



**ANALISIS PERFORMA MODULASI 16QAM, 64QAM, DAN
256QAM PADA KANAL *ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE*,
RAYLEIGH FADING, DAN *RICIAN FADING***

SKRIPSI

DAMAR ARYA PUTRA

2110314053

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

2026



**ANALISIS PERFORMA MODULASI 16QAM, 64QAM, DAN
256QAM PADA KANAL *ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE*,
RAYLEIGH FADING, DAN *RICIAN FADING***

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

DAMAR ARYA PUTRA

2110314053

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

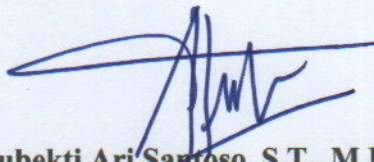
2026

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi yang diajukan oleh:

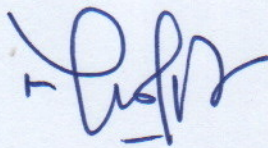
Nama : Damar Arya Putra
NIM : 2110314053
Program Studi : S1 – Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Performa Modulasi 16QAM, 64QAM, dan 256QAM pada Kanal *Additive White Gaussian Noise*, *Rayleigh Fading*, dan *Rician Fading*

telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Subekti Ari Santoso, S.T., M.Eng.

Penguji Utama



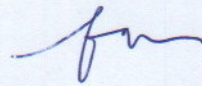
Dr. Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Penguji Lembaga



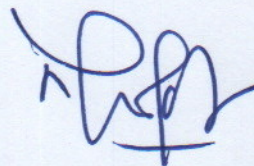
Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah,
S.T., M.T., IPM

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Fajar Rahayu I. M., S.T., M.T.

Penguji I (Pembimbing)



Dr. Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Koordinator Program Studi
Teknik Elektro

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 27 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI

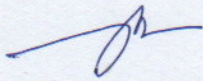
**ANALISIS PERFORMA MODULASI 16QAM, 64QAM, DAN 256QAM
PADA KANAL *ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE*, *RAYLEIGH*
FADING, DAN *RICIAN FADING***

DAMAR ARYA PUTRA

2110314053

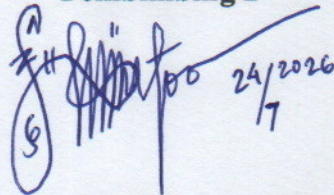
Disetujui Oleh

Pembimbing 1



Ir. Fajar Rahayu I. M., S.T., M.T.

Pembimbing 2



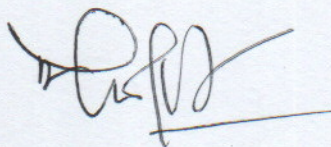
Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip ataupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Damar Arya Putra
NIM : 2110314053
Program Studi : S1 – Teknik Elektro

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 27 Juli 2026

Yang menyatakan,



Damar Arya Putra

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai *civitas academica* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Damar Arya Putra

NIM : 2110314053

Program Studi : S1 – Teknik Elektro

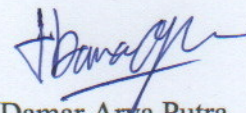
menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Performa Modulasi 16QAM, 64QAM, dan 256QAM pada Kanal
Additive White Gaussian Noise, Rayleigh Fading, dan Rician Fading**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola (dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 27 Juli 2026

Yang menyatakan,



Damar Arya Putra

ANALISIS PERFORMA MODULASI 16QAM, 64QAM, DAN 256QAM PADA KANAL *ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE*, *RAYLEIGH FADING*, DAN *RICIAN FADING*

Damar Arya Putra

ABSTRAK

Perkembangan sistem komunikasi digital menuntut penggunaan teknik modulasi yang mampu mempertahankan kualitas transmisi sekaligus memberikan efisiensi spektrum pada berbagai kondisi kanal. *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) merupakan teknik modulasi yang direkomendasikan guna meningkatkan laju transmisi data. Sehingga penelitian ini bertujuan menganalisis performa modulasi 16QAM, 64QAM, dan 256QAM pada kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), *Rayleigh Fading*, dan *Rician Fading* serta menentukan modulasi yang direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian. Penelitian berbasis simulasi dilakukan menggunakan parameter *Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* (E_b/N_0) dan *Bit Error Rate* (BER) dengan *software* MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan modulasi 16QAM, 64QAM, dan 256QAM secara berturut – turut mencapai target $BER \leq 10^{-5}$ saat nilai E_b/N_0 14 dB, 18 dB, dan 23 dB pada kanal AWGN. Ketiga modulasi tersebut belum mencapai target $BER \leq 10^{-5}$ setelah diberikan nilai E_b/N_0 maksimum = 40 dB pada kanal *Rayleigh*. Modulasi tersebut secara berturut – turut mencapai target $BER \leq 10^{-5}$ saat nilai E_b/N_0 32 dB, 37 dB, dan 37 dB pada kanal *Rician*. Hal ini dikarenakan kanal AWGN hanya dipengaruhi oleh *noise* tanpa efek *multipath fading*. Sementara itu, kanal *Rician Fading* menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan *Rayleigh Fading* karena adanya komponen *Line of Sight* (LOS) yang mampu meningkatkan kualitas sinyal. Berdasarkan hasil simulasi, performa modulasi 16QAM merupakan yang terbaik pada seluruh kanal karena mampu mencapai nilai BER paling rendah dengan kebutuhan E_b/N_0 yang lebih kecil dibandingkan 64QAM dan 256QAM. Dengan demikian, modulasi 16QAM merupakan modulasi yang direkomendasikan karena secara konsisten menghasilkan nilai BER paling rendah pada semua kanal yang digunakan.

Kata kunci: *Quadrature Amplitude Modulation*, AWGN, *Rayleigh Fading*, *Rician Fading*, *Bit Error Rate*

**PERFORMANCE ANALYSIS OF 16QAM, 64QAM, AND 256QAM
MODULATION OVER ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE,
RAYLEIGH FADING, AND RICIEN FADING CHANNELS**

Damar Arya Putra

ABSTRACT

The development of digital communication systems requires modulation techniques that maintain transmission quality while providing high spectral efficiency under various channel conditions. Quadrature Amplitude Modulation (QAM) is widely used to achieve higher data rates. This study analyzes the performance of 16QAM, 64QAM, and 256QAM over Additive White Gaussian Noise (AWGN), Rayleigh Fading, and Rician Fading channels and determines the recommended modulation scheme based on simulation results. Simulations were conducted in MATLAB using Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (E_b/N_0) and Bit Error Rate (BER) as performance parameters. The results show that 16QAM, 64QAM, and 256QAM achieved the target BER of $\leq 10^{-5}$ at E_b/N_0 values of 14 dB, 18 dB, and 23 dB over the AWGN channel. None of the three modulation schemes reached the target BER of $\leq 10^{-5}$ over the Rayleigh Fading channel, even at the maximum E_b/N_0 value of 40 dB. Over the Rician Fading channel, the target BER was achieved at E_b/N_0 values of 32 dB, 37 dB, and 37 dB for 16QAM, 64QAM, and 256QAM. The AWGN channel provided the best performance because it is affected only by additive noise, while the Rician Fading channel outperformed the Rayleigh Fading channel due to the presence of a Line of Sight (LOS) component, which improves signal quality. Based on the simulation results, 16QAM achieved the best performance across all channel models by providing the lowest BER with lower E_b/N_0 requirements than 64QAM and 256QAM. Therefore, 16QAM is recommended as the most suitable modulation scheme.

Keywords: *Quadrature Amplitude Modulation, AWGN, Rayleigh Fading, Rician Fading, Bit Error Rate*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta kelancaran kepada penulis untuk menyelesaikan pengerjaan skripsi ini. Selawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan penduduk alam semesta, Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini tidak akan bisa terealisasi tanpa adanya kerja sama, bimbingan, dan dukungan dari semua pihak yang terlibat. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kesempatan dan kesehatan kepada penulis selama masa perkuliahan dari awal hingga akhir serta khususnya pada proses pengerjaan skripsi ini yang penuh dengan cerita.
2. Keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama mengerjakan skripsi dari awal hingga akhir dengan berbagai macam cerita dan drama yang dapat dilalui bersama.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
4. Ibu Dr. Luh Krisnawati, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat mengikuti sidang skripsi saat sudah *injury time* dan membantu dalam menyelesaikan segala keperluan berkas setelah sidang akhir.
5. Ibu Ir. Fajar Rahayu Ikhwanul Mariati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1.
6. Bapak Ir. Ferdianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing selama proses pengerjaan skripsi mulai dari semester 6 – 10 dan memberikan kesempatan dan semangat kepada penulis untuk dapat mengikuti sidang skripsi saat sudah *injury time*.
7. Fidel Muhammad Purwadi, S. Ak. dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama mengerjakan skripsi dari awal hingga akhir.

Penulis mengetahui masih ada kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna dalam pengerjaan skripsi ini. Penulis berharap mendapatkan kritik dan saran yang positif dari semua pihak agar segala ruang evaluasi dalam skripsi ini bisa terisi dengan baik di waktu yang akan datang. Sehingga skripsi ini dapat memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan baru serta bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Penulis berdoa untuk semua pihak yang sedang mengalami kesulitan agar selalu semangat dan pantang menyerah karena setiap kesulitan pasti akan ada kemudahan setelahnya. Semoga Allah SWT senantiasa membimbing dan menemani disetiap kegiatan yang kita lalui di dunia ini. Aamiin.

Jakarta, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Modulasi Digital	7
2.2.1 <i>Amplitude Shift Keying</i>	8
2.2.2 <i>Frequency Shift Keying</i>	9
2.2.3 <i>Phase Shift Keying</i>	9
2.3 <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	10
2.3.1 <i>16-Quadrature Amplitude Modulation</i>	11
2.3.2 <i>64-Quadrature Amplitude Modulation</i>	12
2.3.3 <i>256-Quadrature Amplitude Modulation</i>	13
2.4 Model Kanal Performa Modulasi Digital.....	13
2.4.1 Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i>	13
2.4.2 Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	14
2.4.3 Kanal <i>Rician Fading</i>	16
2.5 Parameter Performa Modulasi Digital	16
2.5.1 <i>Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio</i>	17

2.5.2	<i>Bit Error Rate</i>	17
2.6	<i>Matrix Laboratory</i>	18
BAB 3 METODE PENELITIAN		20
3.1	Tahapan Penelitian	20
3.2	Persiapan Perangkat Penelitian	21
3.3	Proses Simulasi dengan MATLAB	22
3.4	Pengumpulan Data	22
3.4.1	Pengumpulan Data untuk Kanal AWGN.....	23
3.4.2	Pengumpulan Data untuk Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	23
3.4.3	Pengumpulan Data untuk Kanal <i>Rician Fading</i>	23
3.5	Pengolahan dan Analisis Data.....	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Penyajian Data Hasil Simulasi	25
4.1.1	Penyajian Data Hasil Simulasi pada Kanal AWGN.....	31
4.1.2	Penyajian Data Hasil Simulasi pada Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	33
4.1.3	Penyajian Data Hasil Simulasi pada Kanal <i>Rician Fading</i>	35
4.2	Analisis Data Hasil Simulasi.....	37
4.2.1	Analisis Data Hasil Simulasi pada Kanal AWGN.....	37
4.2.2	Analisis Data Hasil Simulasi pada Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	40
4.2.3	Analisis Data Hasil Simulasi pada Kanal <i>Rician Fading</i>	42
4.3	Analisis Performa Modulasi.....	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Modulasi M-ary QAM	11
Gambar 2. 2 Proses Demodulasi M-ary QAM	11
Gambar 2. 3 Diagram Konstelasi Modulasi 16QAM	12
Gambar 2. 4 Diagram Konstelasi Modulasi 64QAM	12
Gambar 2. 5 Diagram Konstelasi Modulasi 256QAM	13
Gambar 2. 6 MATLAB	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4. 1 Diagram Konstelasi 16QAM dengan AWGN	26
Gambar 4. 2 Diagram Konstelasi 64QAM dengan AWGN	26
Gambar 4. 3 Diagram Konstelasi 256QAM dengan AWGN	27
Gambar 4. 4 Diagram Konstelasi 16QAM dengan Rayleigh Fading	28
Gambar 4. 5 Diagram Konstelasi 64QAM dengan Rayleigh Fading	28
Gambar 4. 6 Diagram Konstelasi 256QAM dengan Rayleigh Fading	29
Gambar 4. 7 Diagram Konstelasi 16QAM dengan Rician Fading	29
Gambar 4. 8 Diagram Konstelasi 64QAM dengan Rician Fading	30
Gambar 4. 9 Diagram Konstelasi 256QAM dengan Rician Fading	31
Gambar 4. 10 Grafik Data Hasil Simulasi pada Kanal AWGN	33
Gambar 4. 11 Grafik Data Hasil Simulasi pada Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	35
Gambar 4. 12 Grafik Data Hasil Simulasi pada Kanal Rician Fading	37
Gambar 4. 13 Grafik Bit Error Rate pada Kanal AWGN	38
Gambar 4. 14 Grafik Bit Error Rate pada Kanal Rayleigh Fading	40
Gambar 4. 15 Grafik Bit Error Rate pada Kanal Rician Fading	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	4
Tabel 3. 1 Jenis Perangkat Penelitian dan Nilainya.....	21
Tabel 3. 2 Jenis Data yang Dikumpulkan pada Tahap Simulasi.....	23
Tabel 4. 1 Data Hasil Simulasi pada Kanal AWGN	31
Tabel 4. 2 Data Hasil Simulasi pada Kanal Rayleigh Fading.....	33
Tabel 4. 3 Data Hasil Simulasi pada Kanal Rician Fading.....	35
Tabel 4. 4 Performa Modulasi berdasarkan Eb/No terhadap BER	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Script Matrix Laboratory*

Lampiran 2 Penyajian Data

Lampiran 3 Hasil Simulasi