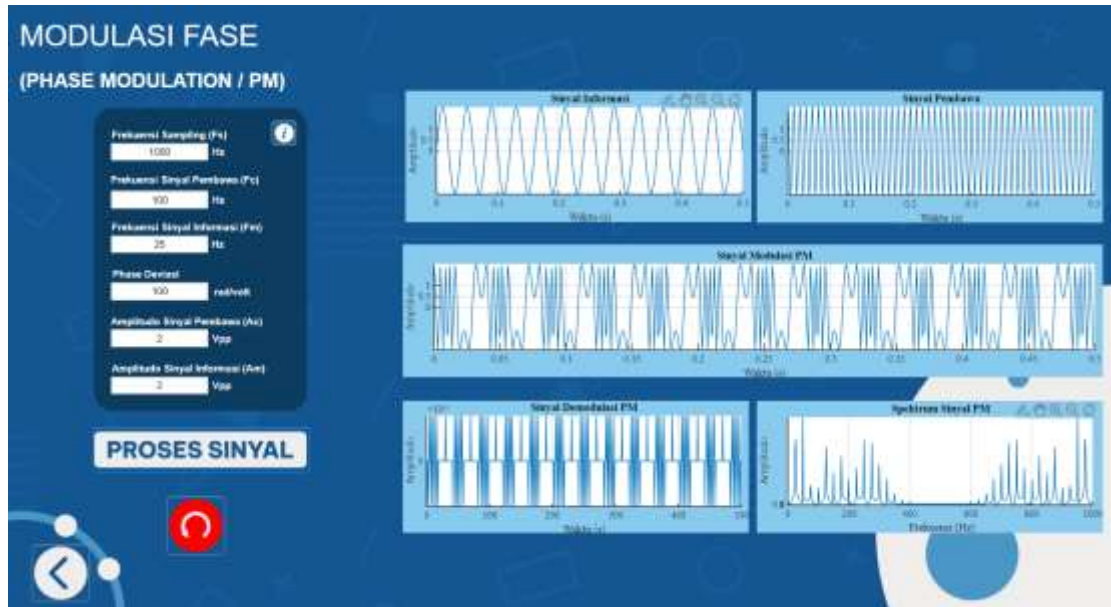
Pada modulasi FM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, input yang diberikan yaitu berupa frekuensi sampling (F_s), frekuensi sinyal pembawa (F_c), frekuensi sinyal informasi (F_m), frekuensi deviasi, amplitudo sinyal pembawa (A_c) dan amplitudo sinyal informasi (A_m) dengan nilai $F_s = 5$ KHz, $F_c = 500$ Hz, $F_m = 50$ Hz, frekuensi deviasi = 50 Hz, $A_m = 2$, $A_c = 2$. Hasil modulasi FM menunjukkan bahwa frekuensi sinyal pembawa berubah-ubah mengikuti amplitudo sinyal informasi, sementara amplitudo sinyal pembawa tetap konstan. Selain itu, hasil demodulasi FM menunjukkan sinyal informasi dapat direkonstruksi kembali dengan baik. Spektrum frekuensi sinyal FM juga ditampilkan untuk menunjukkan pelebaran bandwidth akibat proses modulasi frekuensi, yang ditandai dengan munculnya komponen sideband.



Gambar 3. Hasil simulasi modulasi AM



Gambar 4. Hasil simulasi modulasi FM



Gambar 5. Hasil simulasi modulasi PM

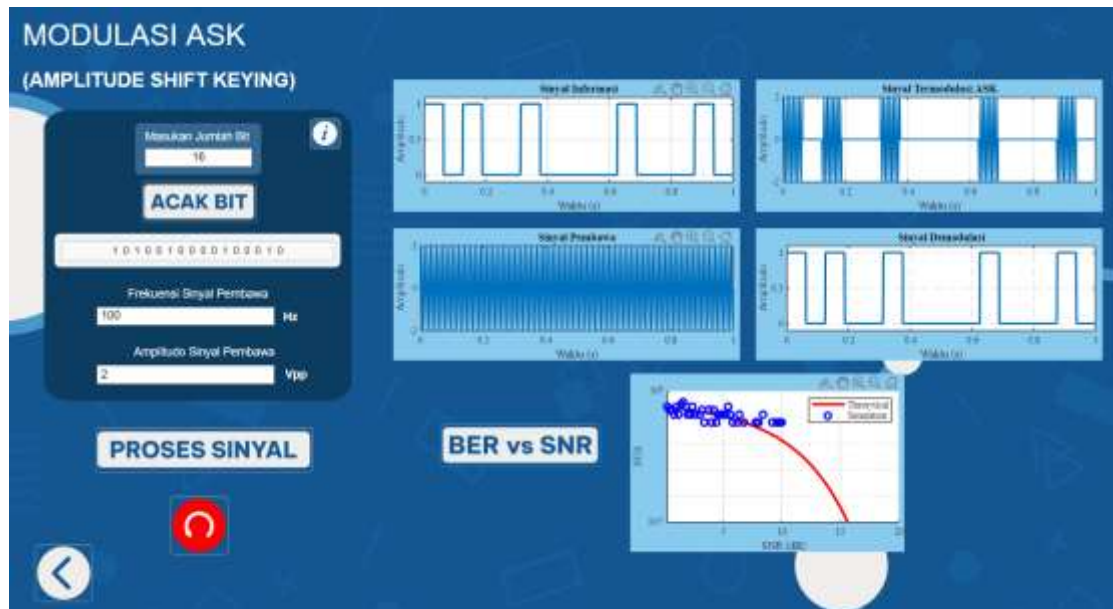
Hasil simulasi modulasi PM ditunjukkan pada Gambar 5, parameter yang diberikan yaitu berupa frekuensi sampling (F_s), frekuensi sinyal pembawa (F_c), frekuensi sinyal informasi (F_m), phase deviasi, amplitudo sinyal pembawa (A_c) dan amplitudo sinyal informasi (A_m) dengan nilai $F_s = 1$ KHz, $F_c = 100$ Hz, $F_m = 25$ Hz, phase deviasi = 100 rad/volt, $A_m = 2$, $A_c = 2$. Hasil modulasi PM menunjukkan bahwa fasa sinyal pembawa berubah-ubah sesuai dengan amplitudo sinyal informasi, sementara amplitudo sinyal pembawa tetap konstan. Selain itu, hasil demodulasi PM memperlihatkan bahwa sinyal informasi dapat direkonstruksi kembali dengan baik. Spektrum frekuensi sinyal PM juga ditampilkan untuk menunjukkan komponen frekuensi yang dihasilkan akibat proses modulasi fasa.

3.2. Hasil Simulasi Modulasi Digital

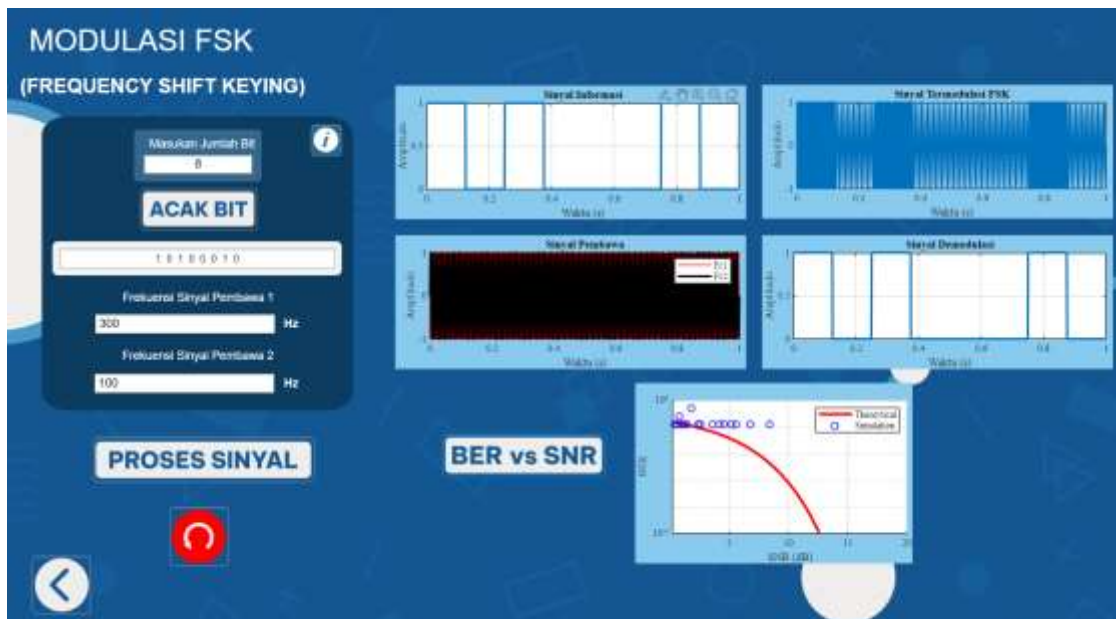
Hasil simulasi modulasi ASK ditunjukkan pada Gambar 6. Pada modulasi ASK, sinyal masukan berupa deretan bit biner 0 dan 1 yang dibangkitkan secara acak, frekuensi sinyal pembawa (f_c), serta amplitudo sinyal pembawa (A_c). Pada simulasi ini digunakan nilai $f_c = 100$ Hz, $A_c = 2$, dengan jumlah bit masukan sebanyak 16 bit. Sinyal termodulasi ASK seperti tampak pada Gambar 6, di mana amplitudo sinyal pembawa berubah sesuai dengan kondisi bit masukan. Ketika bit masukan diberikan bit 1, sinyal pembawa memiliki amplitudo tertentu, sedangkan ketika bit masukan bernilai 0, amplitudo sinyal pembawa bernilai nol atau sangat kecil. Selain itu, grafik hasil demodulasi menunjukkan bahwa sinyal informasi dapat direkonstruksi kembali dengan baik. Hubungan antara BER dan SNR juga ditampilkan, yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai SNR menyebabkan penurunan nilai BER, hal ini sesuai dengan konsep teoritis modulasi ASK.

Hasil simulasi modulasi FSK ditunjukkan pada Gambar 7. Pada simulasi ini, sinyal input juga dibangkitkan secara acak yang merupakan deretan bit 1 atau 0 sejumlah 8 bit,

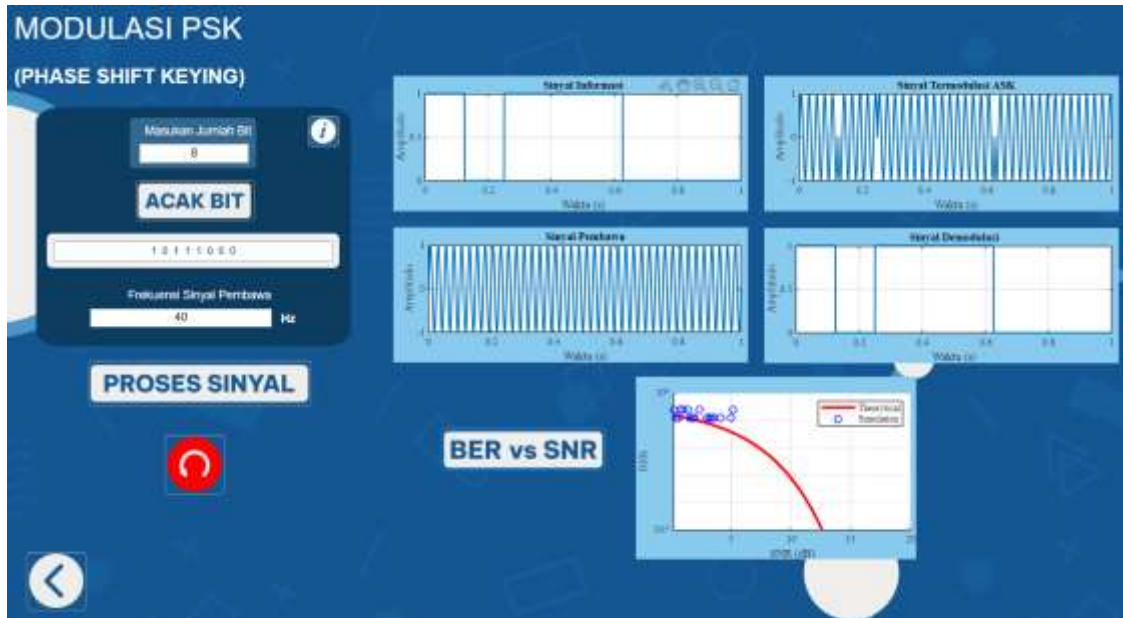
dengan dua frekuensi sinyal pembawa, yaitu $f_{c1} = 300\text{Hz}$ dan $f_{c2} = 100\text{Hz}$. Hasil modulasi FSK menunjukkan bahwa ketika bit input bernilai 1, sinyal termodulasi memiliki frekuensi yang lebih tinggi sehingga tampak lebih rapat, sedangkan ketika bit masukan bernilai 0, sinyal termodulasi memiliki frekuensi yang lebih rendah sehingga tampak lebih renggang.



Gambar 6. Hasil simulasi modulasi ASK



Gambar 7. Hasil simulasi modulasi FSK



Gambar 8. Hasil simulasi modulasi PSK

Hasil demodulasi FSK pada Gambar 7 juga menunjukkan sinyal informasi direkonstruksi dengan baik. Kemudian, pada kurva BER vs SNR memperlihatkan perbandingan grafik hasil simulasi dengan persamaan secara teoritis, dimana semakin besar nilai SNR maka BER akan bernilai semakin kecil. Grafik hasil simulasi akan menyerupai pola teoritis apabila diberikan jumlah bit input yang jauh lebih besar.

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi modulasi PSK. Pada simulasi ini, sinyal masukan sejumlah 8 bit berupa deretan bit biner 0 dan 1 yang dibangkitkan secara acak dengan menggunakan frekuensi pembawa sebesar $f_c = 40\text{Hz}$. Dalam proses modulasi PSK, fasa sinyal pembawa mengalami perubahan sesuai dengan kondisi sinyal informasi digital. Apabila bit masukan bernilai 0, sinyal pembawa dipertahankan pada fasanya semula, sedangkan apabila bit masukan bernilai 1, sinyal pembawa mengalami pergeseran fasa sebesar 180 derajat. Kemudian, hasil demodulasi dan kurva BER vs SNR pada modulasi PSK menunjukkan performa yang sama dengan dua jenis modulasi sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Hasil perancangan simulator modulasi analog dan digital mampu menampilkan simulasi modulasi AM, FM, PM, ASK, FSK, dan PSK yang meliputi sinyal informasi, sinyal pembawa, sinyal termodulasi, serta parameter BER dan SNR pada modulasi digital. Hasil keluaran simulator menunjukkan kesesuaian dengan teori yang ada. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar nilai SNR, maka performansi sistem modulasi semakin meningkat, yang ditandai dengan menurunnya nilai BER atau tingkat kesalahan bit.

REFERENSI

- Ariiqoh, I., Pratama, S.Y., Ananda, F.E., Nurjihan, S.F., & Rafsyam, Y. (2023). Perancangan Simulator Modulasi Frequency Shift Keying Pada Kanal Additive White Gaussian Noise. *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, (pp. 542 - 550)
- Boulmaf, M., Semmar, Y., Lakas, A., & Shuaib, K. (2010). Teaching Digital and Analog Modulation to Undergraduate Information Technology Students Using Matlab and Simulink. *IEEE EDUCON Education Engineering*, (pp. 685 – 691)
- Budi Setiyanto. 2010. Dasar-dasar Telekomunikasi. Sakti. Yogyakarta
- Dennis Roddy dan John Coolen. 2005. Komunikasi Elektronika. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hapsara, A. K., Santoso, I., & Ajulian, A. (2007). Kinerja Modulasi Digital dengan Metode PSK (Phase Shift Keying). *Tugas Akhir Universitas Diponegoro, Semarang*
- Jangra, S., Kumar R. (2015). Digital Modulation Techniques Using MATLAB Script File and Graphical Approach. *IJCSC*, Vol 6 No 2, 372-376
- Kishore, G.S., & Rallapalli, H. (2019). Performance Assessment of M-Ary ASK, FSK, PSK, QAM and FQAM in AWGN Channel. *International Conference on Communication and Signal Processing*, India
- Mayzar, D. K., Dwiyaniti, D., & Ananda, F. E. (2020). Rancang Bangun Simulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Berbasis Graphical User Interface (GUI). *Spektral*, 1(1), 24–29
- Rahardi, A.F. (2009). Peningkatan Kualitas Video Untuk Transmisi Deskripsi Jamak Pada Kanal Video. *Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya
- Sa'iyanti, N.P., & Pratiarso, A. (2013). Pembuatan Modul Praktikum Teknik Modulasi Digital FSK, BPSK dan QPSK dengan Menggunakan Software. *Tugas Akhir. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya*.
- Sadeque, G. (2015). 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)*, 13(1), 61-71
- Santiary, P.A.W. (2009). Sistem Verifikasi Modul Modulasi FM (Frekuensi Modulasi) Menggunakan Bahasa Pemrograman Matlab. *Teknologi Elektro*, 8(2), 22 – 25
- Wiguna, R. C., dkk. (2018). Perancangan Simulator Teknik Modulasi ASK dan FSK Menggunakan MATLAB pada Kanal AWGN dan Rayleigh. *E-Proceeding of Applied Science*, 4(3), (pp. 2748-2757)