

Pengaruh *Link Relay* Terhadap Kinerja Komunikasi Kooperatif *Vehicle-to-Vehicle (V2V)*

ISNAN MUHARRAM, RAMZI ADRIMAN, NASARUDDIN NASARUDDIN*

Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

Email: isnan.m@mhs.unsyiah.ac.id, *nasaruddin@unsyiah.ac.id

**corresponding Author*

Received 10 Juni 2021 | *Revised* 23 Juli 2021 | *Accepted* 23 Agustus 2021

ABSTRAK

Kebutuhan komunikasi bergerak saat ini sangat tinggi, Vehicular Ad-hoc Network (VANET) merupakan metode teknologi telekomunikasi untuk komunikasi bergerak pada kendaraan. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode terbaik dari komunikasi bergerak pada kendaraan dengan mempertimbangkan pengaruh Kecepatan kendaraan dan fading terhadap kinerja jaringan. Metode yang digunakan pada paper ini menggunakan jaringan single-relay yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Parameter kinerjanya adalah Bit Error Rate (BER) dan throughput untuk jaringan sistem komunikasi kooperatif Vehicle to Vehicle (V2V) dengan kondisi link relay Line of Sight (LOS) dan Non Line of Sight (NLOS). Kemudian, modulasi 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM digunakan untuk menguji parameter tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja sistem komunikasi kooperatif V2V dengan modulasi 16-QAM lebih baik dibandingkan 32-QAM dan 64-QAM untuk kondisi LOS dan NLOS. Sehingga usulan penelitian ini dapat menjadi solusi untuk perkembangan sistem komunikasi kooperatif V2V.

Kata kunci: VANET, V2V, Link relay, Bit Error Rate (BER), Throughput.

ABSTRACT

The need for mobile communication is currently very high; vehicular Ad-hoc Network (VANET) is the telecommunications technology method for mobile communication in vehicles. This research was conducted to obtain the best mobile communication method in vehicles by considering the effect of vehicle speed and fading on network performance. The method used in this paper uses a single-relay network which is simulated using MATLAB software. The performance parameters are Bit Error Rate (BER) and Throughput for the Vehicle to Vehicle (V2V) cooperative communication system network with Line of Sight (LOS) and Non-Line of Sight (NLOS) link relay conditions. Then, 16-QAM, 32-QAM, and 64-QAM modulations were used to test these parameters. The simulation results show that the performance of the V2V cooperative communication system with 16-QAM modulation is better than 32-QAM and 64-QAM for LOS and NLOS conditions so that this research proposal can be a solution for the development of a V2V cooperative communication system.

Keywords: VANET, V2V, link relay, Bit Error Rate (BER), Throughput.

1. PENDAHULUAN

Pada era sekarang ini, sistem komunikasi sangat berperan penting dalam setiap kegiatan yang kita lakukan dan juga komunikasi diharapkan dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja seperti *browsing, chatting, email*, dan sebagainya. Pada umumnya, aktivitas yang dilakukan oleh manusia selalu berpindah-pindah dari satu tempat ke tempat yang lain dengan mobilitas yang tinggi baik menggunakan kendaraan maupun berjalan kaki. Maka, teknologi komunikasi yang digunakan harus dapat mendukung setiap kegiatan komunikasi digital dengan mobilitas yang tinggi tersebut, khususnya komunikasi yang dilakukan dengan berkendaraan. Komunikasi kendaraan mempunyai keterbatasan kinerja yang disebabkan *multipath fading* pada kanal nirkabel, kecepatan kendaraan dan kualitas *link* komunikasi.

Atas dasar permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mendesain infrastruktur komponen komunikasi data supaya dapat memaksimalkan komunikasi *mobile* dimana faktor *fading*, kecepatan kendaraan, kondisi *link relay* menjadi faktor utama **(Akhyar, dkk, 2017)** **(Nasaruddin, dkk, 2017)**. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan sistem komunikasi kooperatif. Pada sistem komunikasi kooperatif, sumber dapat mengirimkan informasi secara langsung ke tujuan dan ke *relay* yang berada didekatnya untuk diteruskan ke tujuan, sehingga dapat mengurangi pengaruh *fading* dan dapat meningkatkan kinerja sistem komunikasi bergerak dengan mobilitas tinggi **(Belmekki, dkk, 2021)**. Dengan demikian, sistem komunikasi kooperatif bisa digunakan pada komunikasi kendaraan seperti pada *Vehicular Ad-hoc Network* (VANET). VANET istilah dari jenis khusus *wireless mode ad hoc* dalam desain jaringan untuk kendaraan. Kenyamanan serta keamanan yang diberikan bagi pengemudi dan penumpang menjadi tujuan utama. Aplikasi VANET yang potensial untuk mendesain sistem transportasi perkotaan berbasis jaringan sensor nirkabel telah dikembangkan pada **(Hu, dkk, 2015)**, menggunakan dua model transmit dengan dua model yaitu kepadatan dan kondisi normal untuk mekanisme pengendalian kemacetan. Sedangkan skenario dunia nyata dihasilkan dari *Simulation of Urban Mobility* (SUMO) yang dipertimbangkan untuk simulasi VANET **(Afdhal, dkk, 2019)**, dimana hasil simulasi menunjukkan bahwa, mekanisme kontrol kecepatan data bekerja lebih baik daripada pengiriman data tanpa kontrol kecepatan data.

Penelitian-penelitian yang membahas tentang komunikasi kooperatif VANET telah ada sebelumnya tetapi masih sedikit pada literatur dan masih bersifat umum, seperti isu penelitian, arsitektur, metodologi, tantangan dan tren penelitian untuk masa depan **(Ahmed & Gharavi, 2018)** **(Bintoro, 2021)**. Penelitian sebelumnya yang dilakukan adalah mengkaji *handover* dari suatu proses pengiriman informasi, dimana pada VANET, proses *handover* perlu dilakukan karena mobilitas kendaraan dan pergerakan atau perpindahan lokasi tanpa bisa diprediksi **(Liang, dkk, 2015)**. Penelitian lain sebelumnya **(Abraham & Narayanan, 2014)** membahas pendekatan komunikasi kooperatif pada jaringan kendaraan, dimana sistem komunikasi kooperatif *vehicle* menunjukkan hasil yang efektif untuk menghindari kecelakaan dan kepadatan lalu lintas. Kemudian, sistem komunikasi kendaraan yang menggunakan teknik kooperatif untuk sistem sensor nirkabel yang dipasang di jalan raya untuk meningkatkan keamanan dalam berkendara **(Li, dkk, 2017)**. Hasil penelitian **(Li, dkk, 2017)** menunjukkan bahwa penggunaan teknik kooperatif pada jaringan sensor dapat meningkatkan kecepatan transfer data dan efisiensi energi pada sistem. Penerapan teknologi kooperatif untuk VANET juga telah dilakukan pada **(Zhang, dkk, 2018)** untuk mendapatkan penguatan kapasitas dan meningkatkan keandalan komunikasi kendaraan pada perubahan kecepatan berdasarkan protokol *relay* yang berbeda.

Paper ini menganalisis pengaruh kondisi *link relay* terhadap kinerja sistem komunikasi kooperatif V2V. Kemudian, paper ini mempertimbangkan model jaringan *single-relay* untuk komunikasi kooperatif V2V menggunakan modulasi 16-QAM, 32-QAM, dan 64 QAM seperti pada **(Noby Babir, dkk, 2019)**. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan kontribusi dalam peningkatan kinerja sistem jaringan telekomunikasi yang digunakan pada sistem transportasi karena kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) **(Stadler, dkk, 2017)** pada sistem komunikasi V2V yang diakibatkan oleh kecepatan kendaraan yang berubah-ubah. Selanjutnya, sistem komunikasi V2V mengalami perubahan secara kontinyu dengan asumsi awal bergerak sampai terjadi kepadatan di suatu tempat pengguna. Untuk itu, paper ini memodelkan sistem komunikasi kooperatif V2V melalui metode *single-relay* untuk mengevaluasi kinerja *Bit Error Rate* (BER) dan *throughput* berdasarkan kondisi kanal komunikasi dengan tipe modulasi yang berbeda (16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM). Kinerja tersebut dievaluasi dengan simulasi dan analisis numerik menggunakan pemrograman *Matlab*. *Data rate* yang dipertimbangkan pada simulasi adalah 24 Mbps untuk kondisi normal pada komunikasi VANET, yang mengacu pada **(Patil, dkk, 2019)**. Selanjutnya, hasil simulasi kinerja sistem komunikasi kooperatif V2V dibanding berdasarkan tipe modulasi untuk masing-masing kondisi kanal LOS dan NLOS. Terakhir, hasil simulasi dianalisis untuk mendapatkan metode terbaik dengan mempertimbangkan pengaruh jarak sumber ke *relay*, nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan kecepatan kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Model Topologi Jaringan

Paper ini mengkaji model jaringan kooperatif V2V dengan *relay* seperti ditunjukkan Gambar 1. Rancangan jaringan sesuai model kondisi lingkungan *vehicle* dengan adanya kepadatan pada suatu *node*. Komponen dengan beberapa *node* dimana *node* sumber (*S*), *node relay* (*V1*), dan *node* tujuan (*D*). Jaringan kooperatif V2V pada proses sinyal informasi dikirim secara *broadcast*, *relay* menerima sinyal dari sumber dan kemudian informasi diteruskan ke tujuan.

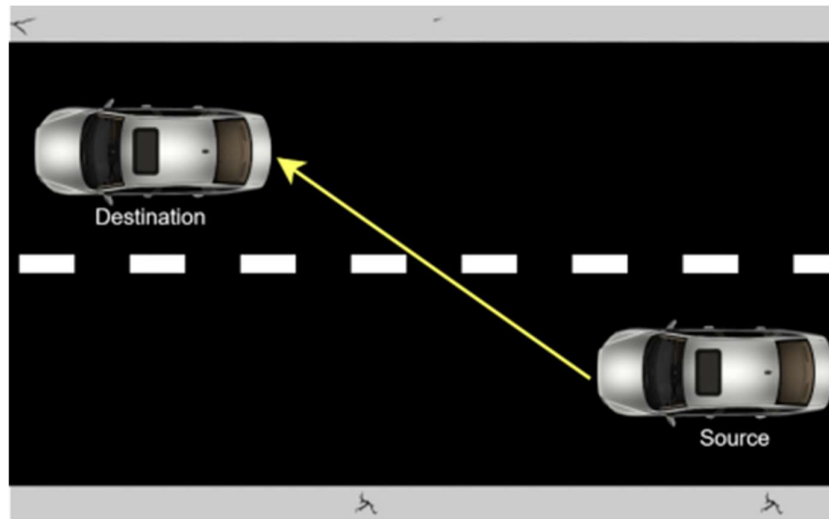
Sinyal informasi ditransmisikan secara langsung dan melalui perangkat *relay* ke tujuan dapat dituliskan dengan Persamaan (1), (2) dan (3):

$$y_{S,D} = h_{S,D}x_s + n_{S,D} \quad (1)$$

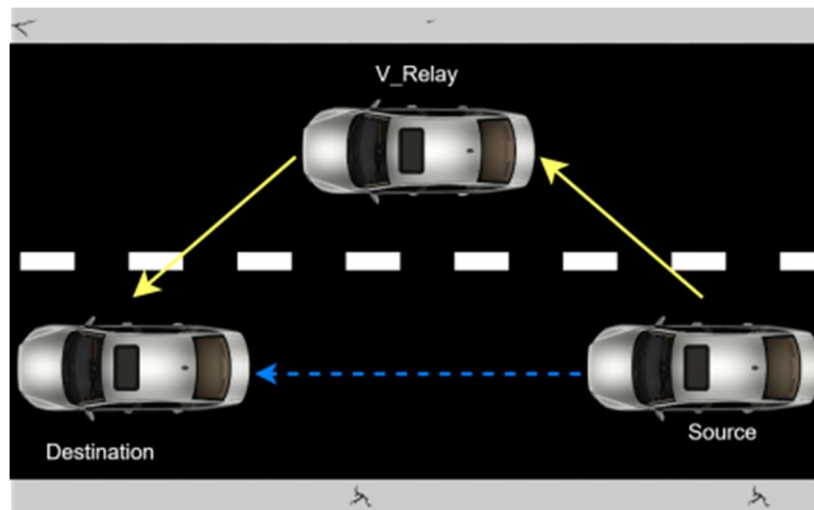
$$y_{S,R} = h_{S,R}x_s + n_{S,R} \quad (2)$$

$$y_{R,D} = h_{R,D}x_r + n_{R,D} \quad (3)$$

Sistem komunikasi kooperatif VANET V2V menggunakan tiga jenis modulasi yaitu 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM pada model jaringan *single-relay*. Model *single-relay* ini bekerja dengan cara sinyal informasi diterima dari sumber dalam bentuk data bit. Notasinya adalah informasi (x_s) dikirim melalui *link* (*S,D*) serta ke *relay* (*S,R*). Informasi yang diterima pada tujuan dilambangkan dengan ($y_{S,D}$) yang dipengaruhi oleh ($h_{S,D}$) atau disebut juga dengan koefisien *fading* dari *source* ke *destination* dan penjumlahan ($n_{S,D}$) atau disebut juga *Adaptive White Gaussian Noise* (AWGN) dari *source* ke *destination*.



(a) Jaringan *Direct-Link*



(b) Jaringan *Single-Relay*

Gambar 1. Model Jaringan Komunikasi Kooperatif V2V

Tahap kedua informasi akan dikirimkan dari *source* ke *relay* ($y_{S,R}$) yang dipengaruhi oleh ($h_{S,D}$) dan ($n_{S,R}$). Pada tahap selanjutnya, *relay* akan mengirimkan bit informasi langsung ke tujuan ($y_{R,D}$) yang dipengaruhi oleh koefisien *fading* ($h_{R,D}$) dan penambahan *noise* ($n_{R,D}$). Pada proses ini akan menggunakan nilai yang sudah dirumuskan sebelumnya dengan menggunakan aplikasi *Matlab* untuk melihat pengaruh kecepatan kendaraan terhadap kendaraan yang lain berdasarkan kondisi *link relay* (Ali, 2013).

2.2 Prosedur Simulasi

2.2.1 Parameter Simulasi

Parameter untuk simulasi yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari jumlah bit data terkirim. Jumlah bit data tersebut adalah 100 Kb dengan sistem komunikasi sesuai pertimbangan pertukaran informasi yang besar. Jumlah *node relay* merupakan *point* penting parameter dalam simulasi lebih dari satu. Jarak *link* sumber ke *relay* atau *relay* ke tujuan dalam

rasio 0.1 – 1.0. Artinya jika jarak *real link* sumber ke tujuannya adalah 500 m, maka jarak pada rasio 0.1 adalah 50 m, sedangkan rasio jarak 0.5 dengan jarak *real*-nya adalah 250 m, dan seterusnya. Adapun parameter-parameter lain yang lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

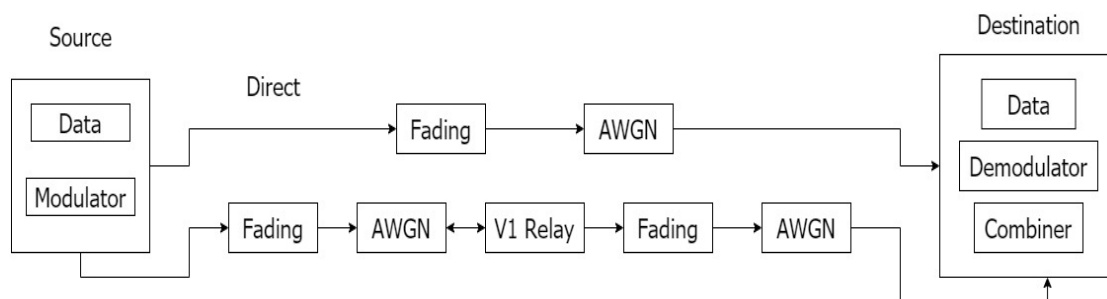
Tabel 1. Parameter-Parameter Simulasi

No	Parameter	Keterangan
1	Jumlah bit data	100 Kb
2	Model kanal	<i>Rayleigh fading</i> dan <i>Rician Fading</i>
3	Jumlah sumber	1
4	Jumlah <i>relay</i>	1
5	Jumlah tujuan	1
6	Teknik modulasi	16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM
7	Protokol <i>relay</i>	Amplify and Forward (AF)
8	Jarak sumber – <i>relay</i> - tujuan	Tetap dan bergerak
9	Rasio jarak	0.1 – 1.0
10	<i>Data rate</i>	24 Mbps
11	SNR (dB)	0 – 10 db

2.2.2 Pembuatan *Source Code*

Pembuatan *source code* dilakukan secara bertahap yang dimulai dengan memodelkan jaringan kooperatif, kemudian dikembangkan menjadi jaringan kooperatif V2V, selanjutnya membuat model *single-relay* dan *direct-link*. *Source code* model jaringan yang dihasilkan juga mempertimbangkan parameter simulasi yang ada pada Tabel 1, yaitu: model kanal *rayleigh fading* dan *rician fading*, penambahan *noise* AWGN, teknik modulasi digital yang digunakan dalam pengiriman data bit QAM, sampai kepada jarak antara sumber, *relay*, dan tujuan yang diskenariokan secara tetap dan acak. Dari *source code* yang telah ditulis inilah proses simulasi kemudian dilakukan.

2.2.3 Sistem Simulasi



Gambar 2. Blok Diagram Simulasi

Pada Gambar 2 merupakan proses tahapan simulasi sebagai berikut :

- Source* akan mengirimkan bit data yang telah termodulasi dengan teknik QAM secara *broadcast* kepada *node relay* (V1) yang berada di dekatnya dan tujuan, data yang diterima oleh *relay* akan dipengaruhi oleh *noise* AWGN dan *fading*. Teknik modulasi QAM pada penelitian ini menggunakan modulasi 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM.

- b. Pada tahap berikutnya proses penguatan pada data yang diterima oleh *relay* untuk mengurangi kerusakan. Kemudian data tersebut diteruskan oleh *relay* ke tujuan.
- c. Tahap terakhir adalah sinyal diterima oleh tujuan (*destination*). Pada tujuan, sebuah *combiner* akan melakukan penggabungan data yang diterima dari sumber dan *relay*, kemudian dilakukan proses demodulasi sehingga data asli sesuai yang dikirimkan oleh sumber.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

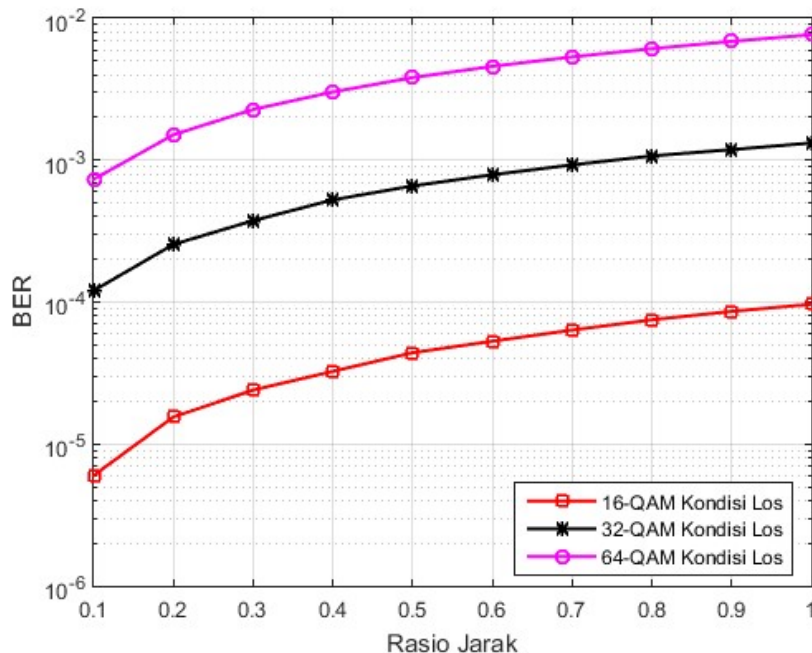
3.1 Bit Error Rate (BER)

BER dihitung berdasarkan kondisi *link relay*: LOS dan NLOS, dan beberapa jenis modulasi: 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM dalam model jaringan kooperatif VANET. Pada simulasi, BER dihitung berdasarkan perbandingan jumlah bit yang salah dengan jumlah bit yang dikirim oleh sumber dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$BER = \frac{\text{Total bit yang salah}}{\text{Total bit yang dikirim}} \tag{4}$$

3.1.1 BER Berdasarkan Rasio Jarak

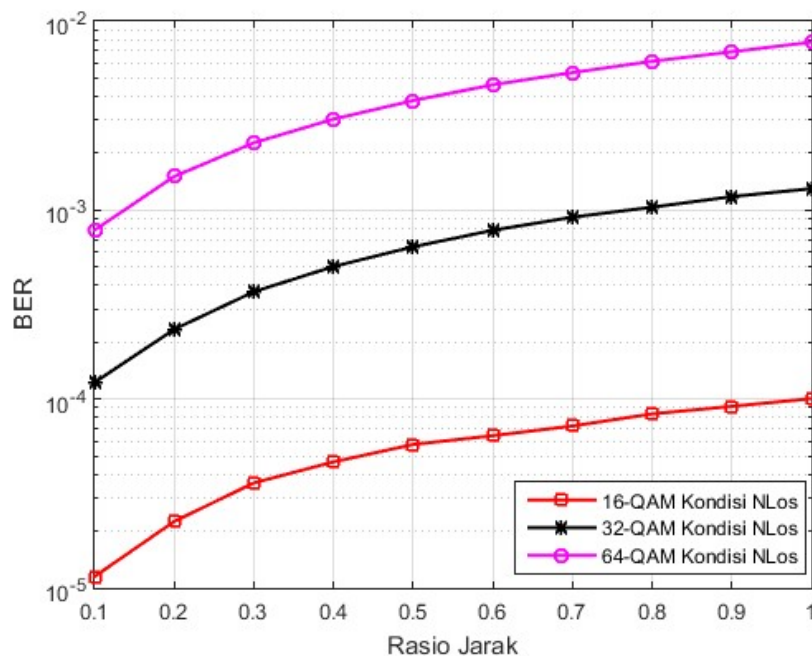
Simulasi sistem komunikasi kooperatif V2V pada parameter BER berdasarkan jarak dengan model jaringan *single-relay* kondisi *link* LOS dan NLOS hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut menunjukkan penggunaan modulasi 16-QAM lebih baik dari penggunaan modulasi 32-QAM dan 64-QAM.



Gambar 3. BER terhadap Jarak pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LOS

Pada Gambar 3 dapat dilihat grafik perbandingan kinerja dari tiga jenis modulasi dengan kondisi *link* LOS, didapatkan nilai rata-rata dari modulasi 16-QAM=5,42 × 10⁻⁵, modulasi 32-QAM=7,11 × 10⁻⁴ dan 64-QAM=4,20 × 10⁻³. Berdasarkan hasil yang didapatkan bisa dilihat

bahwa nilai dari kualitas setiap modulasi yang digunakan untuk analisis kinerja sistem komunikasi kooperatif V2V, dimana modulasi 16-QAM terbaik kinerjanya dari pada modulasi 32-QAM dan 64-QAM.



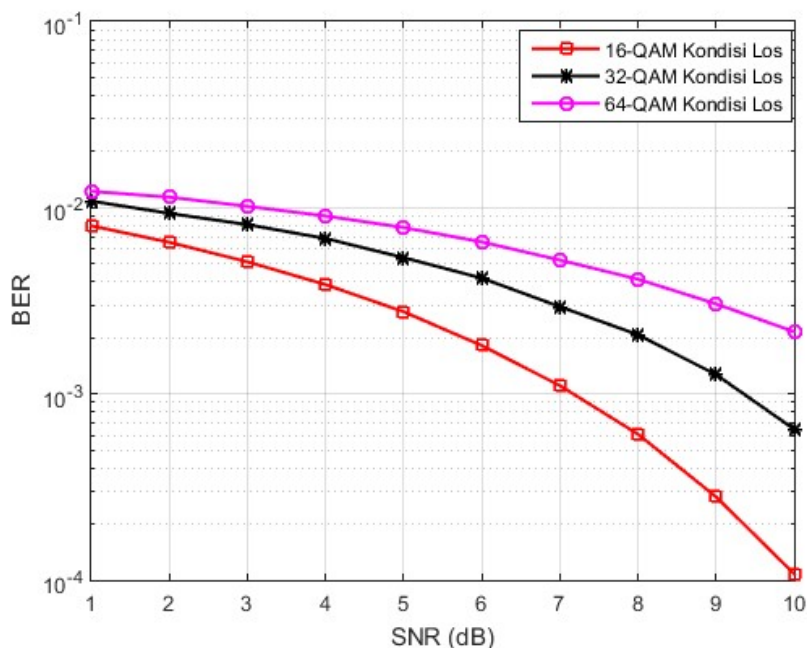
Gambar 4. BER terhadap Jarak pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLOS

Gambar 4 menunjukkan grafik hasil simulasi sistem komunikasi kooperatif V2V untuk jaringan *single-relay* pada kondisi *link* NLOS dengan tiga jenis modulasi yang digunakan, berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata untuk setiap modulasi adalah 16-QAM= $5,71 \times 10^{-5}$, 32-QAM= $7,24 \times 10^{-4}$ dan 64-QAM= $4,19 \times 10^{-3}$. Dari nilai yang didapatkan bahwa modulasi 16-QAM memiliki kinerja terbaik di antara modulasi lainnya.

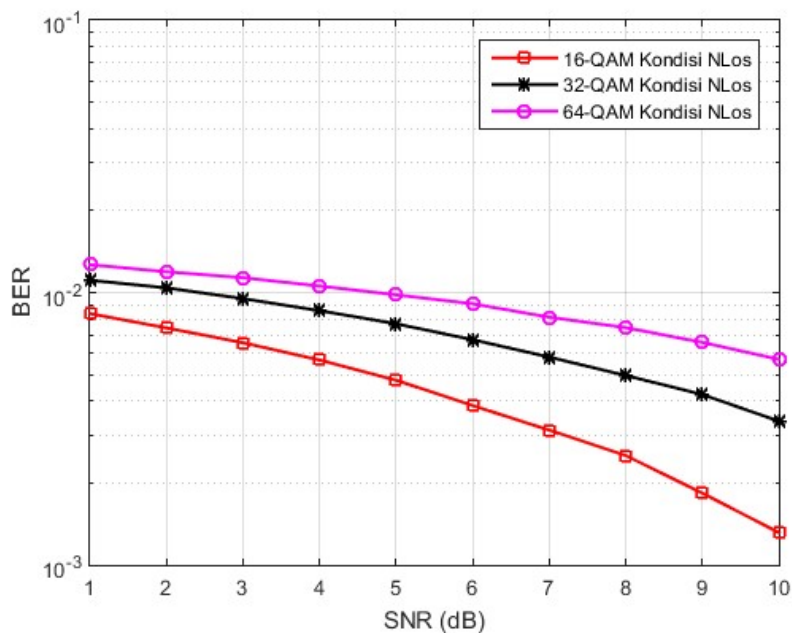
3.1.2 BER Berdasarkan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Hasil simulasi BER berdasarkan SNR dengan model jaringan *Single-relay* dari tiga jenis modulasi yang digunakan 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM dengan kondisi *link* LOS dan NLOS dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Gambar 5 adalah hasil simulasi sistem komunikasi VANET V2V dari modulasi 16-QAM, modulasi 32-QAM dan modulasi 64-QAM pada saat kondisi *link* LOS dengan parameter BER berdasarkan SNR, dari grafik didapatkan hasil simulasi bahwa kinerja modulasi 16-QAM menjadi yang terbaik dibandingkan dengan modulasi 32-QAM dan 64-QAM, nilai rata-rata dari tiap model modulasi ialah 16-QAM= $3,03 \times 10^{-3}$, 32-QAM= $5,18 \times 10^{-3}$ dan 64-QAM= $7,19 \times 10^{-3}$. Dari hasil yang ditunjukkan modulasi 16-QAM menjadi modulasi dengan kinerja yang paling baik digunakan untuk sistem komunikasi kooperatif V2V.



Gambar 5. BER terhadap SNR pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LOS

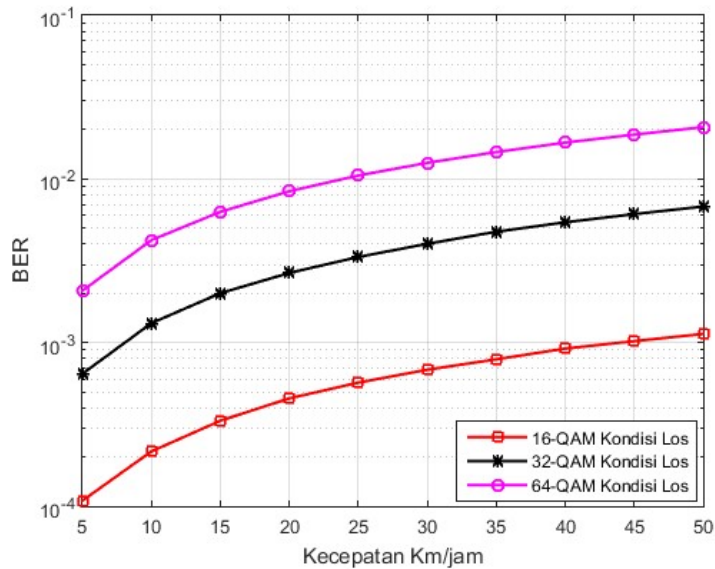


Gambar 6. BER terhadap SNR pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLOS

Pada simulasi BER berdasarkan SNR pada model jaringan *single-relay* dengan kondisi NLOS didapat hasil sebesar $4,54 \times 10^{-3}$ menggunakan modulasi 16-QAM, $7,26 \times 10^{-3}$ menggunakan modulasi 32-QAM, dan $9,31 \times 10^{-3}$ menggunakan modulasi 64-QAM, seperti pada Gambar 6. Dari nilai rata-rata yang didapatkan modulasi 16-QAM menjadi modulasi yang terbaik untuk sistem komunikasi kooperatif V2V.

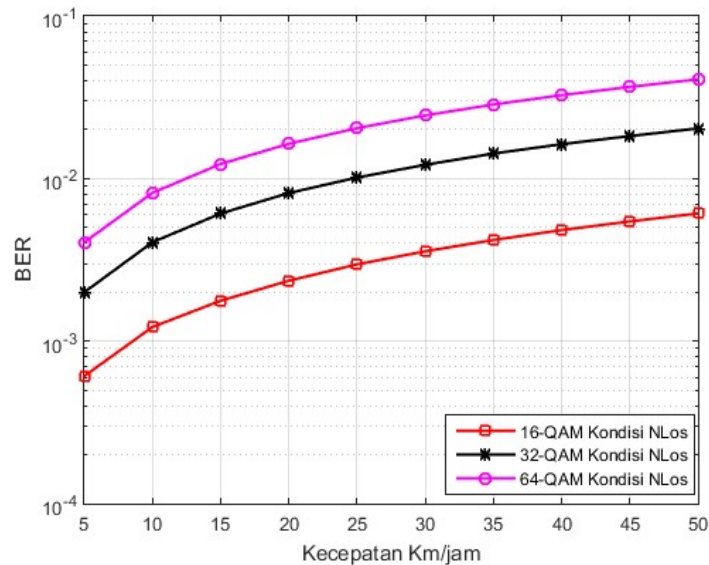
3.1.3 BER Berdasarkan Kecepatan

Simulasi BER berdasarkan kecepatan kendaraan dengan model jaringan *single-relay* dari tiga jenis modulasi yang digunakan pada saat kondisi *link* LOS dan NLOS dapat dilihat hasil sebagai berikut :



Gambar 7. BER terhadap Kecepatan Kendaraan pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LOS

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi BER berdasarkan kecepatan kendaraan pada model jaringan *single-relay* dengan kondisi LOS didapat hasil sebesar $6,40 \times 10^{-4}$ untuk modulasi 16-QAM $3,73 \times 10^{-3}$ untuk modulasi 32-QAM dan $1,15 \times 10^{-2}$ untuk modulasi 64-QAM. Dari nilai rata – rata yang didapat penggunaan modulasi 16-QAM menjadi modulasi yang terbaik sebagai modulasi sistem komunikasi kooperatif V2V.



Gambar 8. BER terhadap Kecepatan Kendaraan pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLOS

Gambar 8 adalah hasil simulasi model jaringan *single-relay* pada kondisi *link* NLOS pada parameter BER berdasarkan kecepatan, modulasi 16-QAM memiliki kinerja terbaik dibandingkan modulasi 32-QAM dan 64-QAM dengan nilai rata-rata adalah $3,93 \times 10^{-3}$, sedangkan nilai rata-rata modulasi 32-QAM= $2,28 \times 10^{-2}$ dan 64-QAM= $5,78 \times 10^{-2}$. Dari nilai rata-rata yang didapat penggunaan modulasi 16-QAM menjadi modulasi yang terbaik sebagai modulasi sistem komunikasi kooperatif V2V.

3.2 Throughput

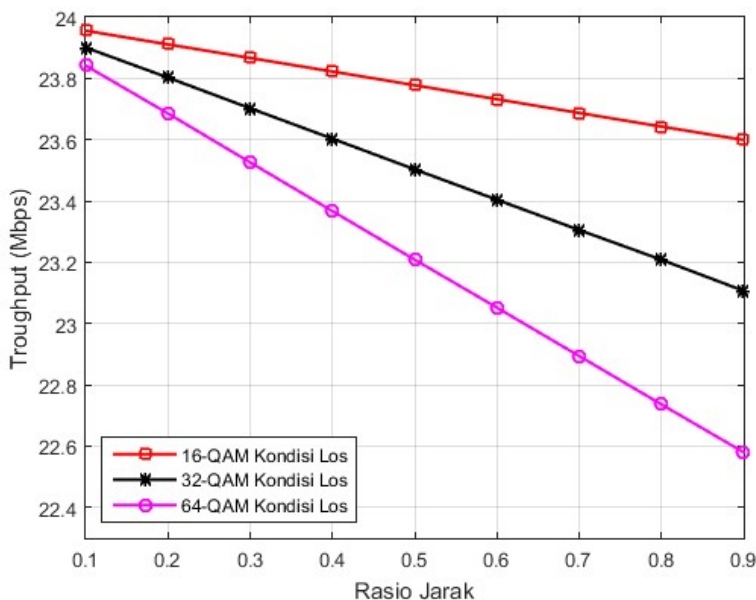
Throughput merupakan banyaknya jumlah informasi yang dapat dikirimkan oleh sumber ke tujuan dengan banyaknya jumlah paket data setiap satuan waktu. *Throughput* dihitung berdasarkan jumlah informasi yang ditransmisikan setiap detik ke penerima berdasarkan rasio jarak, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan kecepatan kendaraan. *Throughput* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Throughput} = (1 - \text{BER}) \times r \tag{5}$$

dimana r adalah *bit rate*.

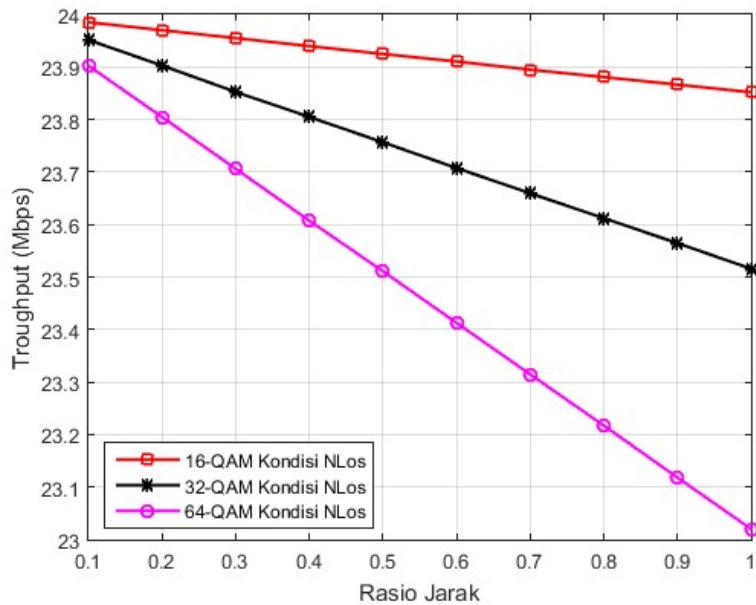
3.2.1 Throughput Berdasarkan Rasio Jarak

Gambar 9 merupakan hasil simulasi *throughput* berdasarkan jarak dengan model jaringan *single-relay* dari tiga jenis modulasi yang digunakan dalam kondisi *link* LOS dan NLOS.



Gambar 9. Throughput terhadap Jarak pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LOS

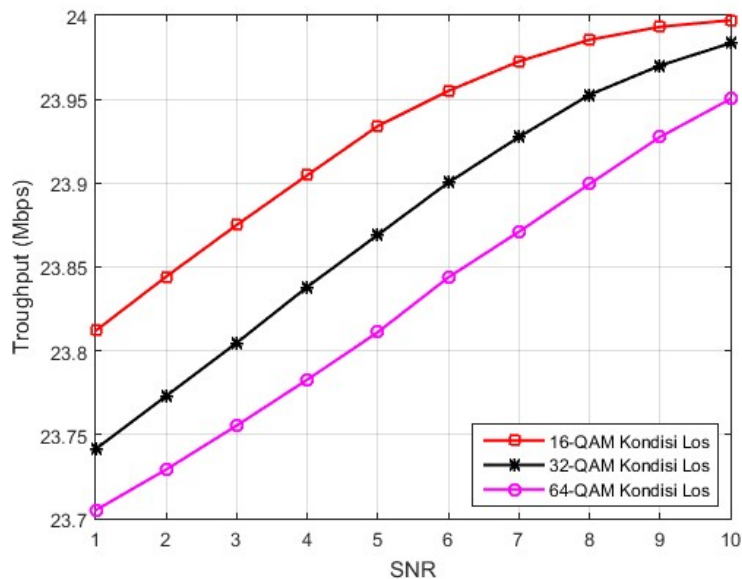
Gambar 9 dan 10 merupakan hasil simulasi sistem komunikasi VANET V2V dengan model *single-relay* pada saat kondisi *link* LOS dan NLOS, parameter *throughput* berdasarkan rasio jarak dijadikan acuan untuk melihat perbandingan kinerja dari tiga modulasi, dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan nilai pada kondisi *link* LOS ialah 16-QAM=23,754 Mbps, 32-QAM =23,449 Mbps dan 64-QAM=23,131 Mbps, dan pada kondisi *link* NLOS ialah 16-QAM=23,916 Mbps, 32-QAM=23,733 Mbps dan 64-QAM=23,457 Mbps. Berdasarkan nilai rata-rata yang didapatkan dari kedua kondisi tersebut kinerja dari modulasi 16-QAM menjadi modulasi terbaik untuk penerapan sistem komunikasi kooperatif V2V.



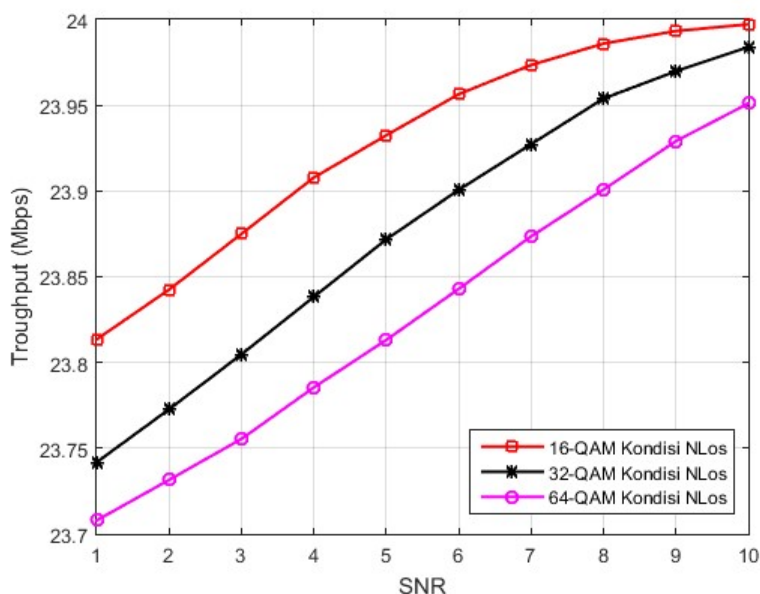
Gambar 10. Throughput terhadap Jarak pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLoS

3.2.2 Throughput Berdasarkan Signal to Noise Ratio

Hasil simulasi *throughput* berdasarkan SNR dengan model jaringan *single-relay* dengan kondisi LOS dan NLoS dengan menggunakan tiga jenis modulasi, dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Throughput terhadap SNR pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LoS



Gambar 12. Throughput terhadap SNR pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLOS

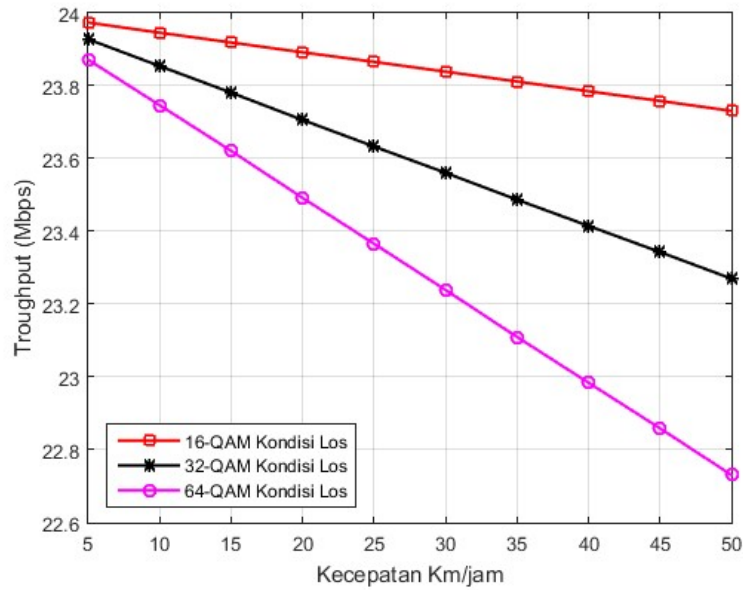
Hasil simulasi sistem komunikasi VANET V2V model jaringan *single-relay* pada kondisi LOS dan NLOS dengan parameter *throughput* berdasarkan SNR, seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12. Pada simulasi, kedua sistem menggunakan tiga jenis modulasi sebagai perbandingan untuk melihat kinerja terbaik dari setiap modulasi. Hasil simulasi didapat nilai rata-rata dari setiap modulasi pada kondisi LOS ialah 16-QAM=23,927 Mbps, 32-QAM=23,875 Mbps, dan 64-QAM=23,827 Mbps. Sedangkan pada kondisi NLOS didapat nilai rata-rata 16-QAM=23,928 Mbps, 32-QAM=23,876 Mbps dan 64-QAM=23,828 Mbps. Adapun hasil tersebut menunjukkan bahwa modulasi 16-QAM menjadi modulasi terbaik untuk penerapan pada sistem komunikasi kooperatif V2V.

3.2.3 Throughput Berdasarkan Kecepatan

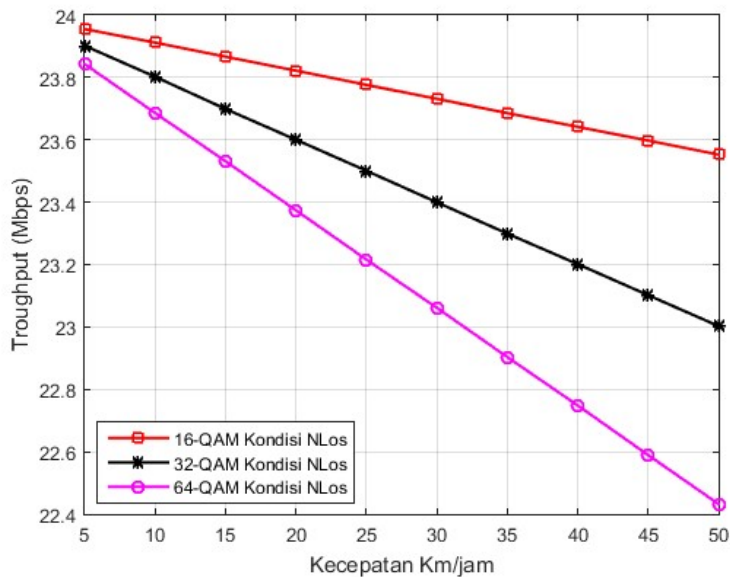
Hasil simulasi *throughput* berdasarkan kecepatan kendaraan pada jaringan *single-relay* dengan kondisi LOS dan NLOS dan menggunakan tiga jenis modulasi yaitu 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM dapat dilihat hasil grafik pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Gambar 13 dan Gambar 14 adalah grafik hasil simulasi sistem komunikasi kooperatif V2V dengan perbandingan tiga jenis modulasi. Hasil simulasi yang telah didapatkan dari parameter *throughput* berdasarkan jarak dengan tiga modulasi 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM pada kondisi LOS dan NLOS: rata-rata *throughput* pada kondisi LOS untuk 16-QAM=23,848 Mbps, 32-QAM=23,605 Mbps dan 64-QAM=23,238 Mbps, sedangkan rata-rata *throughput* pada kondisi NLOS untuk 16-QAM=23,755 Mbps, 32-QAM=23,446 dan 64-QAM=23,140 Mbps. Nilai yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa modulasi 16-QAM menjadi modulasi terbaik untuk digunakan pada sistem komunikasi kooperatif V2V karena *throughput* rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan 32-QAM dan 64-QAM. Jumlah bit dalam simbol dalam 16-QAM lebih sedikit dibandingkan dengan 32-QAM dan 64-QAM, sehingga tingkat kesalahan bit lebih sedikit maka *throughput* menjadi lebih tinggi. Secara umum, kinerja sistem komunikasi kooperatif V2V pada kondisi LOS lebih baik dibandingkan dengan kinerja pada kondisi NLOS, karena pada kondisi LOS sumber dapat mengirimkan informasi secara langsung atau tanpa ada penghalang ke *relay* atau tujuan sehingga tingkat BER menjadi kecil dan *throughput* yang

dihasilkan menjadi lebih tinggi. Sebaliknya pada kondisi NLOS, sumber mengirim informasi tidak secara langsung ke *relay* atau tujuan yang mengakibatkan nilai BER menjadi tinggi dan *throughput* menjadi lebih rendah.



Gambar 13. Throughput terhadap Kecepatan pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi LOS



Gambar 14. Throughput terhadap Kecepatan Kendaraan pada Sistem Komunikasi Kooperatif V2V Kondisi NLOS

4. KESIMPULAN

Paper ini telah menganalisis kinerja dari jaringan komunikasi kooperatif *Vehicle to Vehicle* (V2V) untuk model jaringan *single-relay* dengan tiga jenis modulasi: 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM. Kinerja jaringan *single-relay* V2V dengan jenis modulasi yang berbeda untuk kondisi LOS dan NLOS telah dilakukan melalui simulasi komputer. Hasil simulasi *Bit Error Rate* (BER) dan *throughput* yang telah dilakukan didapatkan bahwa modulasi 16-QAM adalah modulasi yang terbaik kinerjanya pada sistem komunikasi kooperatif V2V. Kemudian, dua kondisi *link relay* LOS dan NLOS telah dianalisis dan didapatkan bahwa kondisi *link relay* LOS lebih baik dari kondisi *link relay* NLOS berdasarkan dari nilai BER dan *throughput*. Dengan demikian, hasil kinerja yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem VANET berbasis V2V pada jaringan kooperatif lebih sesuai menerapkan jenis modulasi 16-QAM baik dalam kondisi LOS maupun NLOS.

DAFTAR RUJUKAN

- Abraham, T. S., & Narayanan, K. (2014). Cooperative Communication for Vehicular Networks. *IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*, (pp. 1163-1167).
- Afdhal, A., Ahmadiar, A., & Nasaruddin, N. (2019). V2V Mobility Modeling and Simulation Using PBC Messages for Traffic Congestion Mitigation. *2018 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, (pp. 28-33)
- Ahmed E., & Gharavi, H. (2018). Cooperative Vehicular Networking: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *19*(3), 996-1014.
- Akhyar, F., Nasaruddin, N., & Muharar, R. (2017). Efisiensi Energi Sistem Komunikasi Kooperatif *Multi-Relay Quantize and Forward* Berdasarkan Pemilihan Relay. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi* (Jnteti), *6*(1), 66–73.
- Ali, I. (2013). Bit-Error-Rate (BER) Simulation Using Matlab. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *3*(1), 706–711.
- Belmekki, B.E.Y., Hamza, A., & Escrig, B. (2021). Performance analysis of cooperative communications at road intersections using stochastic geometry tools. *Digital Signal Processing*, *116*, 103112.
- Bintoro, K.B.Y. (2021). A Study of V2V Communication on VANET: Characteristic, Challenges and Research Trends. *JISA (Jurnal Informatika dan Sains)*, *4*(1), 46-58.
- Hu, X., Yang, L., & Xiong, W. (2015). A Novel Wireless Sensor Network Frame for Urban Transportation. *IEEE Internet of Things Journal*, *2*(6), 586–595.
- Liang, W., Li, Z., Zhang, H., Wang, S., & Bie, R. (2015). Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, And Trends. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015, 17.

- Li, H., Yang, Y., Qiu, X., Gao, Z., & Ma, G. (2017). Cooperative *Relay* Selection and Forwarding in Vehicle-To-Infrastructure Communications. *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, (pp. 1-5).
- Nasaruddin, N., Kurnia, R., & Adriman, R. (2017). Efisiensi Daya Protokol Quantize and Forward Pada Sistem Komunikasi Kooperatif Multi-*relay*. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, *13*(1), 57-64.
- Noby Babir, M. R., Arefeen Al Mahmud, S. & Mostary, T. (2019). Efficient M-QAM Digital Radio over Fiber System for Vehicular ad-hoc Network. *2019 International Conference on Robotics,Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, (pp. 34-38).
- Patil, A., Deeksha, M., Shekar, N., Shet, V., & Kulkarni, M. (2019). Transmit Data Rate Control Based Decentralized Congestion Control Mechanism for Vanets. *2019 International Conference On Data Science and Communication*, (pp. 1–5).
- Stadler, C., Gruber, T., German, R., & Eckhoff, D. (2017). A Line-of-Sight probability model for VANETs. *2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, (pp. 466-471).
- Zhang, H., Lin, F., Chen, H., & Lu, W. (2018). An adaptive cooperative communication scheme about opportunity and SER analysis in VANETs*. *2018 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, (pp. 1450-1453).