

SIMULASI INTERAKTIF MODULASI DIGITAL PHASE SHIFT KEYING (PSK), QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING (QPSK), DAN DIFFERENTIAL PHASE SHIFT KEYING (DPSK) MENGUNAKAN MATLAB GUI

Nur Suhada¹, Redi Ratiandi Yacoub², Neilcy Tjahjamoonsih³
[d1021201081@student.untan.ac.id¹](mailto:d1021201081@student.untan.ac.id), [rediyacoub@ee.untan.ac.id²](mailto:rediyacoub@ee.untan.ac.id),
[neilcy.mooniarsih@ee.untan.ac.id³](mailto:neilcy.mooniarsih@ee.untan.ac.id)
Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Modulasi digital merupakan teknik yang digunakan dalam sistem komunikasi untuk mengirimkan informasi melalui perubahan karakteristik sinyal pembawa. Namun, konsep modulasi digital seperti proses modulasi, transmisi, demodulasi, diagram konstelasi, dan pengaruh gangguan pada kanal komunikasi sering kali sulit dipahami hanya melalui pembelajaran teori. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi simulasi interaktif berbasis MATLAB Graphical User Interface (GUI) sebagai media pembelajaran modulasi digital. Aplikasi yang dirancang mampu mensimulasikan proses komunikasi digital secara bertahap mulai dari pengirim, modulator, transmisi, demodulator, hingga penerima. Teknik modulasi digital yang diterapkan meliputi Phase Shift Keying (PSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), dan Differential Phase Shift Keying (DPSK). Selain itu, aplikasi dilengkapi dengan kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN) dan Rayleigh Fading untuk mensimulasikan pengaruh gangguan pada proses transmisi sinyal. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik sinyal, diagram konstelasi, dan data digital sehingga pengguna dapat mengamati perubahan sinyal pada setiap tahapan proses komunikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi GUI yang dirancang dapat menjalankan seluruh proses simulasi dengan baik serta menampilkan visualisasi yang jelas dan mudah dipahami. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat memahami proses modulasi, transmisi, dan demodulasi, serta membedakan karakteristik modulasi digital PSK, QPSK, dan DPSK. Pengujian lebih lanjut dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada 45 responden yang terdiri atas mahasiswa Teknik Elektro Universitas Tanjungpura untuk menilai aspek kemudahan penggunaan, kualitas visualisasi, efektivitas pemahaman, dan penilaian umum terhadap aplikasi. Hasil evaluasi menunjukkan nilai rata-rata aspek kemudahan penggunaan sebesar 3,68, kualitas visualisasi sebesar 3,62, efektivitas pemahaman sebesar 3,53, dan penilaian umum sebesar 3,68. Secara keseluruhan aplikasi memperoleh nilai rata-rata 3,62 dengan kategori sangat baik, sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran komunikasi digital.

Kata Kunci: MATLAB GUI, Simulasi Interaktif, Modulasi Digital, PSK, QPSK, DPSK.

ABSTRACT

Digital modulation is a technique used in communication systems to transmit information through changes in the characteristics of the carrier signal. However, digital modulation concepts such as modulation processes, transmission, demodulation, constellation diagrams, and the influence of interference on communication channels are often difficult to understand only through theoretical learning. Therefore, this research aims to design an interactive simulation application based on MATLAB Graphical User Interface (GUI) as a digital modulation learning medium. The designed application is able to simulate the digital communication process in stages starting from sender, modulator, transmission, demodulator, to receiver. The digital modulation techniques applied include Phase Shift Keying (PSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), and Differential Phase Shift Keying (DPSK). In addition, the application is equipped with Additive White Gaussian Noise (AWGN) and Rayleigh Fading channels to simulate the effect of interference on the signal transmission process. Simulation results are displayed in the form of signal graphs, constellation diagrams and digital data so that users can observe signal changes at each stage of the communication process. The test results show that the designed GUI application can carry out the

entire simulation process well and displays visualizations that are clear and easy to understand. Through this application, users can understand the modulation, transmission and demodulation processes, as well as distinguish the characteristics of PSK, QPSK and DPSK digital modulation. Further testing was carried out by distributing questionnaires to 45 respondents consisting of Electrical Engineering students at Tanjungpura University to assess aspects of ease of use, visualization quality, effectiveness of understanding, and general assessment of the application. The evaluation results show an average value for the ease of use aspect of 3.68, visualization quality of 3.62, effectiveness of understanding of 3.53, and general assessment of 3.68. Overall, the application received an average score of 3.62 in the very good category, making it suitable for use as a digital communication learning medium.

Keywords: MATLAB GUI, Interactive Simulation, Digital Modulation, PSK, QPSK, DPSK

PENDAHULUAN

Dalam era teknologi komunikasi digital yang semakin berkembang, pemahaman mengenai teknik modulasi digital menjadi hal yang sangat penting bagi mahasiswa maupun praktisi di bidang telekomunikasi. Modulasi digital merupakan proses pengubahan sinyal digital ke dalam bentuk gelombang pembawa analog agar dapat ditransmisikan melalui berbagai media komunikasi[1]. Pada penelitian ini, teknik modulasi digital yang dibahas meliputi PSK, QPSK, dan DPSK. Ketiga teknik tersebut memiliki peranan penting dalam berbagai sistem komunikasi modern, seperti komunikasi nirkabel, komunikasi serat optik, dan komunikasi satelit[2]. Oleh karena itu, pemahaman mengenai prinsip kerja dan karakteristik masing-masing teknik modulasi digital menjadi sangat penting, khususnya dalam mempelajari proses komunikasi digital pada sistem telekomunikasi.

Namun, proses pembelajaran teknik modulasi digital sering kali masih bersifat teoritis dan kurang interaktif sehingga menyulitkan mahasiswa dalam memahami konsep serta penerapannya secara nyata. Kurangnya visualisasi pada proses modulasi menyebabkan mahasiswa kesulitan dalam mengamati hubungan antara perubahan parameter dengan hasil sinyal yang dihasilkan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu media pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mudah dipahami[3]. Simulasi interaktif menggunakan MATLAB dengan fitur GUI dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi permasalahan tersebut. MATLAB memiliki kemampuan komputasi numerik yang baik serta mendukung visualisasi sinyal. Dengan adanya aplikasi GUI, pengguna dapat melakukan perubahan parameter modulasi dan secara langsung mengamati pengaruhnya terhadap bentuk sinyal hasil modulasi[4]. Pendekatan ini memungkinkan proses pembelajaran menjadi lebih interaktif dan mudah dipahami karena mahasiswa tidak hanya mempelajari teori, tetapi juga dapat melakukan simulasi secara langsung.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang simulasi teknik modulasi digital PSK, QPSK, dan DPSK berbasis MATLAB GUI. Simulasi ini diharapkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran dan alat bantu praktikum yang mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif dan interaktif. Selain itu, simulasi ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam memahami prinsip kerja, karakteristik, serta perbedaan masing-masing teknik modulasi digital secara lebih mendalam.

METODE PENELITIAN

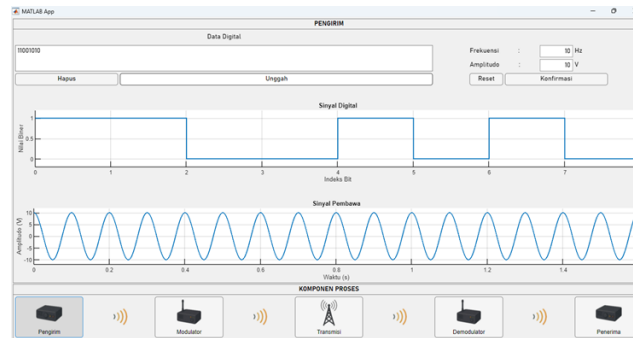
Penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak MATLAB, terutama fitur GUI, untuk merancang simulasi modulasi digital. Selain itu, perangkat keras yang akan digunakan mencakup laptop dengan spesifikasi yang memadai untuk menjalankan MATLAB secara optimal. Alat pendukung lain yang mungkin diperlukan mencakup perangkat penyimpanan data guna menyimpan hasil-hasil simulasi yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian aplikasi simulasi modulasi digital berbasis GUI MATLAB yang telah dirancang. Pengujian mencakup modulasi PSK, QPSK, dan DPSK untuk mengamati proses komunikasi digital mulai dari pengirim, modulator, transmisi, demodulator, hingga penerima. Selain itu, hasil penilaian audiens melalui kuesioner turut disajikan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan, pemahaman, serta kelayakan aplikasi sebagai media pembelajaran.

1. Hasil Uji Coba Modulasi PSK

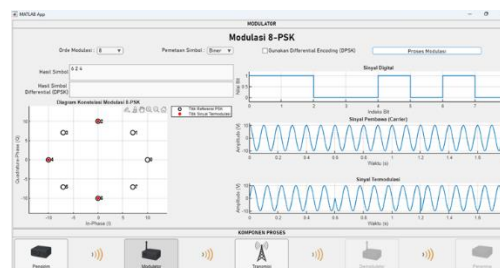
1) Hasil Pengirim



Gambar 4.1 Hasil Pengirim

Gambar 4.1 menunjukkan proses pada bagian pengirim, di mana pengguna memasukkan data digital berupa deretan bit biner 11001010 sebagai informasi yang akan dikirimkan. Data tersebut menjadi masukan utama pada sistem modulasi PSK. Setelah data dimasukkan, aplikasi GUI menampilkan sinyal digital dalam bentuk gelombang kotak yang merepresentasikan logika “1” dan “0”. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi pengiriman data, sedangkan audiens dapat mengamati urutan bit yang dikirim serta memahami representasi data digital dalam bentuk sinyal. Selanjutnya, sistem menghasilkan sinyal pembawa berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 10 Hz dan amplitudo 10 V sesuai parameter yang telah diatur pengguna. Sinyal pembawa ditampilkan pada grafik terpisah agar bentuk gelombangnya lebih mudah diamati dan dibandingkan dengan sinyal digital. Pada tahap ini, aplikasi GUI telah menyiapkan dua komponen utama, yaitu sinyal informasi dan sinyal pembawa. Kedua sinyal tersebut kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses modulasi.

2) Hasil Modulator

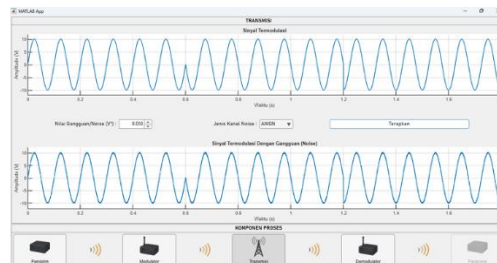


Gambar 4.2 Hasil Modulator

Gambar 4.2 menunjukkan proses modulasi pada bagian modulator ketika pengguna memilih orde modulasi 8-PSK. Pada tahap ini, sistem melakukan proses modulasi dengan membagi data digital ke dalam beberapa kelompok bit, di mana setiap kelompok terdiri dari tiga bit. Proses ini menunjukkan bahwa pada modulasi 8-PSK, satu simbol dapat merepresentasikan tiga bit informasi. Data digital 11001010 kemudian dibagi menjadi tiga kelompok bit, yaitu 110, 010, dan 100. Selanjutnya, setiap kelompok bit dikonversi menjadi simbol sehingga diperoleh nilai 6, 2, dan 4. Nilai tersebut ditampilkan pada kolom Hasil Simbol untuk memperlihatkan proses perubahan data biner menjadi simbol modulasi.

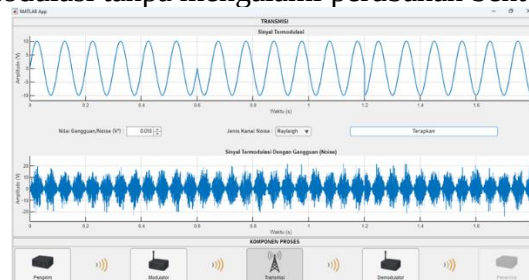
Setelah itu, simbol yang dihasilkan dipetakan ke diagram konstelasi 8-PSK. Pada diagram tersebut terlihat delapan titik referensi pada bidang In-Phase (I) dan Quadrature-Phase (Q). Titik berwarna merah menunjukkan simbol aktif yang sedang dikirim oleh sistem. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi modulasi, sedangkan audiens dapat mengamati hubungan antara data digital dengan perubahan fase sinyal. Pada grafik sinyal juga terlihat perbedaan antara sinyal pembawa dan sinyal hasil modulasi. Sinyal pembawa memiliki bentuk gelombang sinusoidal yang teratur, sedangkan sinyal termodulasi menunjukkan pola gelombang yang telah mengalami perubahan fase sesuai urutan simbol yang dikirim. Dari perbandingan tersebut, audiens dapat memahami bahwa informasi pada modulasi 8-PSK dibawa melalui perubahan fase sinyal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan modulasi 8-PSK meningkatkan efisiensi transmisi data karena satu simbol mampu membawa tiga bit informasi. Namun, jarak antar simbol pada diagram konstelasi menjadi lebih rapat sehingga sistem lebih sensitif terhadap gangguan noise dibandingkan modulasi dengan orde yang lebih rendah.

3) Hasil Transmisi



Gambar 4.3 Hasil Transmisi pada Kanal AWGN

Gambar 4.3 menunjukkan hasil transmisi sinyal melalui kanal AWGN dengan daya noise sebesar $0,010 \text{ V}^2$. Setelah proses transmisi dijalankan, sistem menambahkan gangguan berupa noise acak ke dalam sinyal termodulasi. Pada grafik hasil transmisi terlihat bahwa bentuk sinyal masih relatif stabil dan teratur. Gangguan yang muncul hanya menyebabkan perubahan kecil pada amplitudo sinyal, sehingga pola gelombang masih dapat dikenali dengan jelas. Melalui tampilan ini, pengguna dapat mengamati proses transmisi sinyal, sedangkan audiens dapat memahami pengaruh noise terhadap kualitas sinyal yang dikirim. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kanal AWGN dengan nilai noise rendah hanya memberikan pengaruh kecil terhadap kualitas sinyal, sehingga sinyal PSK masih dapat diteruskan ke tahap demodulasi tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan.

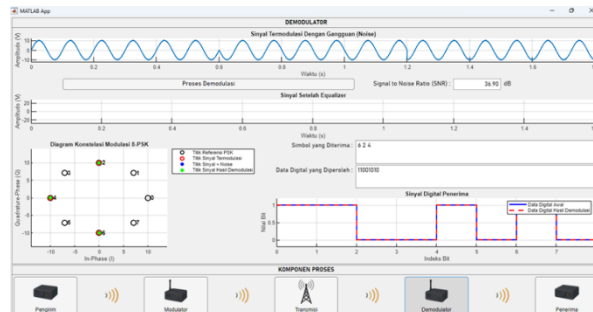


Gambar 4.4 Hasil Transmisi pada Kanal Rayleigh

Gambar 4.4 menunjukkan hasil transmisi sinyal melalui kanal Rayleigh dengan daya noise sebesar $0,010 \text{ V}^2$. Kanal ini merepresentasikan kondisi komunikasi nirkabel yang dipengaruhi efek multipath fading. Pada tampilan aplikasi GUI terlihat bahwa sinyal mengalami fluktuasi amplitudo yang cukup besar sehingga bentuk gelombangnya tampak semakin tidak teratur dibandingkan pada kanal AWGN. Gangguan tersebut terjadi karena sinyal menempuh beberapa jalur pantulan sebelum diterima, sehingga menyebabkan perubahan amplitudo dan fase secara acak. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi transmisi pada kanal Rayleigh, sedangkan audiens dapat mengamati

bahwa gangguan pada kanal Rayleigh lebih besar dibandingkan kanal AWGN. Kondisi ini menunjukkan bahwa kanal Rayleigh memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap kualitas sinyal termodulasi, sehingga proses pengenalan simbol pada tahap demodulator menjadi lebih sulit dan kualitas penerimaan dapat menurun apabila tidak dilakukan proses perbaikan sinyal, seperti equalizer atau teknik kompensasi lainnya.

4) Hasil Demodulator



Gambar 4.5 Hasil Demodulator pada Kanal AWGN

Gambar 4.5 menunjukkan proses demodulasi sinyal PSK setelah melewati kanal AWGN. Pada tahap ini, sistem melakukan proses pengembalian sinyal termodulasi menjadi data digital. Nilai Signal to Noise Ratio (SNR) yang diperoleh sebesar 36,90 dB menunjukkan bahwa kualitas sinyal masih dalam kondisi baik. Pada diagram konstelasi terlihat bahwa titik hasil penerimaan berada dekat dengan titik referensi sehingga simbol masih dapat dikenali dengan benar oleh sistem. Sistem berhasil mendeteksi simbol 6, 2, dan 4 sesuai dengan simbol yang dikirim sebelumnya. Setelah simbol dikonversi kembali ke bentuk biner, aplikasi GUI menampilkan data digital hasil penerimaan berupa 11001010. Grafik sinyal digital penerima juga menunjukkan bentuk gelombang yang hampir sama dengan data awal. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan proses demodulasi secara interaktif, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa data yang diterima masih sesuai dengan data yang dikirim. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa kanal AWGN dengan noise rendah masih memungkinkan proses demodulasi berjalan dengan baik tanpa kesalahan data.



Gambar 4.6 Hasil Demodulator pada Kanal Rayleigh

Gambar 4.6 menunjukkan proses demodulasi sinyal PSK setelah melewati kanal Rayleigh. Pada tahap ini, sinyal yang diterima mengalami gangguan yang lebih besar dibandingkan kanal AWGN akibat efek fading yang menyebabkan amplitudo sinyal berubah secara acak selama proses transmisi. Nilai SNR yang diperoleh sebesar -1,77 dB menunjukkan bahwa kualitas sinyal mengalami penurunan akibat pengaruh kanal Rayleigh. Meskipun demikian, sistem masih dapat melakukan proses equalizer sehingga bentuk sinyal setelah perbaikan tampak lebih stabil dibandingkan sebelum diproses. Pada diagram konstelasi terlihat bahwa titik sinyal mengalami pergeseran dari posisi referensi akibat pengaruh noise dan fading. Namun, setelah proses demodulasi dilakukan, sistem masih mampu mengenali simbol 6, 2, dan 4 dengan benar. Setelah simbol dikonversi kembali, data

digital hasil penerimaan yang diperoleh adalah 11001010. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan proses demodulasi pada kanal Rayleigh, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa meskipun kanal Rayleigh memberikan gangguan yang lebih besar, sistem masih mampu memulihkan sinyal dan mengembalikan data dengan baik melalui bantuan proses equalizer.

5) Hasil Penerima

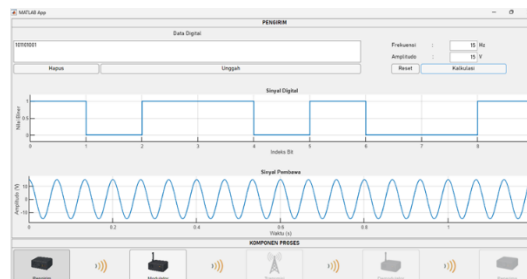


Gambar 4.7 Hasil Penerima

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pada bagian penerima setelah proses demodulasi selesai dilakukan. Pada grafik terlihat bahwa sinyal digital yang diterima memiliki pola yang sama dengan sinyal digital pengirim. Setiap perubahan level bit dari 1 ke 0 maupun dari 0 ke 1 muncul pada posisi bit yang sesuai. Data digital penerima yang ditampilkan adalah 11001010, yang menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penerimaan berjalan dengan baik. Bentuk sinyal digital juga terlihat jelas dan stabil setelah melalui tahapan modulasi, transmisi, dan demodulasi. Melalui tampilan ini, pengguna dapat melihat hasil akhir proses komunikasi digital, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa data yang diterima tetap sesuai dengan data asal. Secara keseluruhan, bagian penerima berhasil menampilkan kembali data digital tanpa mengalami kesalahan bit.

2. Hasil Uji Coba Modulasi QPSK

1) Hasil Pengirim

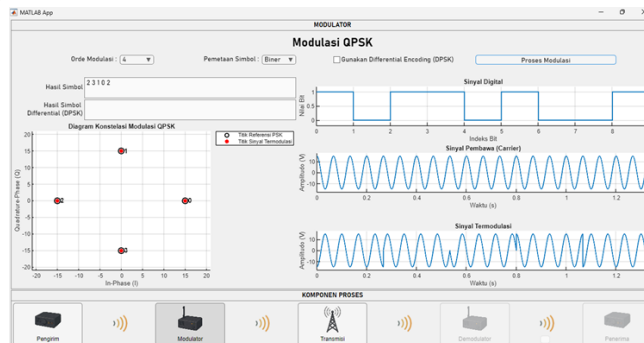


Gambar 4.8 Hasil Pengirim

Gambar 4.8 menunjukkan proses pada bagian pengirim, di mana pengguna memasukkan data digital berupa deretan bit biner 101101001 sebagai informasi yang akan dikirimkan pada sistem modulasi QPSK. Data tersebut menjadi masukan utama sebelum dilakukan proses modulasi. Setelah data dimasukkan, aplikasi GUI menampilkan sinyal digital dalam bentuk gelombang kotak yang merepresentasikan logika "1" dan "0". Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi pengiriman data, sedangkan audiens dapat mengamati urutan bit yang dikirim serta memahami representasi data digital dalam bentuk sinyal digital. Selanjutnya, sistem menghasilkan sinyal pembawa berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 15 Hz dan amplitudo 15 V sesuai parameter yang telah diatur pengguna. Sinyal pembawa ditampilkan pada grafik terpisah agar bentuk gelombangnya lebih mudah diamati dan dibandingkan dengan sinyal digital. Pada tahap ini, aplikasi GUI telah menyiapkan dua komponen utama, yaitu sinyal informasi dan sinyal pembawa. Kedua sinyal tersebut kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses

modulasi.

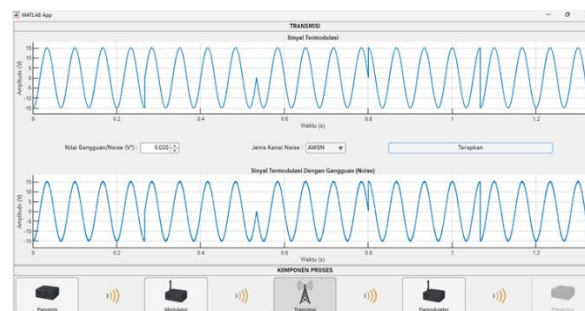
2) Hasil Modulator



Gambar 4.9 Hasil Modulator

Gambar 4.9 menunjukkan proses modulasi pada bagian modulator ketika pengguna memilih modulasi QPSK dengan orde modulasi 4. Pada tahap ini, sistem melakukan proses modulasi dengan membagi data digital ke dalam beberapa kelompok bit, di mana setiap kelompok terdiri dari dua bit. Proses ini menunjukkan bahwa pada modulasi QPSK satu simbol dapat merepresentasikan dua bit informasi. Karena jumlah data biner yang dimasukkan terdiri dari 9 bit, sistem menambahkan satu bit padding “0” sehingga data menjadi 1011010010. Selanjutnya, data dibagi menjadi beberapa kelompok bit, yaitu 10, 11, 01, 00, dan 10. Setiap kelompok bit kemudian dikonversi menjadi simbol sehingga diperoleh nilai 2, 3, 1, 0, dan 2. Nilai tersebut ditampilkan pada kolom Hasil Simbol untuk memperlihatkan proses perubahan data biner menjadi simbol modulasi. Setelah itu, simbol yang dihasilkan dipetakan ke diagram konstelasi QPSK. Pada diagram tersebut terlihat empat titik referensi pada bidang I dan Q. Titik berwarna merah menunjukkan simbol aktif yang sedang dikirim oleh sistem. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi modulasi, sedangkan audiens dapat mengamati hubungan antara data digital dengan perubahan fase sinyal. Pada grafik sinyal terlihat perbedaan antara sinyal pembawa dan sinyal hasil modulasi. Sinyal pembawa memiliki bentuk gelombang sinusoidal yang teratur, sedangkan sinyal termodulasi menunjukkan pola gelombang yang telah mengalami perubahan fase sesuai data masukan. Dari perbandingan tersebut, audiens dapat memahami bahwa informasi pada modulasi QPSK dibawa melalui perubahan fase sinyal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan modulasi QPSK membuat proses transmisi data menjadi lebih efisien karena satu simbol mampu membawa dua bit informasi. Selain itu, jumlah titik konstelasi yang lebih sedikit menyebabkan jarak antar simbol lebih renggang sehingga sistem relatif lebih tahan terhadap gangguan noise dibandingkan modulasi dengan orde yang lebih tinggi.

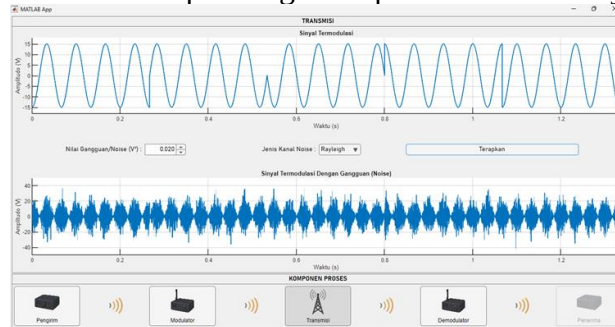
3) Hasil Transmisi



Gambar 4.10 Hasil Transmisi pada Kanal AWGN

Gambar 4.10 menunjukkan hasil transmisi sinyal QPSK melalui kanal AWGN dengan daya noise sebesar $0,020 \text{ V}^2$. Setelah proses transmisi dijalankan, sistem menambahkan gangguan berupa noise acak ke dalam sinyal termodulasi. Pada grafik hasil transmisi terlihat

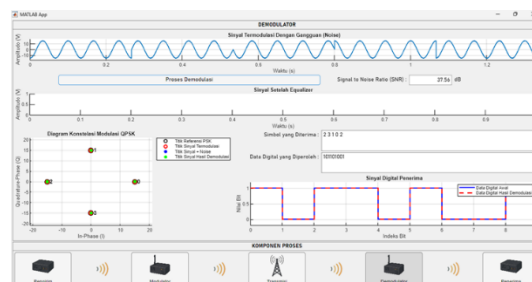
bahwa bentuk sinyal masih relatif stabil dan teratur. Gangguan yang muncul hanya menyebabkan perubahan kecil pada amplitudo sinyal sehingga pola gelombang masih dapat dikenali dengan jelas. Melalui tampilan ini, pengguna dapat mengamati proses transmisi sinyal, sedangkan audiens dapat memahami pengaruh noise terhadap kualitas sinyal yang dikirim. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kanal AWGN dengan nilai noise rendah hanya memberikan pengaruh kecil terhadap kualitas sinyal QPSK, sehingga sinyal masih dapat diteruskan ke tahap demodulasi tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan.



Gambar 4.11 Hasil Transmisi pada Kanal Rayleigh

Gambar 4.11 menunjukkan hasil transmisi sinyal QPSK melalui kanal Rayleigh dengan daya noise sebesar $0,020 \text{ V}^2$. Setelah proses dijalankan, sistem menyalurkan sinyal termodulasi melalui kanal yang dipengaruhi efek multipath fading. Pada grafik hasil transmisi terlihat bahwa amplitudo sinyal mengalami perubahan secara acak dan bentuk gelombang tampak semakin tidak teratur dibandingkan pada kanal AWGN. Gangguan tersebut menyebabkan sinyal terlihat lebih rapat dan lebih bising sehingga bentuk gelombang aslinya menjadi lebih sulit dikenali. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi transmisi pada kanal Rayleigh, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa kanal Rayleigh memberikan pengaruh gangguan yang lebih besar terhadap sinyal selama proses pengiriman. Kondisi ini menunjukkan bahwa efek fading pada kanal Rayleigh dapat menurunkan kualitas sinyal yang diterima sehingga dibutuhkan proses perbaikan sinyal pada tahap demodulasi.

4) Hasil Demodulator



Gambar 4.12 Hasil Demodulator pada Kanal AWGN

Gambar 4.12 menunjukkan proses demodulasi sinyal QPSK setelah melewati kanal AWGN. Pada tahap ini, sistem melakukan proses pengembalian sinyal termodulasi menjadi data digital. SNR yang diperoleh sebesar 37,56 dB menunjukkan bahwa kualitas sinyal masih dalam kondisi baik dan pengaruh noise relatif kecil. Pada diagram konstelasi terlihat bahwa titik sinyal hasil penerimaan berada sangat dekat dengan titik referensi QPSK, sehingga simbol masih dapat dikenali dengan baik oleh sistem. Sistem berhasil mendeteksi simbol 2, 3, 1, 0, dan 2 sesuai dengan simbol yang dikirim sebelumnya. Setelah simbol dikonversi kembali ke bentuk biner, aplikasi GUI menampilkan data digital hasil penerimaan berupa 1011010010. Grafik sinyal digital penerima juga menunjukkan pola data yang hampir sama dengan sinyal asli. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan proses demodulasi secara interaktif, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa data yang

diterima masih sesuai dengan data yang dikirim. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa kanal AWGN dengan noise rendah masih memungkinkan sistem QPSK bekerja dengan baik tanpa kesalahan data.



Gambar 4.13 Hasil Demodulator pada Kanal Rayleigh

Gambar 4.13 menunjukkan proses demodulasi sinyal QPSK setelah melewati kanal Rayleigh. Pada tahap ini, sinyal yang diterima mengalami gangguan yang lebih besar dibandingkan kanal AWGN sehingga bentuk gelombangnya tampak lebih bising dan amplitudonya berubah-ubah akibat efek fading. Nilai SNR yang diperoleh sebesar -1,83 dB menunjukkan bahwa kualitas sinyal mengalami penurunan akibat pengaruh kanal Rayleigh yang cukup besar. Setelah melewati proses equalizer, bentuk sinyal menjadi lebih stabil dibandingkan sebelum dilakukan perbaikan. Hal ini menunjukkan bahwa equalizer membantu mengurangi pengaruh fading sehingga sinyal lebih mudah diproses pada tahap demodulasi. Pada diagram konstelasi terlihat bahwa titik sinyal mengalami pergeseran dari posisi referensi akibat pengaruh noise dan fading. Namun, setelah proses demodulasi dilakukan, sistem masih mampu mengenali simbol 2, 3, 1, 0, dan 2 dengan benar. Setelah simbol dikonversi kembali ke bentuk biner, data digital hasil penerimaan yang diperoleh adalah 1011010010. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan proses demodulasi pada kanal Rayleigh, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa meskipun kanal Rayleigh memberikan gangguan yang lebih besar dibandingkan kanal AWGN, sistem masih mampu mempertahankan ketepatan penerimaan data melalui bantuan proses equalizer dan demodulasi yang tepat

5) Hasil Penerima



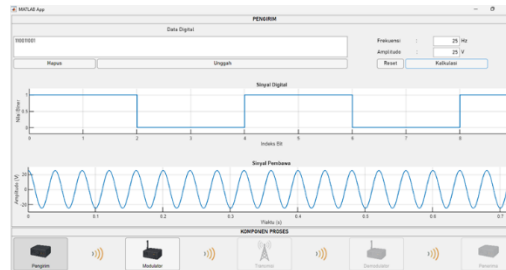
Gambar 4.14 Hasil Penerima

Gambar 4.14 menunjukkan hasil pada bagian penerima setelah proses demodulasi selesai dilakukan. Pada grafik terlihat bahwa sinyal digital yang diterima memiliki pola yang sama dengan sinyal digital yang dikirim sebelumnya. Setiap perubahan level bit dari 1 ke 0 maupun dari 0 ke 1 muncul pada posisi bit yang sesuai sehingga urutan data masih terjaga dengan baik. Data digital penerima yang ditampilkan adalah 1011010010. Nilai tersebut sama dengan data digital hasil proses modulasi dan demodulasi, sehingga menunjukkan bahwa proses transmisi dan penerimaan data berjalan dengan baik. Bentuk sinyal digital pada sisi penerima juga terlihat jelas dan stabil setelah melalui tahapan modulasi, transmisi, dan demodulasi. Melalui tampilan ini, pengguna dapat melihat hasil akhir proses komunikasi

digital, sedangkan audiens dapat mengamati bahwa data yang diterima tetap sesuai dengan data yang dikirim. Secara keseluruhan, bagian penerima berhasil menampilkan kembali data digital tanpa mengalami kesalahan bit.

3. Hasil Uji Coba Modulasi DPSK

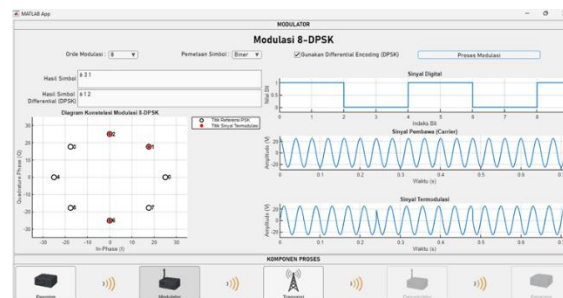
1) Hasil Pengirim



Gambar 4.15 Hasil Pengirim

Berdasarkan Gambar 4.15, pada tahap pengirim pengguna memasukkan data digital berupa deretan bit biner 110011001 sebagai informasi yang akan dikirimkan pada sistem modulasi DPSK. Data tersebut menjadi masukan utama sebelum proses modulasi dilakukan. Setelah data dimasukkan, aplikasi GUI menampilkan sinyal digital dalam bentuk gelombang kotak yang merepresentasikan logika 1 dan 0. Melalui tampilan ini, audiens dapat melihat urutan bit yang dikirim secara jelas serta memahami bagaimana data digital direpresentasikan ke dalam bentuk sinyal. Selanjutnya, sistem menghasilkan sinyal pembawa berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 25 Hz dan amplitudo 25 V sesuai parameter yang telah diatur pengguna. Sinyal pembawa ditampilkan pada grafik terpisah agar bentuk gelombangnya mudah diamati dan dibandingkan dengan sinyal digital. Pada tahap ini, aplikasi GUI telah menyiapkan dua komponen utama, yaitu sinyal informasi dan sinyal pembawa. Kedua sinyal tersebut kemudian digunakan sebagai masukan pada proses modulasi.

2) Hasil Modulator

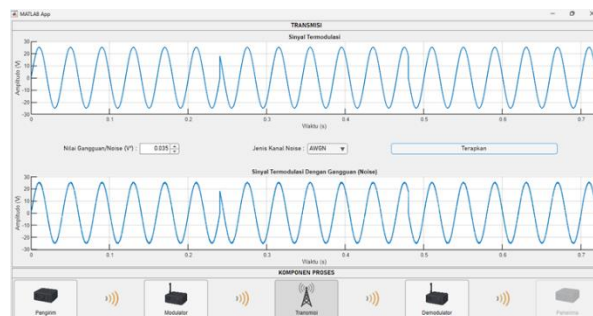


Gambar 4.16 Hasil Modulator

Gambar 4.16 menunjukkan proses modulasi pada bagian modulator ketika pengguna memilih modulasi 8-DPSK dengan orde modulasi sebesar 8. Pada tahap ini, sistem melakukan proses modulasi menggunakan teknik Differential Phase Shift Keying (DPSK), yaitu metode modulasi yang mengirimkan informasi berdasarkan perubahan fase relatif antar simbol. Berbeda dengan modulasi PSK konvensional yang memerlukan referensi fase absolut pada sisi penerima, modulasi DPSK menggunakan perubahan fase antar simbol sebagai pembawa informasi. Oleh karena itu, sistem tidak memerlukan sinkronisasi fase yang kompleks pada proses demodulasi. Pada tampilan aplikasi GUI terlihat bahwa pengguna mengaktifkan opsi Gunakan Differential Encoding (DPSK) sebelum proses modulasi dilakukan. Setelah tombol Proses Modulasi dijalankan, sistem mulai memproses data digital yang sebelumnya dimasukkan pada bagian pengirim. Data digital kemudian dibagi menjadi beberapa kelompok bit yang masing-masing terdiri dari tiga bit karena modulasi 8-DPSK memiliki delapan kemungkinan simbol. Berdasarkan proses tersebut

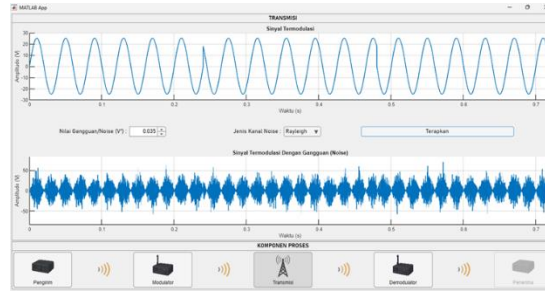
diperoleh hasil simbol sebesar 6, 3, dan 1 yang ditampilkan pada kolom Hasil Simbol. Selanjutnya, sistem melakukan proses differential encoding untuk menghasilkan simbol diferensial DPSK sehingga diperoleh nilai simbol diferensial sebesar 6, 1, dan 2 yang ditampilkan pada kolom Hasil Simbol Differential (DPSK). Proses differential encoding dilakukan dengan membandingkan simbol saat ini dengan simbol sebelumnya untuk menentukan perubahan fase yang akan digunakan pada sinyal pembawa. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjalankan simulasi modulasi DPSK, sedangkan audiens dapat mengamati proses perubahan data biner menjadi simbol diferensial sebelum ditransmisikan. Pada bagian Diagram Konstelasi Modulasi 8-DPSK terlihat delapan titik referensi konstelasi pada bidang In-Phase (I) dan Quadrature-Phase (Q). Titik berwarna merah menunjukkan simbol diferensial yang sedang aktif atau sedang dikirim oleh sistem, yaitu simbol 6, 1, dan 2. Posisi titik-titik tersebut memperlihatkan perubahan fase sinyal pada setiap simbol hasil proses diferensial. Selain itu, aplikasi GUI juga menampilkan grafik Sinyal Digital, Sinyal Pembawa (Carrier), dan Sinyal Termulasi. Grafik sinyal digital menunjukkan pola data biner dalam bentuk gelombang kotak, sedangkan grafik sinyal pembawa memperlihatkan gelombang sinusoidal dengan amplitudo dan frekuensi yang stabil. Pada grafik Sinyal Termulasi terlihat bahwa gelombang sinusoidal mengalami perubahan fase pada interval waktu tertentu sesuai hasil proses differential encoding. Perubahan fase tersebut tampak pada bagian gelombang yang mengalami perpindahan sudut fase dibandingkan sinyal sebelumnya. Dari tampilan tersebut, audiens dapat memahami bahwa informasi pada modulasi DPSK dibawa melalui perubahan fase relatif antar simbol. Hasil simulasi menunjukkan bahwa modulasi 8-DPSK mampu meningkatkan efisiensi transmisi data karena satu simbol dapat membawa tiga bit informasi. Selain itu, penggunaan metode diferensial membuat proses penerimaan menjadi lebih sederhana karena sistem tidak memerlukan referensi fase absolut pada sisi penerima. Namun, performa DPSK cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan PSK yang menggunakan sinkronisasi fase carrier karena proses deteksi pada DPSK dilakukan berdasarkan perbandingan fase antar simbol.

3) Hasil Transmisi



Gambar 4.17 Hasil Transmisi pada Kanal AWGN

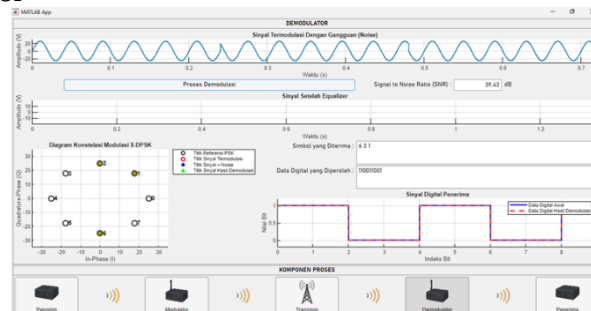
Berdasarkan Gambar 4.17, pada tahap transmisi pengguna memilih kanal AWGN dan memasukkan nilai noise sebesar $0,035 \text{ V}^2$. Setelah proses dijalankan, sistem menambahkan gangguan berupa noise acak ke dalam sinyal termulasi. Pada grafik hasil transmisi terlihat bahwa bentuk sinyal masih relatif stabil dan teratur meskipun telah mengalami penambahan noise. Gangguan yang muncul hanya menyebabkan perubahan kecil pada amplitudo sinyal, sehingga pola gelombang masih dapat dikenali dengan jelas. Melalui tampilan ini, audiens dapat memahami bahwa kanal AWGN dengan nilai noise rendah masih memberikan pengaruh gangguan yang relatif kecil terhadap sinyal yang dikirim. Selain itu, perubahan fase pada sinyal masih terlihat dengan baik setelah melewati kanal transmisi. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal masih dapat diteruskan menuju tahap demodulasi tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan.



Gambar 4.18 Hasil Transmisi pada Kanal Rayleigh

Berdasarkan Gambar 4.18, pada tahap transmisi pada kanal Rayleigh pengguna juga melakukan pengujian dengan memasukkan nilai noise sebesar $0,035 \text{ V}^2$. Setelah proses dijalankan, sistem menambahkan gangguan pada sinyal termodulasi sehingga bentuk sinyal mengalami perubahan yang lebih besar dibandingkan kanal AWGN. Pada grafik hasil transmisi terlihat bahwa sinyal mengalami perubahan amplitudo yang cukup signifikan dan tampak lebih acak. Hal ini terjadi karena kanal Rayleigh mensimulasikan kondisi propagasi multipath, yaitu sinyal dapat melewati beberapa jalur transmisi sebelum mencapai penerima. Akibatnya, sinyal yang diterima mengalami pelemahan dan fluktuasi amplitudo yang tidak beraturan. Melalui tampilan ini, audiens dapat memahami bahwa kanal Rayleigh memberikan pengaruh gangguan yang lebih besar terhadap sinyal dibandingkan kanal AWGN. Meskipun demikian, pola perubahan fase sinyal masih dapat diamati sehingga sinyal tetap dapat diteruskan menuju tahap demodulasi.

4) Hasil Demodulator



Gambar 4.19 Hasil Demodulator pada Kanal AWGN

Berdasarkan Gambar 4.19, setelah sinyal melewati kanal AWGN, pengguna melakukan proses demodulasi untuk mengembalikan sinyal menjadi data digital. Pada tahap ini terlihat bahwa sinyal yang telah terkena noise masih dapat diproses dengan baik oleh sistem. Nilai SNR yang ditampilkan sebesar 39,43 dB, menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang diterima masih cukup baik. Pada diagram konstelasi terlihat bahwa titik sinyal hasil transmisi masih berada dekat dengan titik referensi konstelasi. Hal ini menunjukkan bahwa gangguan noise pada kanal AWGN tidak menyebabkan perubahan fase yang signifikan. Simbol yang diterima sistem adalah 6, 3, dan 1, sesuai dengan simbol hasil modulasi sebelum proses transmisi dilakukan. Data digital yang diperoleh kembali adalah 110011001. Pada grafik sinyal digital penerima juga terlihat bahwa bentuk sinyal hasil demodulasi memiliki pola yang sama dengan sinyal digital awal. Melalui tampilan ini, audiens dapat memahami bahwa proses pengiriman data melalui kanal AWGN masih dapat dilakukan dengan baik meskipun sinyal telah mengalami penambahan noise selama transmisi..

Berdasarkan Gambar 4.20, setelah sinyal melewati kanal Rayleigh, pengguna melakukan proses demodulasi untuk mengembalikan sinyal menjadi data digital. Pada tahap ini terlihat bahwa sinyal yang diterima mengalami gangguan yang lebih besar dibandingkan kanal AWGN. Nilai SNR yang ditampilkan sebesar -1,77 dB, sehingga bentuk sinyal terlihat lebih tidak teratur akibat efek fading pada kanal Rayleigh. Pada diagram konstelasi terlihat

bahwa titik sinyal yang terkena gangguan mengalami pergeseran dari titik referensi konstelasi. Meskipun demikian, simbol yang diterima sistem masih dapat dikenali dengan benar yaitu 6, 3, dan 1. Nilai tersebut sama dengan simbol hasil modulasi sebelum proses transmisi dilakukan. Data digital yang diperoleh kembali adalah 110011001. Pada grafik sinyal digital penerima juga terlihat bahwa pola sinyal hasil demodulasi masih sama dengan sinyal digital awal. Melalui tampilan ini, audiens dapat memahami bahwa meskipun kanal Rayleigh memberikan gangguan yang lebih besar terhadap sinyal, sistem masih mampu melakukan proses demodulasi dan mengembalikan data digital dengan baik.

5) Hasil Penerima



Gambar 4.21 Hasil Penerima

Berdasarkan Gambar 4.21, merupakan hasil pada bagian penerima setelah proses demodulasi selesai dilakukan. Pada grafik terlihat bahwa sinyal digital yang diterima memiliki pola yang sama dengan sinyal digital yang dikirim sebelumnya. Setiap perubahan level bit dari 1 ke 0 maupun dari 0 ke 1 muncul pada posisi bit yang sesuai, sehingga urutan data masih terjaga dengan baik. Data digital penerima yang ditampilkan adalah 110011001. Nilai tersebut sama dengan data digital masukan pada sisi pengirim, sehingga menunjukkan bahwa proses transmisi dan demodulasi berjalan dengan baik. Melalui tampilan ini, audiens dapat melihat bahwa data yang dikirim berhasil diterima kembali tanpa perubahan isi informasi.

Bentuk sinyal digital pada sisi penerima juga terlihat jelas dan stabil setelah melalui tahapan modulasi, transmisi, dan demodulasi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem masih mampu mempertahankan kualitas data hingga sampai ke tujuan. Secara keseluruhan, bagian penerima berhasil menampilkan kembali data digital sesuai dengan data asal, sehingga proses komunikasi dari pengirim hingga penerima dapat berjalan dengan baik.

4. Hasil Kuesioner

Skala Pengukuran pada penelitian ini menggunakan Skala Likert. Skala Likert adalah suatu skala psikometrik yang umum digunakan dalam kuesioner untuk mengukur sikap, persepsi, atau penilaian responden terhadap suatu objek atau fenomena tertentu[20]. Dalam penelitian ini, Skala Likert digunakan untuk menilai aplikasi simulasi modulasi digital berdasarkan beberapa aspek, yaitu kemudahan penggunaan, kualitas visualisasi, efektivitas pemahaman, dan penilaian umum terhadap aplikasi. Responden diminta memberikan tanggapan terhadap setiap pertanyaan menggunakan empat kategori penilaian yaitu Sangat Tidak Baik (1), Kurang Baik (2), Baik (3), dan Sangat Baik (4). Setiap jawaban responden diberi skor sesuai kategori tersebut. Nilai rata-rata dari setiap aspek kemudian dihitung untuk mengetahui tingkat penilaian responden terhadap aplikasi. Semakin tinggi nilai rata-rata yang diperoleh, maka semakin baik tingkat penerimaan dan kualitas aplikasi berdasarkan hasil kuesioner.

Adapun penyebaran kuesioner yang mencakup beberapa aspek penilaian digunakan sebagai indikator pengujian untuk mengukur tingkat keberhasilan simulasi. Kuesioner ini disusun menggunakan Skala Likert yang dibagi ke dalam empat aspek pertanyaan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Kuesioner Berdasarkan Empat Aspek

Aspek Kemudahan Penggunaan				
Pertanyaan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Seberapa mudah Anda memahami alur kerja aplikasi pada bagian pengirim, khususnya saat memasukkan bit data digital dan melihat sinyal digital serta sinyal pembawa sebelum proses modulasi?	34	9	1	1
Aspek Kualitas Visualisasi				
Pertanyaan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Seberapa jelas tampilan sinyal pembawa dan sinyal termulasi yang dihasilkan setelah proses modulasi pada bagian Modulator?	33	10	1	1
Seberapa jelas diagram konstelasi modulasi yang ditampilkan dalam menggambarkan posisi simbol pada sinyal termulasi?	28	14	2	1
Seberapa jelas perbedaan tampilan antara sinyal sebelum dan sesudah diberi noise pada bagian Transmisi?	33	10	1	1
Aspek Efektivitas Pemahaman				
Pertanyaan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Seberapa mudah Anda memahami proses demodulasi serta hasil data digital penerimaan pada bagian demodulator?	29	12	3	1
Aspek Penilaian Umum				
Pertanyaan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Bagaimana penilaian Anda secara keseluruhan terhadap aplikasi simulasi modulasi digital ini?	35	8	1	1
Apakah Anda akan merekomendasikan aplikasi simulasi modulasi digital ini sebagai media pembelajaran di masa mendatang?	35	6	3	1

Berdasarkan hasil penyebaran kuesioner yang telah di isi oleh 45 responden, dilakukan perhitungan untuk memperoleh gambaran tingkat kepuasan rata-rata secara keseluruhan. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$AS = \frac{TNS}{TN} \quad (4.3)$$

Dalam persamaan ini AS (Rata-Rata Kepuasan Responden) dihitung dengan membagi

TNS (Total Skor Kuesioner) dengan TN (Total Kuesioner). Pada simulasi ini dikategorikan tingkat kepuasan menjadi beberapa tahap, yaitu:

1 – 1,75 = Sangat Tidak Baik

1,75 – 2,50 = Kurang Baik

2,50 – 3,25 = Baik

3,25 – 4,00 = Sangat Baik

Hasil pengujian ini akan memberikan nilai rata-rata kepuasan responden terhadap simulasi yang dilakukan. Nilai tersebut kemudian dihitung berdasarkan empat aspek penilaian yang disajikan pada Tabel 4.5 dan tabel-tabel berikutnya.

Tabel 4.2 Rata-rata Aspek Kemudahan Penggunaan

Aspek Kemudahan Penggunaan				
Tanggapan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Skor	4	3	2	1
P1	34	9	1	1
Jumlah Skor P1	136	27	2	1
Total Skor P1				166
Rata-rata Skor P1				3,68

Berdasarkan Tabel 4.5, Pada Aspek Kemudahan Penggunaan pertanyaan pertama (P1) didapat 34 responden memberikan tanggapan sangat baik, 9 responden memberikan tanggapan baik, 1 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Setelah didapatkan keseluruhan jawaban dari responden kemudian dikalikan dengan skala alternatif jawaban responden yang skor tertinggi dimulai dari 4 sampai 1 yang merupakan skor terendah dalam hasil kuesioner simulasi ini. Kemudian pada P1 didapatkan total skor responden sebesar 166 yang kemudian dibagi dengan total responden sebanyak 45 dan mendapatkan rata-rata skor P1 hasil dari Aspek kemudahan penggunaan sebesar 3,68. Tabel 4.3 Rata-rata Aspek Kualitas Visualisasi

Tabel 4.1 Rata-rata Aspek Kualitas Visualisasi

Aspek Kualitas Visualisasi				
Tanggapan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Skor	4	3	2	1
P2	33	10	1	1
P3	28	14	2	1
P4	33	10	1	1
Jumlah P2	132	30	2	1
Jumlah P3	112	42	4	1
Jumlah P4	132	30	2	1
Jumlah Skor Total	165	159	165	489
Rata-rata	3,66	3,53	3,66	
Total Skor P2, P3, & P4				
Rata-rata Skor P2, P3, & P4				3,62

Berdasarkan Aspek Kualitas Visualisasi pada pertanyaan kedua (P2) didapat 33 responden memberikan tanggapan sangat baik, 10 responden memberikan tanggapan baik, 1 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Pada pertanyaan ketiga (P3) didapat 28 responden memberikan tanggapan sangat baik, 14 responden memberikan tanggapan baik, 2 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Pada pertanyaan keempat (P4) didapat 33 responden memberikan tanggapan sangat baik, 10 responden memberikan tanggapan baik, 1 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Setelah didapatkan keseluruhan

jawaban dari responden kemudian dikalikan dengan skala alternatif jawaban responden yang skor tertinggi dimulai dari 4 sampai 1 yang merupakan skor terendah dalam hasil kuesioner simulasi ini. Kemudian pada pertanyaan kedua, ketiga dan keempat didapatkan total skor responden sebesar 489 yang kemudian dibagi dengan total responden sebanyak 45 dan mendapatkan rata-rata skor P2, P3, dan P4 hasil dari Aspek Kualitas Visualisasi sebesar 3,62.

Tabel 4.4 Rata-rata Aspek Efektivitas Pemahaman

Aspek Efektivitas Pemahaman				
Tanggapan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Skore	4	3	2	1
P5	29	12	3	1
Jumlah Skor P5	116	36	6	1
Total Skor P5				159
Rata-rata Skor P5				3,53

Berdasarkan Aspek Efektivitas Pemahaman pada pertanyaan kelima (P5) didapat 29 responden memberikan tanggapan sangat baik, 12 responden memberikan tanggapan baik, 3 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Setelah didapatkan keseluruhan jawaban dari responden kemudian dikalikan dengan skala alternatif jawaban responden yang skor tertinggi dimulai dari 4 sampai 1 yang merupakan skor terendah dalam hasil kuesioner simulasi ini. Kemudian pada P5 didapatkan total skor responden sebesar 159 yang kemudian dibagi dengan total responden sebanyak 45 dan mendapatkan rata-rata skor P5 hasil dari Aspek Efektivitas Pemahaman sebesar 3,53.

Tabel 4.5 Rata-rata Aspek Penilaian Umum

Aspek Efektivitas Pemahaman				
Tanggapan	Sangat Baik	Baik	Kurang Baik	Sangat Tidak Baik
Skore	4	3	2	1
P5	29	12	3	1
Jumlah Skor P5	116	36	6	1
Total Skor P5				159
Rata-rata Skor P5				3,53

Berdasarkan Aspek Penilaian Umum pada pertanyaan keenam (P6) didapat 35 responden memberikan tanggapan sangat baik, 8 responden memberikan tanggapan baik, 1 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Pada pertanyaan ketujuh (P7) didapat 35 responden memberikan tanggapan sangat baik, 6 responden memberikan tanggapan baik, 3 responden memberikan tanggapan kurang baik dan 1 responden memberikan tanggapan sangat tidak baik. Setelah didapatkan keseluruhan jawaban dari responden kemudian dikalikan dengan skala alternatif jawaban responden yang skor tertinggi dimulai dari 4 sampai 1 yang merupakan skor terendah dalam hasil kuesioner simulasi ini. Kemudian pada pertanyaan P6, dan pertanyaan P7 didapatkan total skor responden sebesar 332 yang kemudian dibagi dengan total responden sebanyak 45 dan mendapatkan rata-rata skor P6, dan P7 hasil dari Aspek Penilaian Umum sebesar 3,68.

Dari keempat aspek penilaian yang telah diuji, diperoleh hasil bahwa Aspek Kemudahan Penggunaan memiliki nilai rata-rata 3,68, Aspek Kualitas Visualisasi sebesar 3,62, Aspek Efektivitas Pemahaman sebesar 3,53, dan Aspek Penilaian Umum sebesar 3,68. Perhitungan keseluruhan rata-rata dari keempat aspek tersebut adalah:

$$(3,68+3,62+3,53+3,68)/4=3,62 \quad (4.4)$$

Berdasarkan hasil keseluruhan tersebut, diperoleh nilai rata-rata total sebesar 3,62, yang menunjukkan bahwa aplikasi simulasi modulasi digital telah dinilai sangat memuaskan oleh audiens, meskipun masih terdapat ruang untuk perbaikan pada aspek efektivitas pemahaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian aplikasi simulasi modulasi digital berbasis MATLAB GUI yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang aplikasi simulasi modulasi digital berbasis MATLAB GUI yang mampu mensimulasikan teknik modulasi digital PSK, QPSK, dan DPSK. Aplikasi dapat menampilkan seluruh tahapan sistem komunikasi digital, mulai dari proses pengiriman data, modulasi, transmisi melalui kanal komunikasi, demodulasi, hingga penerimaan data, sehingga pengguna dapat memahami alur komunikasi digital secara lebih jelas.
2. Aplikasi mampu memvisualisasikan karakteristik masing-masing teknik modulasi melalui tampilan sinyal digital, sinyal pembawa, sinyal termodulasi, diagram konstelasi, serta sinyal hasil demodulasi. Visualisasi tersebut membantu pengguna memahami hubungan antara data biner, simbol modulasi, dan perubahan fase sinyal yang terjadi pada proses transmisi informasi digital.
3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setiap teknik modulasi memiliki cara yang berbeda dalam merepresentasikan informasi digital. Pada PSK dan QPSK, data dikirim melalui perubahan fase sinyal pembawa pada posisi fase tertentu, sedangkan pada DPSK data dikirim berdasarkan perubahan fase terhadap simbol sebelumnya. Perbedaan tersebut dapat diamati melalui grafik sinyal dan diagram konstelasi yang ditampilkan oleh aplikasi, sehingga membantu pengguna memahami karakteristik dan prinsip kerja masing-masing teknik modulasi.
5. Pengujian pada kanal AWGN dan Rayleigh menunjukkan bahwa kondisi kanal komunikasi berpengaruh terhadap kualitas sinyal yang diterima. Kanal AWGN menghasilkan gangguan yang relatif kecil sehingga kualitas sinyal tetap baik dan proses demodulasi dapat menghasilkan data yang sesuai dengan data yang dikirim. Sebaliknya, kanal Rayleigh memberikan pengaruh yang lebih besar akibat efek multipath fading yang menyebabkan fluktuasi amplitudo dan fase sinyal selama transmisi. Meskipun kualitas sinyal mengalami penurunan, proses equalizer dan demodulasi pada aplikasi masih mampu memulihkan sinyal sehingga data dapat diterima dengan baik. Hasil ini menunjukkan perbedaan karakteristik antara kanal AWGN dan Rayleigh serta pengaruhnya terhadap proses komunikasi digital.
4. Berdasarkan hasil pengujian aplikasi dan evaluasi pengguna melalui kuesioner, aplikasi GUI yang dirancang dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang membantu pengguna memahami konsep dasar modulasi digital, visualisasi sinyal, serta pengaruh kanal komunikasi terhadap proses transmisi data.

Saran

Beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian lanjutan yang berhubungan dengan penelitian ini yaitu:

1. Aplikasi dapat dikembangkan menjadi aplikasi standalone yang dapat dijalankan tanpa memerlukan perangkat lunak MATLAB sehingga lebih mudah digunakan sebagai media pembelajaran.
2. Pengembangan berikutnya dapat menambahkan parameter performansi komunikasi

- digital seperti BER, Symbol Error Rate (SER), dan analisis SNR secara otomatis sehingga pengguna dapat melakukan evaluasi sistem secara lebih komprehensif.
3. Simulasi kanal komunikasi dapat diperluas dengan menambahkan model kanal lain, seperti Rician Fading, Nakagami Fading, maupun kanal multipath yang lebih kompleks agar lebih mendekati kondisi sistem komunikasi nyata.
 4. Aplikasi dapat dilengkapi dengan dokumentasi atau panduan penggunaan yang ringkas dan mudah dipahami untuk membantu pengguna dalam menjalankan simulasi serta memahami fungsi setiap fitur yang tersedia pada aplikasi.
 5. Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan fitur zoom in/out atau segmentasi tampilan grafik sehingga visualisasi sinyal dengan jumlah data yang besar dapat diamati dengan lebih jelas dan mudah dianalisis oleh pengguna..

DAFTAR PUSTAKA

- A. Alfariis and M. Yuhendri, "Sistem Kendali dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (Graphical User Interface) MATLAB Menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 266–272, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.83.
- A. I. Mario Ginola, M. Andra Adityawarman, "Peningkatan Media Pembelajaran Modulasi AM Berbasis Hardware SDR Dan Software Gnu Radio Guna Mendukung Mata Kuliah Transceiver Di Politeknik Penerbangan Surabaya," *Pros. SNITP (Seminar Nas. Inov. Teknol. Penerbangan)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- A. T. Budi Herdiana, "Perancangan Model Simulator dan Performansi Kesalahan Bit untuk Variasi Tipe Modulasi Digital dalam Lingkungan Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 60–70, 2021, doi: 10.34010/telekontran.v9i1.5610.
- Adhi Kusmantoro, "Transformasi Sinyal Pada Sistem Kendali Menggunakan GUI dan Simulink MATLAB," *Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. PGRI Semarang*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2015, [Online]. Available: <https://journal.upgris.ac.id/index.php/JIU/article/view/868>
- D. D. dan F. E. A. Deby Krisla Mayzar, "Rancang Bangun Simulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Berbasis Graphical User Interface (GUI)," *Spektral*, vol. 1, no. 1, pp. 24–29, 2020, doi: 10.32722/spektral.v1i1.3433.
- E. Boser and A. Wooley, "The Design of Sigma Delta Modulation Analog to Digital Converters," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 23, no. 6, pp. 1298–1308, 1988.
- H. S. Muhammad Nasir, Prio Sigit Nugroho, S. Ratih Uswatun Khasanah, "Graphic User Interface (GUI) MATLAB for Making Media Teaching Media Straight Motion Physics," *J. Paedagogy J. Penelit. dan Pengemb. Pendidik.*, vol. 9, no. 3, pp. 393–399, 2022, doi: 10.33394/jp.v9i3.5357.
- Hafsah N, Fajri R, and Rusdi W, "Desain Modul Pembelajaran Modulasi Digital," *Tek. Komput. Jar.*, vol. 9, no. 4, pp. 174–178, 2020.
- I. Cindy, Nakhwah Najah Ulfah, Elnita Saragih, Roy Samuel Fransisco Sinaga, "Pengolahan dan Pemrosesan Sinyal Digital," *J. Media Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 1339–1344, 2025.
- Iftitah Febriana, "Simulasi Akuisisi Sinyal Suara Dengan Menggunakan MATLAB," *Semin. Nas. Fortei Reg.* 7, pp. 209–213, 2024.
- Irfan Mujahidin, "Mengungkap Tren dan Kemajuan Terbaru dalam Modulasi Digital dan Transmisi pada Sistem Telekomunikasi melalui Tinjauan Komprehensif dan Agenda Penelitian," *Orbith Maj. Ilm. Pengemb. Rekayasa dan Sos.*, vol. 20, no. 1, pp. 77–88, 2024.
- M. I. M. Annisa Inayah Salsabila, Kris Sujatmoko, "Analisis Performansi Modulasi 16-PSK Pada Kanal Kim dan Kruse Di Free Space Optic Communication," *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 3367–3373, 2020.
- R. R. Y. Joy Rae. S, Eka Kusumawardhani, "Simulasi Interaktif Modulasi ASK, FSK, dan QAM Menggunakan MATLAB GUI," vol. 9, no. 9, pp. 39–51, 2025.
- S. Bharati, M. A. Rahman, and P. Podder, "Implementation of ASK, FSK and PSK with BER vs. SNR Comparison Over AWGN Channel," *arXiv*, vol. 3, pp. 2–6, 2020.

- S. S. S. and N. Y. N. F. Naim , H. I. M. Zaini, “Interactive Learning Software For Electrical Engineering Subjects Using MATLAB and Its GUI,” *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 9–10, 2018.
- Salwa Hidayatullaily et al., “Pengembangan Media Simulasi dan Solusi Persoalan Aljabar Menggunakan GUI MATLAB,” *Pros. Mahasaraswati Semin. Nas. Pendidik. Mat.*, vol. 2, no. 1, pp. 158–166, 2022, [Online]. Available:<https://ejournal.unmas.ac.id/index.php/Proseminaspmatematika/article/view/4139>
- W. F. A. Ryan Ari Setyawan, “Pengukuran Usability Website E-Commerce Sambal Nyoss Menggunakan Metode Skala Likert,” *Compiler*, vol. 7, no. 1, pp. 54–61, 2018, doi: 10.28989/compiler.v7i1.254.
- W. P. Yohanes Pracoyo, “Melalui Kanal Fading yang Terdistribusi Rayleigh dan AWGN,” *Rangteknik J.*, vol. 7, no. 1, pp. 44–51, 2024.
- X. Tang et al., “Underwater Wireless Optical Communication Based On DPSK Modulation and Silicon Photomultiplier,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 204676–204683, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037174.
- Zainudin Bonok, Rahmat Deddy Rianto Dako, “Perancangan Praktikum Teknik Telekomunikasi Dasar melalui Laboratorium Virtual yang Memanfaatkan TIK,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 38–41, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.10612.