

SIMULASI SISTEM MENGGUNAKAN MODULASI DIGITAL 4-QAM,8-QAM MELALUI KANAL *FADING* YANG TERDISTRIBUSI *RAYLEIGH* DAN AWGN

YOHANES PRACOYO WIDI PRASETYO

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

e-mail : widiprasetyo@untag-banyuwangi.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v7i1.4304>

Abstract— Proses transmisi data dari transmitter ke receiver pasti akan melalui sebuah kanal transmisi, baik berupa media kabel (wire), maupun udara (Wireless). Dalam sistem komunikasi wireless, sinyal yang diterima dari kanal komunikasi dengan modulasi M -ary QAM dapat berubah karena munculnya sejumlah bit yang salah (error). Penyebab terjadinya bit error dapat berupa interferensi, seperti Rayleigh Fading serta noise, seperti Additive White Gaussian Noise (AWGN). Untuk mengetahui kualitas modulasi dari sebuah sistem dilakukan analisis mengenai kualitas kanal fading baik itu melalui kanal fading terdistribusi Rayleigh dan kanal fading AWGN. Dengan melakukan perbandingan antara SNR dengan BER maka didapat hasil bahwa semakin besar M -ary QAM maka menghasilkan BER yang tinggi dengan kondisi kanal fading yang sama. Jika dibandingkan kanal fading terdistribusi Rayleigh dengan kanal fading AWGN, didapat kanal fading yang terdistribusi rayleigh memiliki BER yang lebih tinggi dibandingkan kanal AWGN. Kemudian proses transmisi melalui kanal fading terdistribusi rayleigh menghasilkan perubahan sinyal yang signifikan diakibatkan karena proses pemantulan yang terjadi selama transmisi.

Keywords: M -QAM, Rayleigh Fading, AWGN;

Abstract: The process of data transmission from the transmitter to receiver will go through a transmission channel, either in the form of cable media (wire), or air (Wireless). In wireless communication systems, the signal received from the communication channel with M -ary QAM modulation can change due to the appearance of several wrong bits (errors). The cause of bit errors can be interference, such as Rayleigh Fading and noise, such as Additive White Gaussian Noise (AWGN). To determine the modulation quality of a system, the quality of the fading channel is analyzed through Rayleigh distributed fading channel and AWGN fading channel. By comparing SNR with BER, it is found that the greater the M -ary QAM, the higher the BER with the same fading channel conditions. When comparing Rayleigh distributed fading channel with AWGN fading channel, it is found that Rayleigh distributed fading channel has higher BER than the AWGN channel. Then the transmission process through the rayleigh distributed fading channel produces significant signal changes due to the reflection process that occurs during transmission.

Keywords: M -QAM, Rayleigh Fading, AWGN;

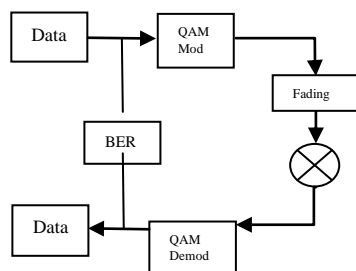
A. Pendahuluan

Modulasi digital telah dikembangkan penggunaannya secara luas dalam berbagai layanan komunikasi. Dengan modulasi digital, sinyal informasi dalam bentuk binary digit (bit-bit) dimodulasi dan dikirimkan melalui kanal komunikasi (saluran transmisi) untuk dapat disampaikan ke penerima. Idealnya, sesampainya ke penerima, semua urutan bit-bit diterima dengan benar dan tidak terjadi kesalahan kirim. Namun dalam prakteknya, tidak semua bit-bit dapat diterima dengan benar. Dalam hal ini, tidak dapat dihindari terjadinya kesalahan bit (*bit error*) saat bit-bit informasi dikirimkan melalui kanal komunikasi (Ananta, 2009). Penyebab terjadinya *bit error* dapat berasal dari kondisi kanal komunikasi yang dipengaruhi oleh berbagai macam gangguan, baik dari dalam sistem itu sendiri, yang disebut dengan bising (*noise*) dan gangguan dari luar sistem, yang dinamakan dengan interferensi (*interference*). *Noise* yang umum terjadi pada sistem komunikasi adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), yaitu *noise* dengan rapat daya konstan dan terdistribusi secara gaussian (Efendi, 2008). Sedangkan interferensi, dapat disebabkan oleh adanya

fading. *Fading* terjadi karena perubahan sudut (*phase*), polarisasi dan perubahan level sinyal terhadap waktu, sehingga sinyal yang diterima berubah dengan cepat. Perubahan periodik dari selubung satu komponen multipath atau selubung sinyal *fading* datar (*flat fading*) pada transmisi *No Line Of Sight* (NLOS) yang terdistribusi secara *Rayleigh* disebut dengan *Rayleigh Fading* (Fadhila, 2009). *M-ary Quadrature Amplitudo Modulation* (M-QAM) merupakan suatu jenis modulasi digital yang kemungkinan terjadinya bit error lebih kecil dibandingkan modulasi digital lainnya. (Hantoro, 2009). Namun demikian, untuk lebih meningkatkan unjuk kerja modulasi M-QAM dalam kanal komunikasi yang dipengaruhi oleh *noise* dan interferensi, perlu adanya penerapan metode yang dapat mengurangi bit error yang terjadi pada modulasi M-QAM semaksimal mungkin (Ni'amah, Marimbun, & Praja, 2022). Dalam penelitian ini akan dianalisis mengenai perbandingan BER berdasarkan pengaruh SNR proses modulasi digital 4QAM dan 8QAM dengan karakteristik kanal *fading* yang terdistribusi secara *Rayleigh* dan AWGN menggunakan simulasi MATLAB (Jafar, Rohmah, & Aulia, 2015).

B. Metode Penelitian

Penelitian ini akan mensimulasikan sistem modulasi 4QAM dan 8QAM dengan karakteristik kanal *fading* yang terdistribusi secara *Rayleigh* dan AWGN menggunakan simulasi MATLAB.



Gambar 1. Model Sistem Transmisi

Berdasarkan gambar 1 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Data
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang dibangkitkan secara acak/random dengan menggunakan *algoritma monte carlo*.
2. QAM Mod dan Demod
Proses modulasi pada sistem transmisi menggunakan M-ary QAM dengan tingkatan 4-QAM dan 8-QAM
3. Kanal *Fading*
Kanal *Fading* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kanal *fading* yang terdistribusi *Rayleigh* dengan kanal *fading* yang terdistribusi AWGN.
4. Pehitungan Bit Error Rate (BER)
Membandingkan kesalahan bit yang diterima dengan bit yang dikirim.

B.1 Karakteristik Komunikasi Digital

Komunikasi digital adalah komunikasi berbasis sinyal digital yang bentuk sinyalnya terputus-putus (diskrit) dan menggunakan sistem bilangan biner. Bilangan biner tersebut akan membentuk kode-kode yang merepresentasikan suatu informasi tertentu. Komunikasi digital memiliki kelebihan dibandingkan dengan komunikasi analog, antara lain dalam meminimalisasi noise dan atau interferensi. *Noise* merupakan sinyal yang tidak diharapkan dalam sistem telekomunikasi dan bersifat mengganggu serta kehadirannya tidak bisa ditentukan. *Noise* selalu ada dalam setiap sistem telekomunikasi, khususnya pada sistem transmisi (Wibisono, Usman, &

Hantoro, 2008). Selama proses transmisi, sinyal informasi yang ditransmisikan akan dipengaruhi oleh noise yang bisa mengakibatkan terjadinya error atau kesalahan pada penerima (*receiver*).

B.2 Data Rate Dan Bandwidth

Sangatlah penting untuk mengidentifikasi perbedaan antara *data rate* (d) dan *bandwidth* (B) sinyal dalam sistem transmisi. Perbedaan definisi dari kedua parameter tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Data rate* adalah jumlah bit yang ditransmisikan tiap detik. Sebagai contohnya, data rate 1 Mbps berarti sistem mampu mentransmisikan 1 Mega bit tiap detik.
2. *Bandwidth* sinyal didefinisikan sebagai lebar jalur dimana daya sinyal terkonsentrasi. Sebagai contohnya, bandwidth dapat didefinisikan sebagai bagian di mana 99% sinyal terkonsentrasi di bagian tersebut. (Wibisono, Usman, & Hantoro, 2008)

Berdasarkan dua pengertian di atas, terlihat bahwa *bandwidth* berbanding lurus dengan bit rate. Jika bit rate tinggi, T_b kecil dan bandwidth menjadi sangat lebar. Hal ini berarti sistem komunikasi dengan data rate yang tinggi harus mampu menyediakan range frekuensi yang lebar pula.

Apabila data yang dikirimkan dalam sebuah sistem komunikasi ideal memiliki frekuensi (f) = 1 MHz dan $T = 1/f = 1/1.10^6 = 1 \mu s$ maka bandwidth sinyalnya adalah $4 \times 1 \text{ MHz} = 4 \text{ MHz}$, dan kecepatan data (*data rate*) nya adalah $2 \times 1 \text{ MHz} = 2 \text{ Mbps}$. Jika sebuah data memiliki frekuensi = 2 MHz dan $T = 1/f = 1/2.10^6 = 0,5 \mu s$ maka *bandwidth* sinyalnya adalah $4 \times 2 \text{ MHz} = 8 \text{ MHz}$, dan kecepatan data (*data rate*) nya adalah $2 \times 2 \text{ MHz} = 4 \text{ Mbps}$. Dengan demikian hubungan *data rate* (d) dan *bandwidth* (B) dapat dinyatakan sebagai :

$$B = 4 f = 2 d \quad (1)$$

Nyquist menyatakan bahwa bila kecepatan transmisi adalah $2B$, maka suatu sinyal dengan frekuensi tidak lebih besar daripada B cukup memadai untuk menghasilkan kecepatan sinyal. Kebalikannya juga berlaku; suatu bandwidth sebesar B , maka kecepatan sinyal tertinggi yang bisa dihasilkan adalah sebesar $2B$. Keterbatasan ini dikarenakan efek gangguan intersymbol, seperti misalnya, yang disebabkan oleh distorsi tunda. Hasilnya berguna untuk pengembangan skema pengkodean digital ke analog. Jadi, untuk *bandwidth* tertentu, *data rate* dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan jumlah elemen-elemen sinyal yang berlainan. Bagaimanapun juga, hal ini menambah beban pada *receiver*. (Ananta, 2009)

B.3 Jumlah Bit Error

Jumlah bit error merupakan jumlah bit salah yang diterima dibagi dengan jumlah bit yang dikirimkan, mengikuti ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Jumlah Bit Error} = \frac{eb}{tb} \quad (2)$$

di mana eb = jumlah bit yang salah (*bit error rate*) dan tb = jumlah total bit yang dikirimkan. Sebagai contoh, terdapat sejumlah urutan bit yang dikirimkan, yaitu : 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 (sebanyak 10 bit), yang kemudian, setelah melalui kanal komunikasi, urutan bit yang diterima menjadi : 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 (terjadi bit error sebanyak 3 bit) (Hantoro, 2009). Dengan demikian, kemungkinan jumlah bit error pada contoh tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{3}{10} = 0,3 \text{ atau } 30 \% . \text{ Jumlah Bit Error} = 10 \quad (3)$$

B.4 Kapasitas Kanal Komunikasi

Untuk data digital, permasalahan yang muncul adalah gangguan kanal komunikasi yang dapat membatasi data rate dan data rate maksimum yang dapat ditransmisikan melalui suatu kanal komunikasi. Ada empat konsep tentang kanal komunikasi, yaitu :

1. *Data Rate*, merupakan jumlah data pada kanal komunikasi dalam bit per detik
2. *Bandwidth*, merupakan lebar kanal komunikasi dari sinyal yang ditransmisikan
3. *Noise*, merupakan level rata-rata derau sepanjang kanal komunikasi
4. *Error Rate*, merupakan jumlah error yang terjadi pada kanal komunikasi

Pernyataan Nyquist tentang *bandwidth* dapat dihubungkan dengan kapasitas kanal komunikasi yang dikemukakan oleh Claude Shannon. Untuk level derau tertentu, daya sinyal yang lebih besar akan

meningkatkan kemampuan penerimaan data secara benar di dalam tampilan derau. Dalam hal ini, *Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan perbandingan daya suatu sinyal terhadap daya *noise* yang muncul pada titik tertentu dalam transmisi. Biasanya, SNR diukur pada sebuah penerima, karena nantinya digunakan untuk memproses sinyal yang diterima dan menghilangkan derau yang tidak diinginkan dengan persamaan (Efendi, 2008) :

$$(SNR)_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \quad (4)$$

di mana P_s = Power Signal (daya sinyal), dan P_n = Power Noise (daya bising). *Signal to Noise Ratio* (SNR) digunakan untuk menentukan batas atas terhadap jumlah data yang mampu diperoleh dari kanal komunikasi. Shannon mengemukakan bahwa kapasitas kanal komunikasi maksimum, dalam bit per detik, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = B \log_2 (1 + SNR) \quad (5)$$

C adalah kapasitas kanal komunikasi dalam bit per detik, B adalah *bandwidth* kanal komunikasi dalam *Hertz*. Persamaan Shannon tersebut menggambarkan nilai maksimum teoritis yang dapat dicapai oleh sistem komunikasi. Sedangkan pada prakteknya, bagaimanapun juga, jumlah data yang dapat ditransmisikan lebih rendah dari ketentuan Shannon tersebut. Satu alasan untuk hal ini adalah ketentuan Shannon tersebut beransumsi hanya pada *white noise* (derau suhu) saja. Batasan Shannon adalah bahwa kapasitas kanal komunikasi C tidak boleh lebih kecil dari jumlah informasi yang akan dikirimkan. (Jafar, Rohmah, & Aulia, 2015)

Untuk level derau tertentu, data rate dapat ditingkatkan, baik dengan cara meningkatkan daya sinyal atau meningkatkan *bandwidth*-nya. Bagaimanapun juga, saat daya sinyal meningkat, maka akan meningkat pula efek sifat nonlinier di dalam sistemnya, sekaligus meningkatkan derau intermodulasinya.

B.5 Parameter Eb/No

Perbandingan energi sinyal per bit terhadap kerapatan daya derau per hertz disimbolkan dengan E_b/N_0 . Sebuah sinyal, baik digital maupun analog, yang berisikan biner data digital ditransmisikan pada suatu *bit rate* R tertentu. Energi per bit dalam sebuah sinyal dinyatakan sebagai (Ananta, 2009) :

$$E_b = S \cdot T_b$$

dimana S adalah daya sinyal dan T_b adalah waktu yang diperlukan untuk mengirim satu bit. Perbandingan E_b/N_0 sangat penting dalam menentukan jumlah bit error. Saat jumlah bit R meningkat, daya sinyal yang ditransmisikan relative terhadap derau harus ditingkatkan untuk mempertahankan E_b/N_0 yang diperlukan.

B.6 Sistem Modulasi M-QAM

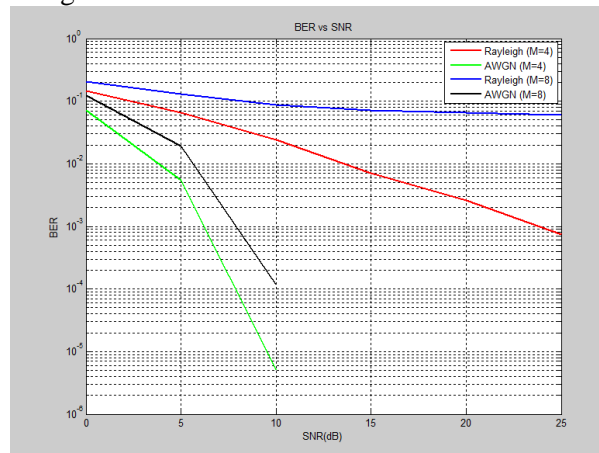
Untuk mengirim pesan digital, sistem modulasi digital mengalokasikan sepotong waktu yang disebut interval sinyal dan menghasilkan fungsi kontinyu yang mewakili simbol. Dalam modulasi digital, pesan sinyal diubah menjadi sinyal *baseband*. Pada sistem komunikasi nirkabel, bagian kedua dari modulasi adalah mengubah sinyal *baseband* ke frekuensi radio (RF) sinyal, dan memodulasi *phase*, frekuensi atau amplitudo dari sinyal pembawa (*carrier*). Sedangkan pada sistem kabel, sinyal *baseband* dapat dikirimkan secara langsung tanpa modulasi sinyal pembawa (misalnya dalam jaringan LAN). *M-ary Quadrature Amplitude Modulation* (M-QAM) merupakan salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena konstelasi sinyal M-QAM yang tidak begitu rapat, bila dibandingkan dengan sistem modulasi lainnya, misalnya dengan sistem *M-ary Quadrature Phase Shift Keying* (M-QPSK). (Fadhila, 2009). Pada sistem komunikasi nirkabel, penggunaan M-QAM dapat ditemui pada sistem pengkodean dan modulasi adaptif IEEE 802.16 *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX), yaitu sebagai salah satu teknik modulasi *subcarrier Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), modulasi pada IEEE 802.15 *Wireless Personal Area Network* (WPAN), yaitu pada aplikasi bluetooth, dan modulasi pada IEEE 802.11.a *Wireless Local Area Network* (WLAN). Selain itu M-QAM juga digunakan pada sistem komunikasi kabel,

misalnya sebagai modem pada *Cable Television* dan *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)* (Wibisono, Usman, & Hantoro, 2008).

C. Pembahasan dan Analisa

program MATLAB yang mensimulasikan sistem dengan menggunakan modulasi digital 4-qam, dan 8-qam yang melalui kanal *Fading* yang terdistribusi *Rayleigh*, akan menampilkan grafik hubungan SNR dengan BER serta diagram konstelasi modulasi digital, selain itu akan ditampilkan pula bila sistem ini melalui kanal AWGN sebagai pembandingan dengan kanal *Fading*. BER yang diinginkan adalah 1/1000 (10⁻³)

Dengan melakukan simulasi menggunakan MATLAB, maka didapatkan perbandingan BER dari masing kanal *fading* sebagai berikut:



Gambar 2. Perbandingan Jumlah *Bit Error* Terhadap SNR 4- QAM dan 8-QAM

Dari gambar 2 dapat diamati bahwa jika membandingkan antara modulasi 4QAM dan 8QAM, dimana nilai SNR yang sama dengan kondisi kanal yang sama diperoleh nilai BER yang berbeda. Modulasi 8QAM menghasilkan BER lebih besar dibandingkan dengan modulasi 4QAM. Ini berarti semakin besar M-ary QAM maka BER semakin tinggi. Kemudian jika membandingkan antara kanal *fading Rayleigh* dengan AWGN, dimana nilai SNR yang sama dengan kondisi modulasi yang sama diperoleh BER yang berbeda. Kanal *Rayleigh* memiliki BER yang lebih besar dibandingkan dengan kanal AWGN. Ini menunjukkan BER dari proses transmisi melalui kanal *fading Rayleigh* lebih tinggi dibandingkan proses transmisi melalui kanal *fading* yang terdistribusi AWGN.

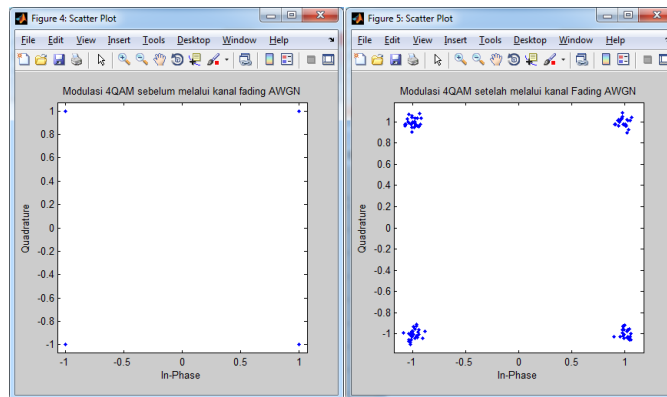
Berikut hasil perbandingan masing-masing modulasi dengan kanal yang berbeda dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Perbandingan masing-masing proses modulasi

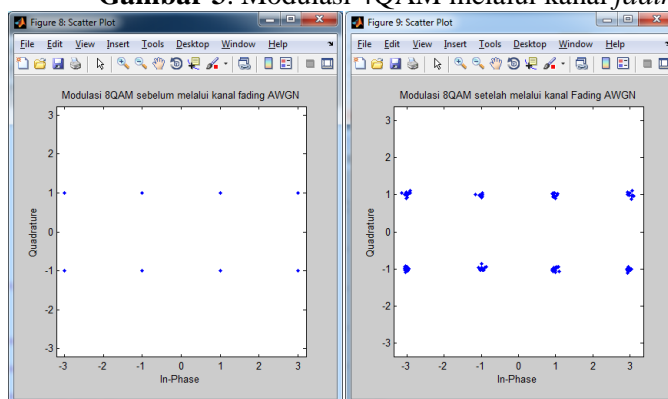
SNR	BER 4QAM <i>Rayleigh</i>	BER 4QAM AWGN	BER 8QAM <i>Rayleigh</i>	BER 8QAM AWGN
0	0,14475	0,0789	0,2033667	0,124
5	0,0624	0,00665	0,1273000	0,0199
10	0,02595	0,00001	0,0882333	0,0001467
15	0,008	0	0,0728333	0
20	0,002875	0	0,0666333	0
25	0,00095	0	0,0650667	0

Pada Tabel diatas terlihat pada nilai SNR = 15 dB sampai 25 dB nilai BER untuk kanal AWGN adalah 0 dB. Ini dikarenakan semakin tinggi nilai SNR akan mengurangi jumlah error. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada saat SNR = 15 dB sampai 25 dB tidak terdapat error yang dihasilkan.

Dibawah ini ditunjukkan gambar diagram konstelasi masing-masing proses modulasi dengan masing-masing kanal *fading*.

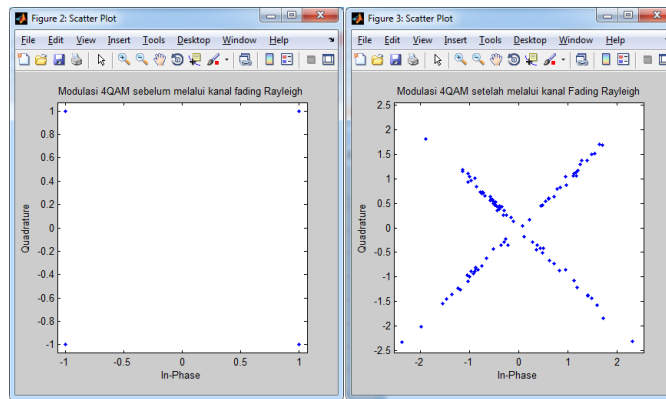


Gambar 3. Modulasi 4QAM melalui kanal *fading* AWGN

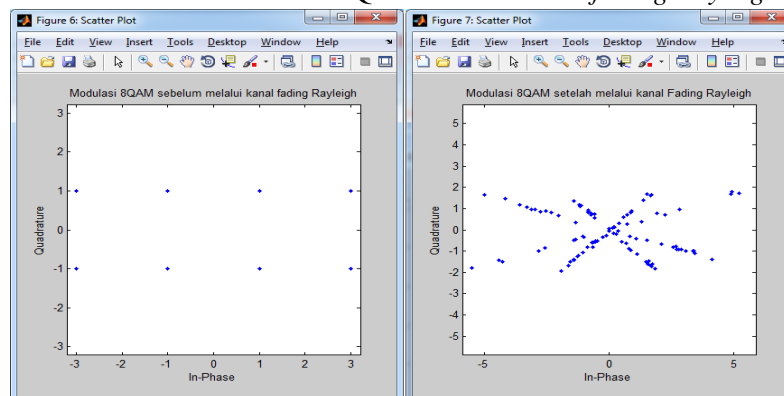


Gambar 4. Modulasi 8QAM melalui kanal *fading* AWGN

Gambar 3 dan 4 memperlihatkan diagram konstelasi sebelum dan sesudah melewati kanal *fading* AWGN. Pada saat sebelum melewati kanal *fading* terlihat titik-titik pada setiap gambar yang menjelaskan bahwa modulasi yang digunakan adalah 4 – QAM dan 8 – QAM artinya ada 4/8 orde yang digunakan dalam modulasi tersebut, dimana ada 4/8 keluaran QAM yang mungkin terjadi untuk sebuah frekuensi *carrier*. Karena ada 4/8 keluaran yang berbeda, maka harus ada 4/8 kondisi masukan yang berbeda. Pada modulasi 4-QAM tiap simbol diwakilkan oleh dua bit, sehingga memakai 2 bit masukan : 00,01,10,11. Masing-masing kode bit menghasilkan salah satu dari 4 keluaran yang mungkin. Dua bit ini dimasukkan secara seri kemudian dikeluarkan secara paralel satu bit ke kanal Q dan bit lainnya serentak menuju ke kanal Q. Kemudian 8 – QAM artinya ada 8 orde yang digunakan dalam modulasi tersebut. dimana sinyal output modulator 8-QAM berupa sinyal *carrier* yang mempunyai amplitudo tidak konstan. Data masukan dibagi menjadi 3 bit (2^3) atau yang disebut TRIBIT. Saat setelah melewati kanal *fading* mengalami perubahan gambar yang disebabkan oleh noise AWGN, dimana noise AWGN merupakan noise alami, yang selalu ada di setiap perangkat. Jadi pada setiap perhitungan komunikasi yang melalui kanal maka harus ditambahkan AWGN. Sehingga seperti gambar 3 dan 4 terlihat tidak ada perpindahan lokasi pada orde modulasinya itu berarti noise terjadi pada kanal AWGN dimana terjadi baik saat perangkat ditransmisikan baik di sumber atau penerima.



Gambar 5. Modulasi 4QAM melalui kanal *fading Rayleigh*



Gambar 6. Modulasi 8QAM melalui kanal *fading Rayleigh*

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan diagram konstelasi sebelum dan sesudah melewati kanal *fading rayleigh*. Pada saat melewati kanal *fading*, terlihat perubahan gambar yang sangat signifikan. Itu terjadi akibat *fading* dalam skala kecil yang dikenal dengan kanal *rayleigh* dimana terjadi perubahan amplitudo sinyal saat melewati kanal tersebut dan terjadi mekanisme pemantulan yang bisa disebabkan oleh noise pada kanal tersebut.

D. Penutup

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perbandingan nilai SNR dengan BER, modulasi 8QAM menghasilkan BER lebih besar dibandingkan dengan modulasi 4QAM. Ini berarti semakin besar M-ary QAM maka BER semakin tinggi.
2. Berdasarkan perbandingan nilai SNR dengan BER, Kanal *Rayleigh* memiliki BER yang lebih besar dibandingkan dengan kanal AWGN. Ini menunjukkan BER dari proses transmisi melalui kanal *fading Rayleigh* lebih tinggi dibandingkan proses transmisi melalui kanal *fading* yang terdistribusi AWGN.
3. Berdasarkan diagram konstelasi, proses transmisi melewati kanal *fading* yang terdistribusi *Rayleigh* menghasilkan perubahan bentuk sinyal yang signifikan. Ini disebabkan akibat adanya proses pemantulan selama transmisi yang disebabkan oleh noise pada kanal tersebut.

Ucapan Terimakasih

Saya ucapkan syukur kepada Tuhan yang selalu memberi limpahan kasih dan penyertaanNya dalam menyusun hasil penelitian ini, terimakasih kepada keluarga yang selalu mendukung dalam proses penulisan artikel, kepada rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi yang menjadi rekan bekerja setiap hari semoga semua membawa kebaikan bagi kita.

Daftar Pustaka

- Ananta, A. (2009). *Simulasi Perbandingan Kinerja Modulasi M-PSK dan M-QAM Terhadap Laju Kesalahan Data Pada Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*. Universitas Diponegoro. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Efendi, V. (2008). *Analisis Kerja Sistem Svd-Ofdm 2x2 Pada Kanal Rayleigh Fading*. Universitas Diponegoro. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Fadhila, W. (2009). *Pengaruh Modulasi M-PSK Pada Unjuk Kerja Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*. Universitas Diponegoro, Teknik Elektro.
- Hantoro, B. (2009). *Analisis Diversitas Penerima dan Pemancar Pada Sistem MIMO*. Penelitian S1, Institut Teknologi Bandung.
- Hara, S., & R, P. (2003). *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communication*. London.
- Hariyadi, Hariyadi, et al. "Mobile Application Design For Learning Digital Engineering Based On Figma And Android Studio." *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering* 4.1 (2023).
- Jafar, N. A., Rohmah, Y. S., & Aulia, S. (2015, December 03). Perancangan Simulator Teknik Modulasi M-ARY QAM. *e-Proceeding of Applied Science, Vol.4*. Bandung. Retrieved April 30, 2023, from <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/7512/7400>.
- Ni'amah, K., Marimbun, Y. D., & Praja, M. P. (2022). Analisis Perbandingan Modulasi 16-QAM And 64-QAM pada Kanal Additve White Gaussian Noise And Rayleigh Fading Channels. *CESS*, 90-98.
- Wibisono, G., Usman, U. K., & Hantoro, G. D. (2008). *Konsep teknologi seluler*. Bandung: Informatika.