

Analisis BER dengan Modulasi QPSK dan 16-QAM pada Sistem Komunikasi *Vehicle-to-Vehicle*

Aisyah Novfitri¹, Haifa Nabila²

Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Jakarta
Jl. Daan Mogot KM 11 Jakarta 11740, Indonesia

¹aisyahnovfitri@ittelkom-jkt.ac.id

²haifanabila@ittelkom-jkt.ac.id

Abstract

VANET (Vehicular Ad-hoc Network) merupakan system komunikasi antar kendaraan menggunakan waveform OFDM sesuai standart IEEE.802.11p. komunikasi V2V termasuk bagian dari teknologi VANET dimana ada beberapa faktor yang mempengaruhi performansi sinyal *wireless* sebelum data diterima. Pengaruh dari lingkungan sekitar kendaraan dan dipengaruhi frekuensi doppler. Perubahan kecepatan kendaraan mengakibatkan frekuensi doppler, sehingga performansi system komunikasi menurun, salah satunya adalah *Bit Error Rate* (BER). Dalam Penelitian ini dilakukan analisis kinerja teknik modulasi pada system komunikasi VANET dengan kanal V2V. Adapun parameter yang diamati adalah akibat pengaruh gangguan frekuensi doppler pada kecepatan kendaran rendah hingga sedang, sehingga bagaimana pengaruh doppler terhadap performansi nilai BER berdasarkan teknik Modulasi yang digunakan. Analisis kapasitas performansi nilai BER, menggunakan Teknik modulasi QPSK dan 16-QAM. Simulasi nantinya menggunakan batas nilai BER tidak lebih dari 10^{-3} pada saat kondisi kecepatan tertentu. Dari simulasi yang telah dilakukan, hasil yang didapatkan nilai kecepatan kendaraan maksimum untuk mencapai nilai BER tidak lebih dari 10^{-3} sebesar 50mph, dimana untuk modulasi QPSK masih memenuhi nilai BER lebih kecil dari 10^{-3} sedangkan pada Modulasi QAM nilai BER mencapai sebesar 0.006134 atau sudah lebih dari 10^{-3} .

Keywords: BER, Frekuensi Doppler, QPSK, 16-QAM

I. INTRODUCTION

Teknologi sistem peringatan berbasis radio dalam berkomunikasi antar kendaraan agar keamanan dalam berkendara telah dikembangkan sejak 1925 lalu. Hingga saat ini sesuai dengan berkembangnya teknologi mengiringi zaman, maka terbentuklah standarisasi komunikasi wireless dalam lingkungan kendaraan untuk mendukung komunikasi Vehicular Ad-hoc Network (VANET). Dalam komunikasi VANET, dapat dibagi menjadi dua katagori kanal system komunikasinya, yaitu *vehicle-to-vehicle* (V2V) dan *vehicle-to-infrastructure* (V2I) [1]. Terkait Standar layer *Medium Access Control* dan lapisan fisik pada system Komunikasi V2V dan V2I telah ditetapkan oleh IEEE 802.11p. Dalam standar tersebut juga dijelaskan bahwa teknologi yang digunakan pada lapisan fisik untuk komunikasi V2V dan V2I adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) [2]. Hingga saat ini, dalam komunikasi V2V terdapat kendala pada performansi *wireless* saat dua kendaraan atau lebih melakukan transmisi data dengan laju yang semakin cepat, hal ini dikarenakan apabila saat antar *vehicle* saling menjauhi atau mendekati mengakibatkan adanya pergeseran frekuensi doppler. Simbol-simbol data pada sinyal OFDM sangat mudah terpengaruh akibat pergeseran frekuensi Doppler tersebut [3]. Frekuensi Doppler dapat mengurangi atau menurunkan performansi data yang diterima karena adanya efek

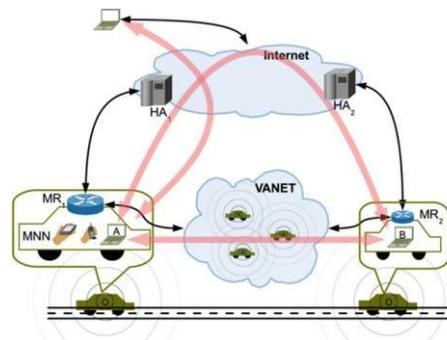
dari doppler tersebut yang mempengaruhi, frekuensi subcarrier, frekuensi carrier, dan waktu transmisi simbol pada sistem OFDM [4].

Teknik Modulasi selalu menjadi salah satu dari serangkaian system dalam mentransmisikan data atau sinyal pada kanal *wireless*, termasuk pada system OFDM. Penentuan teknik Modulasi juga berpengaruh dalam mentransmisikan data karena level dari modulasi akan berpengaruh pada berapa bit per symbol data yang akan ditransmisikan. Penelitian mengenai kinerja komunikasi kooperatif pada V2V menyimpulkan bahwa dari beberapa Teknik modulasi yang digunakan, performa Modulasi 16-QAM adalah yang lebih baik[ISNAN]. Berbagai optimasi system Komunikasi VANET telah diimplementasikan, salah satunya dengan modulasi adaptif [5][6]. Dari penelitian tersebut masih sangat kurang membahas batas toleransi dari setiap modulasi yang jika dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan atau efek doppler.

Pada penelitian ini, akan menganalisis performansi dari simulasi teknik modulasi QPSK dan 16-QAM dengan menggunakan parameter kondisi kanal yang dipengaruhi oleh doppler pada kondisi kecepatan rendah hingga sedang dan disesuaikan dengan sistem komunikasi V2V. kondisi kanal fading yang akan disimulasikan mengacu pada kondisi *mobile-to-mobile Rayleigh fading* yang merupakan bagian dari NLOS.

II. LITERATURE REVIEW

A. Sistem Komunikasi Vehicle-to-vehicle (V2V)



Gambar 1 Teknologi VANET

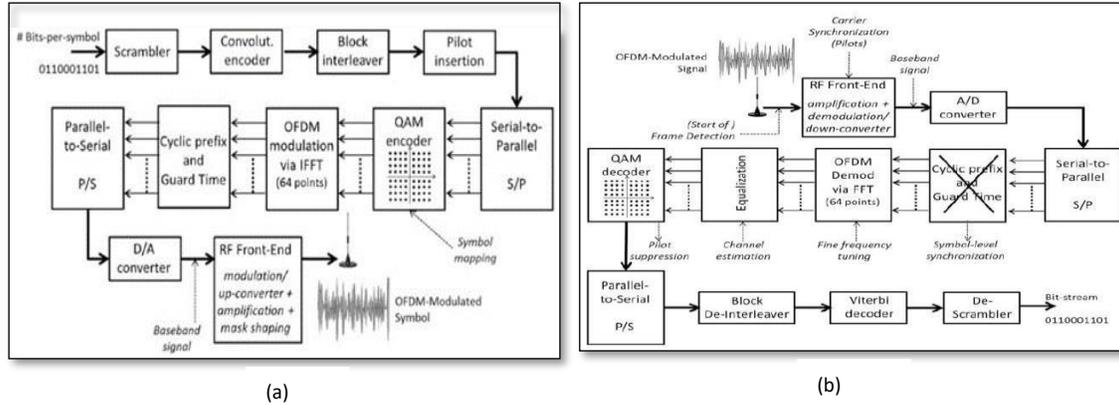
Komunikasi VANET terbagi menjadi dua skema yaitu komunikasi antar dua kendaraan (V2V) dan komunikasi antara kendaraan dengan infrastruktur (V2I). VANET juga diartikan sebagai salah satu dari teknologi jaringan nirkabel yang terus dikembangkan. Standarisasi VANET mengacu pada IEEE 802.11p dalam segala hal pengoperasian lapisan fisik, dan IEEE P.1609 untuk standar layer *Medium Access Control*. Pada TABLE I, dapat terlihat perbedaan standar parameter OFDM sebagai *waveform* VANET sesuai IEEE 802.11x.

TABLE I
 Layer fisik pada OFDM IEEE 802.11p dan IEEE 802.11a

IEEE 802.11p	Parameter	IEEE 802.11a
5.85–5.95 GHz	Frequency	5.15–5.35 GHz; 5.725–5.835 GHz
10MHz	Bandwidth on channel	20MHz
27 Mb/s	Data rate Maximum	54Mb/s
8 μ s	duration of OFDM signal	4 μ s
7	channels	12
6.4 μ s	Period of FFT	3.2 μ s
1.6 μ s	Guard Interval	0.8 μ s

B. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM menggunakan konsep Teknik modulasi secara *multiplexing*, dimana dasarnya merupakan suatu skema transmisi *multicarrier*. Konsep dasar dari multiplexing tersebut adalah pemilahan saluran transmisi data dengan sejumlah *subcarriers*, dan termodulasi pada laju yang rendah. OFDM mengadopsi konsep *Frequency Division Multiplexing* (FDM). Perbedaan prinsip kerja OFDM dan FDM, pada FDM pembagian kanal hanya berdasarkan frekuensi, sedangkan kanal OFDM adanya jarak tertentu (*Guard Interval*) untuk mencegah interferensi antar simbol. Terlihat bahwa OFDM lebih efisien dalam menggunakan *bandwidth* daripada FDM. Gambar 2 menunjukkan secara umum blok diagram modulator dan demodulator dari OFDM [2].



Gambar 2 (a) Modulator, (b) Demodulator OFDM Konvensional

OFDM terdiri dari banyak subcarrier, maka persamaan gelombangnya menjadi:

$$S(t) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n(t) e^{j[\omega_n t + \phi_n(t)]} \quad (1)$$

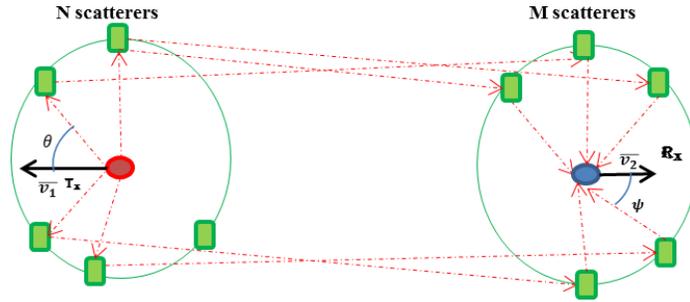
Pada modulator OFDM algoritma yang digunakan adalah *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) berfungsi sebagai penghasil simbol-simbol OFDM. Proses algoritma IFFT adalah simbol akan dikonversikan dari domain frekuensi $s(k)$ menjadi domain waktu $s(t)$. Sedangkan demodulator OFDM algoritma yang digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) atau pengkonversian Kembali yang bertujuan untuk mengurai kembali simbol OFDM ke domain frekuensi dari domain waktu. Secara umum IFFT dapat dinyatakan pada persamaan (2) dengan k merupakan Jumlah point IFFT (*subcarrier* total) yang nilainya dapat disesuaikan dengan standar kebutuhan system komunikasi yang digunakan.

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (2)$$

C. Kanal dan Frekuensi Doppler

Dalam sebuah komunikasi pasti akan melewati sebuah kanal dengan kondisi propagasi tertentu. Pada system komunikasi V2V Propagasi dan jenis fading memiliki berbagai model salah satunya adalah *small-scale fading*. Pada *small-scale fading*, terjadi adanya *multipath* sehingga mengakibatkan *flat fading* atau *frequency selective*. Pada simulasi ini menggunakan perhitungan kondisi kanal secara deterministic yaitu dari adanya pengaruh nilai perubahan fasa secara acak pada kanal *Rayleigh*, nilai amplitude dan nilai Doppler yang telah ditetapkan. Sehingga

simulasi V2V pada penelitian ini, mengacu dan dapat dilakukan pendekatan dengan pemodelan kanal *Mobile to Mobile Rayleigh fading* [7].



Gambar 3 Scatterer pada Kanal V2V NLOS

$$h(t) = \sqrt{\frac{2}{MN}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N e^{j(2\pi f_1 t \cos \alpha_n + 2\pi f_2 t \cos \beta_m + \phi_{nm})} \quad (3)$$

$$\alpha_n = \frac{2n\pi - \pi + \theta_n}{4N} \quad (4)$$

$$\beta_m = \frac{2(2m\pi - \pi + \psi_m)}{4M} \quad (5)$$

- M = scatterer pada lingkungan Rx
- N = scatterer pada lingkungan Tx.
- α_n = sudut awal scatterer bagian dari θ_n
- β_m = sudut kedatangan scatterer bagian dari ψ_m

f_1 dan f_2 adalah frekuensi Doppler yang dinormalisasi berdasarkan akibat kecepatan relatif dari setiap kendaraan. frekuensi Doppler (f_d) dengan masing-masing kecepatan tiap *vehicle* didapatkan sesuai persamaan (6) dan frekuensi Doppler ternormalisasi terhadap dengan standart (156.25 KHz) [8] didapatkan dengan persamaan (7).

$$f_d = f_c \frac{v}{c} \quad (6)$$

$$f = \frac{f_d}{\Delta_f} \quad (7)$$

$d \text{ norm}$ Δ_f

- $f_c = 5.9 \text{ Ghz}$ (frekuensi carrier)
- v = kecepatan relatif kendaraan (m/s)
- $C = 3.10^8 \text{ m/s}$
- Δ_f = frekuensi antar *subcarrier*

Pergeseran Doppler menjadi tinggi jika dalam kanal V2V yaitu kecepatan kendaraan menjadi semakin cepat. Pergeseran Doppler yang lebih tinggi akan membuat *offset* sehingga mengalami peningkatan pula pada frekuensi *carrier* dan spektrum sinyal akan mengalami dispersi sehingga muncul *inter-carrier interference* (ICI) yang lebih besar [9].

D. Modulasi QPSK dan 16-QAM

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) merupakan Teknik modulasi yang cukup banyak digunakan karena tidak mengalami penurunan BER secara drastis ketika penggunaan bandwidth meningkat [10]. Pada proses modulasi

QPSK, bit-bit data dibagi menjadi dua bit dalam 1 simbol. Ada empat probabilitas dari simbol tersebut diantaranya 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing dari empat simbol dari sinyal QPSK sebagai wakil dari salah satu simbol, dengan tiap simbol memiliki beda fasa sebesar 360° yang dibagi ke 4 simbol, sehingga beda fasa antar simbol adalah 90° .

Quadrature amplitude modulation (QAM) merupakan kombinasi antara modulasi ASK dan juga PSK. Sehingga konstelasi sinyal QAM berubah mengikuti *amplitude* (jarak antar titik asal dan titik konstelasi) selain itu sesuai dengan *Fasa* sinyal (titik-titik konstelasi yang tersebar di daerah kompleks). QAM dapat dikatakan juga sebagai skema teknik modulasi dari dua *sinusoidal carrier*, pada fasa 90° dari simbol-simbol yang lain. Sinyal informasi atau data yang ditransmisikan bisa disebut *baseband* dibagi menjadi dua variable yaitu *Inphase* atau bagian Asli (*real*), dan *Quadrature* atau bagian imajiner dari sinyal yang dimodulasi [11]. 16-QAM juga macam dari Teknik modulasi QAM yang memanfaatkan 4bit dengan 16 kondisi logika sebagai input.

Untuk menentukan nilai P_b (Bit Error Probability) modulasi QPSK pada kanal *Rayleigh* yaitu :

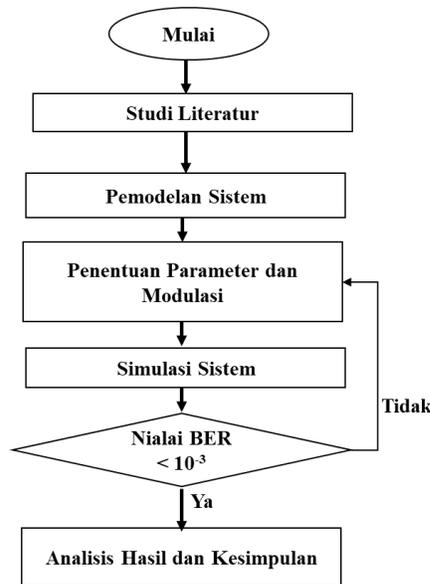
$$P_b \approx 0.5 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \tag{8}$$

Sedangkan nilai probabilitas error bit pada sinyal modulasi 16-QAM dapat menggunakan persamaan :

$$P_b \approx \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_s}{10 N_0}} \tag{9}$$

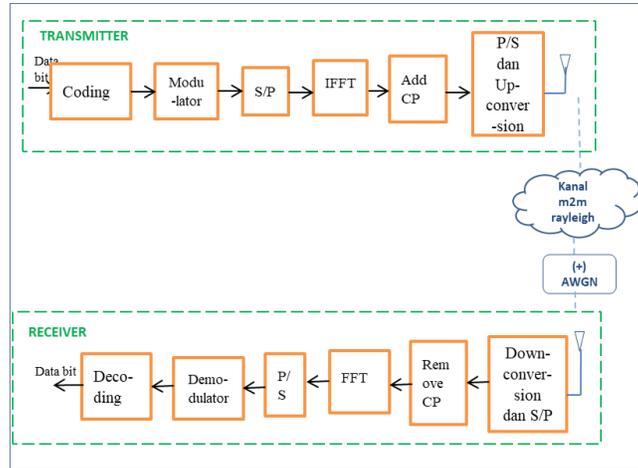
III. RESEARCH METHOD

Metode Penelitian berdasarkan beberapa tahap, seperti yang dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 4 merupakan tahapan proses sebelum tercapainya hasil yang nantinya akan dianalisis dan penarikan kesimpulan. Dari Gambar 4 yang terlihat diagram alir penelitian, dijelaskan sebagai berikut sebagai proses setiap tahap.



Gambar 4 Diagram Alir penelitian

- 1) Studi literatur: Studi literatur yang dilakukan adalah dengan mempelajari dan mencari referensi yang berkaitan dengan system komunikasi V2V, OFDM, frekuensi doppler, serta modulasi dengan perhitungan nilai BER.
- 2) Pemodelan sistem: Penentuan Model system perlu dilakukan terlebih dahulu terkait system Komunikasi pada OFDM baik dari sisi transmitter, kanal, dan receiver. Secara umum, pemodelan system dapat dilihat pada blok diagram berikut pada Gambar 5. Pada sisi kanal yang menggunakan AWGN dan *Rayleigh Fading*



Gambar 5 Blok diagram pemodelan Sistem

- 3) Penentuan parameter yaitu menentukan modulasi apa yang akan digunakan yaitu modulasi QPSK dan 16-QAM. Selain itu variasi frekuensi doppler yang ditetapkan pada penelitian ini berdasarkan kecepatan rendah, dan sedang. Nilai kecepatan akan dirubah dalam frekuensi doppler dan dinormalisasi sesuai persamaan (6) dan (7), Variasi frekuensi doppler dari nilai kecepatan kendaraan dalam mile per hour (mph) dapat dilihat pada TABLE II.

TABLE II
 Frekuensi Doppler terhadap Kecepatan

Kecepatan (mph)	Doppler ternormalisasi
20	0.001125
25	0.001407
30	0.001689
35	0.001969
40	0.002251
45	0.001532
50	0.002813

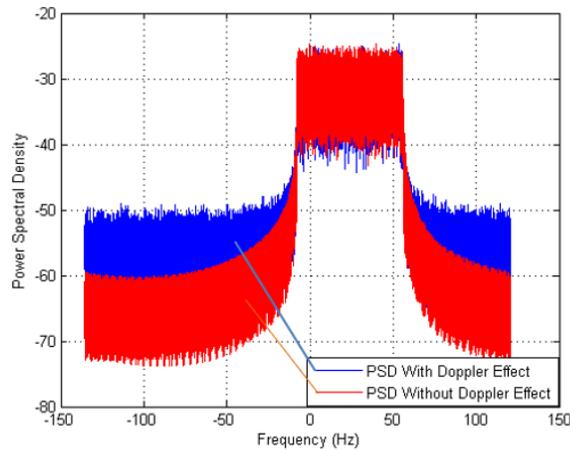
- 1) Pada tahap selanjutnya yakni simulasi system OFDM sesuai parameter komunikasi V2V. Ketika system berjalan sampai muncul nilai BER maka simulasi telah berhasil, namun Ketika simulasi masih belum berhasil maka akan dilakukan pengecekan ulang terhadap algoritma system.
- 2) Setelah simulasi system berhasil dan muncul nilai BER dari tiap modulasi yang digunakan, maka pada tahap ini akan dilihat nilai BER jika nilai BER lebih dari 10^{-3} maka simulasi system perlu diulang Kembali dan mengganti nilai parameter frekuensi doppler dan modulasi sehingga didapatkan nilai BER kurang dari 10^{-3} .

- 3) Dalam Tahap Terakhir, setelah mendapatkan nilai BER sesuai yang diinginkan, maka akan dilakukan analisis dan kesimpulan terhadap hubungan antar nilai frekuensi doppler yang dapat diterima oleh modulasi yang ditentukan dengan nilai BER kurang dari 10^{-3} .

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Spektrum *Power Spectral Density* (PSD)

Sesuai dengan tahapan metode penelitian yang telah diterapkan, maka dalam simulasi system OFDM dapat diverifikasi dengan melihat sinyal OFDM yang berada pada domain frekuensi. Sinyal OFDM dapat dianalisis dengan melihat perbedaan pengaruh frekuensi doppler terhadap sinyal OFDM berdasarkan kerapatan spektral daya (PSD). Kerapatan daya ini merupakan spectrum dengan fungsi dari besarnya daya dalam satuan dBW terhadap per interval frekuensi. Apabila Doppler diberikan pada system ini, maka akan terjadi efek perubahan atau pergeseran spectrum dengan membutuhkan daya atau power lebih banyak tentunya. Pergeseran spectrum OFDM yang ideal dengan spectrum OFDM terkena frekuensi Doppler yang telah dinormalisasi dari kecepatan tinggi terlihat pada Gambar 6. Terlihat pada bagian *sidelobe* PSD OFDM tanpa adanya efek Doppler (berwarna merah), menjadi meningkat atau bertambah pada sisi *sidelobe* yang telah dipengaruhi oleh Doppler terjadi selisih hingga sepuluh desibelwatt.

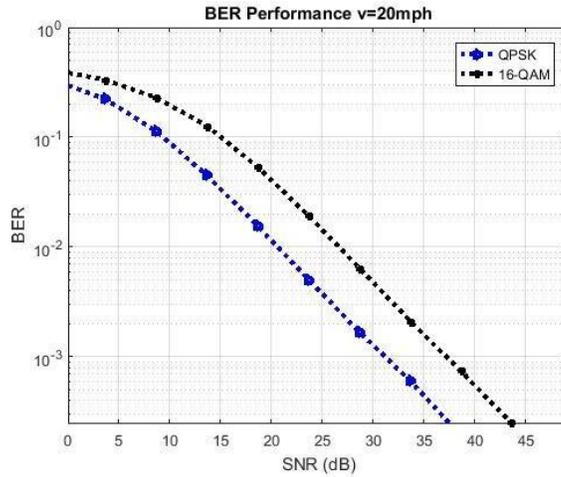


Gambar 6 *Power Spectral Density* (PSD) OFDM ideal dengan OFDM efek Doppler

B. Kinerja Modulasi dipengaruhi Frekuensi Doppler terhadap Nilai BER

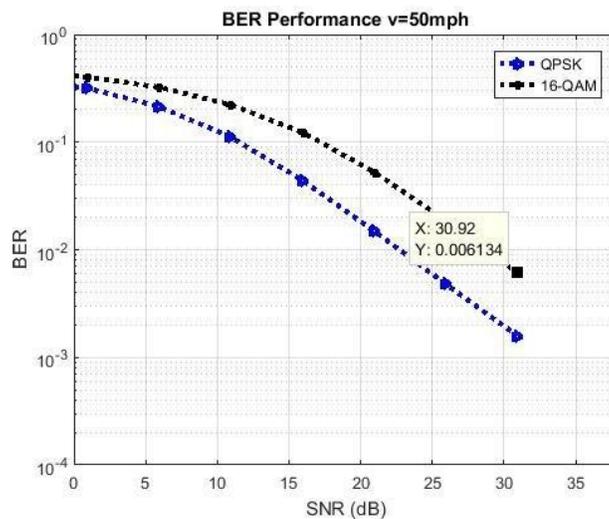
Pada tahap penelitian selanjutnya setelah memverifikasi PSD, yaitu menganalisis nilai BER dari hasil simulasi sesuai nilai variasi frekuensi doppler pada TABLE II sebelumnya. Hasil Simulasi yang didapatkan yaitu hubungan antara nilai BER dan nilai SNR. Salah satu hasil simulasi berupa grafik hubungan antara BER dan SNR pada kecepatan dapat dilihat pada Gambar 7 untuk kecepatan terendah yaitu 20mph dan Gambar 8 untuk kecepatan tertinggi yaitu 50mph. Analisis nilai BER dengan SNR dengan Kecepatan 20mph yang ditampilkan pada Gambar 7, menunjukkan bahwa untuk nilai BER dengan kecepatan 20mph memiliki nilai kurang dari 10^{-3} . Hal ini menunjukkan performa dari modulasi QPSK maupun 16-QAM memberikan sinyal yang diterima pada penerima sangat baik. Begitu pula pada kecepatan 25mph, 30mph, 35mph, 40mph, hingga 45mph. Pada kecepatan 20mph, agar mencapai nilai BER pada 10^{-3} memerlukan nilai SNR sebesar 32dB untuk Modulasi QPSK dan 37.5 dB untuk 16-QAM. Semakin tinggi nilai kecepatan kendaraan, maka SNR yang dibutuhkan juga meningkat, begitu pula untuk Modulasi 16-QAM yang membutuhkan SNR lebih besar daripada modulasi QPSK dalam kondisi nilai BER yang sama. Hal ini dikarenakan pada modulasi 16-

QAM bit data yang diperlukan dalam 1 simbol adalah 4 bit, sehingga daya yang dibutuhkan semakin besar dalam 1 simbolnya tetapi modulasi 16-QAM lebih rentan terhadap noise. Jika dikaitkan dengan efisiensi dalam pengiriman data, modulasi 16-QAM lebih baik karena dari 10.000 simbol yang di bangkitkan maka dapat membawa 40.000 bit data, sedangkan modulasi QPSK sebesar 20.000 bit data.



Gambar 7 BER terhadap SNR pada Kecepatan 20mph

Dalam TABLE III yang disajikan, dapat terlihat nilai SNR pada modulasi QPSK dan 16-QAM sesuai dengan variasi kecepatan yang telah ditentukan pada TABLE II. Pada kecepatan 50mph didapatkan nilai SNR untuk mencapai BER sebesar 10⁻³ pada modulasi QPSK masih memenuhi yaitu SNR senilai 30.92 dB. Sedangkan pada modulasi 16-QAM dengan kecepatan 50mph, sudah melebihi dari nilai BER 10⁻³, yaitu pada SNR yang sama sebesar 30.92 untuk nilai BER mencapai pada 0.006134. Hal ini dikarenakan Ketika kecepatan semakin tinggi maka nilai frekuensi doppler yang mempengaruhi sinyal OFDM semakin rentan yang mengakibatkan ISI (*intersymbol interference*). Untuk Grafik hubungan nilai BER dan SNR pada kecepatan 50mph dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7 BER terhadap SNR pada Kecepatan 20mph
TABLE III

Nilai SNR pada BER 10^{-3} dengan Variasi Kecepatan

Kecepatan (mph)	SNR (dB)	
	QPSK	16-QAM
20	32	37.5
25	32.5	38
30	34	40
35	35	41
40	34.56	34.56
45	30.59	30.59

V. Conclusion

Berdasarkan Hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, modulasi 16-QAM mendapatkan nilai BER lebih besar dari 10^{-3} pada kecepatan 50mph, sedangkan pada Modulasi QPSK masih mampu mencapai nilai BER 10^{-3} saat kecepatan 50mph. Performansi dari modulasi QPSK dan 16-QAM berdasarkan parameter nilai BER mampu mentransmisikan data secara maksimal dengan probabilitas bit yang rusak sangat kecil dalam komunikasi v2v pada saat kecepatan dari kendaraan tidak lebih dari 50mph. Dimana pada modulasi QPSK masih mampu mencapai BER 10^{-3} sedangkan untuk modulasi 16-QAM nilai BER sudah mencapai lebih dari 10^{-3} atau sebesar 0.006134 pada kondisi nilai SNR yang sama. Selain itu Nilai SNR sangat mempengaruhi dalam pentransmisi an data symbol pada setiap Modulasi.

REFERENCES

- [1] U.S. Department of transportation. *Vehicle Safety Communications Project Final Report*. U.S.: Rep. DOT HS 810, 2006
- [2] I Campolo C, Molinaro A, Scopigno R. "Vehicular ad hoc Network: Standarts, Solutions, research". New York. Springer. 2015
- [3] Feukeu EA, Djouani K, Kurien A. "Compensating the effect of Doppler shift in a vehicular network", AFRICON,9-12 Sept 2013
- [4] Fuqin. X and Monty. A, "The Effect of Doppler Frequency Shift, Frequency Offset of the Local Oscillators, and Phase Noise on the Performance of Coherent OFDM Receivers," National Aeronautics and Space Administration Washington, DC 20546-000
- [5] Aisyah Novfitri, Titiek Suryani, Suwadi, "Performance Analysis of Vehicle-to-Vehicle Communication with Adaptive Modulation." EECCIS 2018, Batu, Indonesia
- [6] Isn an Muhharam, Ramzi Adriman, Nasaruddin. "Pengaruh Link Relay Terhadap Kinerja Komunikasi Kooperatif Vehicle-to-Vehicle (V2V)." ELKOMIKA, Vol. 10. Januari 2022
- [7] Alenka Zajic. "Mobile-to-Mobile Wireless Channels." 2013. Artech House. Boston. London
- [8] Iulia Ivan. Philippe Besnier. Matthieu Crussiere. and M hamed Drissi. "Physical Layer Performance Analysis of V2V Communications in High Velocity Context." *IEEE*. 2009
- [9] Titiek Suryani, Gamantyo Hendratoro, "ICI Mitigation with CFO compensation for OFDM in Mobile-to-Mobile Channel." ICTC 2011, Seoul, South Korea
- [10] Siva Kum ar Redd y, Dr.B.Lakshmi,"*Adaptive Modulation and Coding wit Chann l St te Infor ation in OFDM forW i MAX*", *I. J. Image, Graphic, and Signal Processing*,2015
- [11] Proakis, John. G, Salehi Masoud, *Digital Communication Fifth Edition*, Mc Graw-Hill Higher Education. 2008.