

Analisis Implementasi *Channel Coding* pada OFDM untuk Mitigasi Efek Doppler di Lingkungan VANET

¹Rizkha Ajeng Rochmatika, ²Vinda Setya Kartika

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
E-mail : ¹rizkha@polines.ac.id, ²vinda_sk@polines.ac.id

Abstrak

Efek Doppler dapat menyebabkan time dan frekuensi selektif fading pada lingkungan VANET. Kondisi itu terjadi karena pergerakan kanal yang mudah berubah-ubah sehingga menyebabkan *time-varying channel* dan *Doppler Spread* menjadi lebih besar daripada periode simbol. Akibatnya, dapat merusak orthogonalitas antar subcarrier pada sistem OFDM yang menimbulkan ICI (*Inter-Carrier-Interference*) dan menurunkan BER (*bit error ratio*). Pada penelitian ini mengusulkan skema modulasi adaptif dengan *channel coding* berdasarkan perubahan gain kanal sesaat yang terkena fading pada setiap subcarriernya. Hal itu bertujuan untuk meningkatkan nilai BER dan kapasitas kanal dalam sistem. Simulasi yang dilakukan dengan menguji modulasi adaptif pada tiga *threshold* dengan variasi frekuensi Doppler. Level *threshold* yang digunakan adalah 0.2 dan 0.4, 0.3 dan 0.5, serta 0.5 dan 0.7. Hasil simulasi menunjukkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding* memiliki nilai SNR terendah dibandingkan dengan modulasi non-adaptif BPSK, QPSK, dan 16-QAM) yaitu membutuhkan SNR sebesar 16dB untuk mencapai BER 10^{-3} . Sementara hasil uji *threshold* pada modulasi adaptif menunjukkan bahwa penetapan *threshold* 0.2 dan 0.4 menghasilkan kinerja BER yang optimal karena memiliki nilai SNR terendah dibandingkan dengan dua *threshold* yang lainnya dan mengalami peningkatan kapasitas terbesar yaitu 127% dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK) pada frekuensi Doppler normalisasi, $f_d = 0.000128$.

Kata kunci : OFDM, Frekuensi Selektif Fading, Modulasi Adaptif, VANET

Abstract

The Doppler effect can cause both time and frequency selective fading in VANET because of the node mobility and time-varying channel. The significant effect is that the Doppler spread become much longer than the symbol period. Consequently, the orthogonality among subcarriers on OFDM system will no longer hold and resulting inter-carrier interference (ICI) that will decrease system performance, e.g. bit error rate (BER). In this paper, we propose adaptive modulation schemes to maintain BER with three thresholds tested. Unlike the typical scheme that transmits data with serial adaptive modulation, the proposed scheme transmits its data based on the change in the gain channel that is instantaneously attenuated on each subcarrier. The simulation is done by testing adaptive modulation on three thresholds with variation of Doppler frequency and channel coding used is Hamming Code (7,4). Level threshold used are 0.2 and 0.4, 0.3 and 0.5, 0.5 and 0.7. The simulation shows adaptive modulation with channel coding have the lowest SNR value than non-adaptive modulation. It needs 16 dB to achieve desired BER 10^{-3} . While threshold test results show the 0.2 and 0.4 threshold get optimal BER performance because it requires the lowest SNR compared with the other thresholds. In addition, we also observed the increase in system capacity comparison with Doppler variation. Adaptive modulation with threshold 0.2 and 0.4 tested get the largest increase in system capacity that is 127% compared to non-adaptive modulation (BPSK) by applying the lowest frequency Doppler normalized with $f_d = 0.000128$.

Keywords : OFDM, Frequency Selective Fading, Adaptive Modulation, VANET

I. PENDAHULUAN

VANET merupakan bagian dari teknologi *Intelligent Transport System (ITS)* yang diharapkan mampu memecahkan masalah transportasi yang sering terjadi. VANET hadir untuk meningkatkan kenyamanan dalam berkendara serta menawarkan solusi keamanan dan keselamatan transportasi publik untuk

mengurangi jumlah kemacetan dan kecelakaan lalu lintas [1]. Namun, implementasi dari sistem komunikasi VANET rentan akan dua hal yang pertama yaitu rentan terhadap frekuensi selektif fading karena kondisi *Doppler spread* yang jauh lebih besar daripada periode simbol OFDM dan kedua rentan terhadap efek Doppler yang menimbulkan *time selective* karena kondisi

lingkungan kanal yang dinamis. Sehingga hal itu mengakibatkan *orthogonalitas* antar subcarrier pada sistem OFDM terganggu dan menyebabkan terjadinya *Inter-Carrier-Interference (ICI)* antar subcarrier [2]-[3]. Lebih jelasnya ICI terjadi karena sensitif terhadap frekuensi offset yang disebabkan oleh efek Doppler pada kanal bergerak (*mobile channel*). Hal itu dapat menyebabkan *Doppler spread*. *Doppler spread* merupakan parameter yang merepresentasikan ukuran dari pelebaran spektrum karena pergerakan relatif yang disebabkan antara kanal pemancar dan penerima. *Doppler spread* akan menunjukkan informasi dari lebar spektrum sinyal yang mengganggu ortogonalitas dari *inter-subcarrier* atau yang biasa disebut sebagai ICI. Jika terjadi ICI dalam suatu sistem OFDM maka kualitas sinyal terima akan menurun dan banyak terjadi *error* pada penerima sehingga dapat menurunkan kinerja sistem itu sendiri.

Maka, peningkatan sistem komunikasi dapat dilakukan dengan teknik pengalokasian daya dan modulasi adaptif pada OFDM [4]. Pengalokasian daya bertujuan untuk mengatasi fading yang mengalami penurunan kualitas sinyal ketika sampai di penerima. Sehingga, jika suatu sistem menginginkan BER tertentu maka daya yang dikirim harus dialokasikan di tiap subcarrier sesuai dengan kondisi kanal. Misalnya modulasi orde rendah seperti BPSK, QPSK lebih tahan terhadap noise namun jumlah data yang dikirimkan sedikit. Sebaliknya modulasi 16-QAM memiliki tingkat pengiriman data yang tinggi namun mudah terkena noise. Selain itu, implementasi dari penggunaan modulasi adaptif ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem dalam hal efisiensi bandwidth, reduksi nilai SNR dan BER [5]-[6]. Pada modulasi adaptif, terjadi estimasi kanal sehingga pemilihan modulasi bisa disesuaikan dengan kondisi kanal.

Ada pun beberapa penelitian sebelumnya yaitu penelitian pertama mengenai modulasi adaptif pada sistem OFDM dilakukan pada tahun 1989 oleh Kalet dan dikembangkan oleh Chow [7] dan Czylwik [8]. Pada penelitian ini mereka menyebutkan bahwa terjadi penurunan nilai SNR sekitar 5-15 dB untuk target BER 10^{-3} jika dibandingkan dengan sistem OFDM konvensional atau tanpa teknik modulasi adaptif.

Pada penelitian [9], adaptive OFDM (AOFD) diusulkan pada kondisi kanal fading. Skema AOFD ini mengadaptasi nilai SNR tiap subcarrier, namun tidak untuk serial adaptif pada umumnya, yang mana digunakan untuk mengatasi masalah kondisi kanal fading. Hasil

yang didapatkan mendekati optimum BER untuk komunikasi generasi ke 4 (4G) jika dibandingkan dengan modulasi serial adaptif pada OFDM.

Channel tapped delay line diusulkan pada [9]-[10] untuk mensimulasi model V2V dengan skema modulasi adaptif. Penelitian tersebut melihat kecenderungan antara nilai BER yang diinginkan dengan kapasitas kanal yang didapatkan berdasarkan kondisi kanal *mobile*.

Oleh karena itu, pada penelitian ini mengusulkan implementasi modulasi adaptif pada group subcarrier OFDM [11] dengan kondisi kanal frekuensi selektif fading di lingkungan VANET [12]. Modulasi adaptif ini menerapkan skema modulasi yang berbeda-beda untuk setiap subcarrier. Tidak seperti serial adaptif pada umumnya yang menerapkan parameter sama untuk semua simbol data dalam mentransmisikan data. Selain itu, penambahan *channel coding* pada modulasi adaptif dimaksudkan untuk memitigasi efek Doppler. Sehingga, fokus pada penelitian ini adalah analisis dari BER terhadap beberapa kondisi yang mengindikasikan kinerja sistem yang diusulkan. Selain itu, ada tiga *threshold* yang diujikan untuk melihat kapasitas sistem dari penggunaan ketiga modulasi jika diaplikasikan pada modulasi adaptif.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Model Kanal

Model kanal yang diusulkan pada penelitian ini mengacu pada [13] menggunakan model kanal *multi-carrier* pada domain frekuensi untuk menunjukkan frekuensi selektif fading pada sistem OFDM. Hal itu dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 H_{n,i} &= H(nF_s, iT_s') \quad (1) \\
 &= \sum_{p=0}^{N_p-1} a_p e^{j(2\pi(f_{D,p}iT_s' - nF_s\tau_p) + \varphi_p)} \\
 &= a_{n,i} e^{j\varphi_{n,i}}
 \end{aligned}$$

Di mana, $H_{n,i}$ merupakan fungsi transfer dari kanal diskrit yang disampling pada waktu OFDM dengan simbol rate $1/T_s'$ dan frekuensi spasi subcarrier sebesar F_s . T_s' adalah total durasi waktu simbol termasuk waktu guard interval. Satu simbol yang ditransmisikan pada subcarrier atau sub-channel n dari simbol OFDM i dikalikan dan menghasilkan fading amplitudo $a_{n,i}$ yang dirotasi oleh random fasa $\varphi_{n,i}$.

Fading menyebabkan fluktuasi amplitudo dan fasa. Fading amplitudo dalam model kanal ini berdistribusi Rayleigh sedangkan random phase

$\varphi_{n,i}$ berdistribusi uniform pada interval $[0,2\pi]$. Hasil nilai kompleks dari koefisien kanal fading bersifat independen untuk setiap subcarrier dan simbol OFDM. Model kanal seperti ini disebut dengan model kanal fading tidak berkorelasi (*uncorrelated fading*).

Keuntungan dari model kanal dalam frekuensi domain untuk sistem *multicarrier* ini adalah implementasinya yang sederhana dan mengurangi kompleksitas [14].

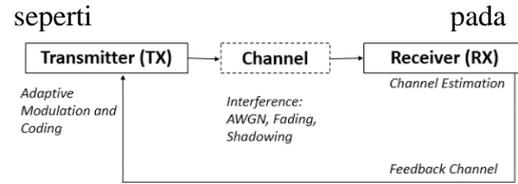
2.2 Algoritma Modulasi Adaptif

Skema modulasi adaptif dan *channel coding* yang diusulkan seperti pada ilustrasi pada **Error! Reference source not found.** Terdapat 3 modoulasi yang digunakan yaitu BPSK, QPSK, dan 16-QAM. Sedangkan *Channel coding* yang digunakan adalah kode Hamming (7,4).

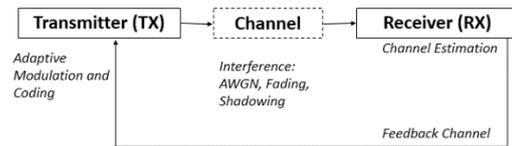
Skema modulasi adaptif dan *channel coding* yang diusulkan seperti pada ilustrasi pada **Error! Reference source not found.** Terdapat 3 modoulasi yang digunakan yaitu BPSK, QPSK, dan 16-QAM. Sedangkan *Channel coding* yang digunakan adalah kode Hamming (7,4).

Skema modulasi adaptif yang digunakan dipilih berdasarkan nilai gain kanal yang didapatkan melalui *Channel State Information* (CSI) di *transmitter*. Bagian pemancar dapat menentukan teknik modulasi yang tepat dengan efisiensi daya terbaik. Sehingga tetap memenuhi kriteria kinerja *bit error rate* yang diinginkan. Penjelasan mengenai proses sistem modulasi adaptif diuraikan sebagai berikut [15]:

- Setiap subcarrier terdiri dari variasi gain kanal yang didapatkan pada kondisi kanal saat itu, disimbolkan dengan γ .
- Bandingkan nilai gain kanal dengan level *threshold* yang ditentukan untuk setiap teknik modulasi yang digunakan. *Threshold* ditentukan berdasarkan nilai CCDF yang dihitung dari kondisi kanal pada saat itu.
- Jika nilai gain kanal lebih rendah dari level *threshold* yang ditentukan, maka modulasi orde rendah yang digunakan untuk mentransmisikan data. Sedangkan, ketika nilai gain kanal lebih tinggi dari level *threshold* yang ditentukan maka modulasi orde lebih tinggi yang digunakan untuk mengirimkan bit informasi. Skenario pembagian daerah untuk setiap *threshold* dapat dilihat



- Gambar 1. Sistem Adaptive Modulation Code [16]
- TABEL 1.



Gambar 1. Sistem Adaptive Modulation Code [16]

TABEL 1. SEKNARIO PEMBAGIAN DAERAH MODULASI ADAPTIF BERDASARKAN GAIN KANAL

Threshold	Region	Interval Gain Kanal	Modulasi
γ_1 & γ_2	Region 1	$\gamma_{BPSK} \leq \gamma_1$	BPSK
	Region 2	$\gamma_1 \leq \gamma_{QPSK} \leq \gamma_2$	QPSK
	Region 3	$\gamma_2 \leq \gamma_{16-QAM}$	16-QAM

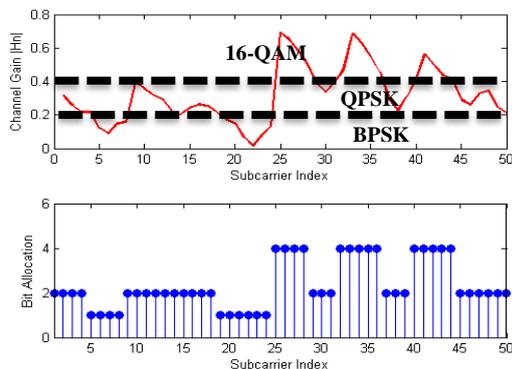
Di mana γ_1 dan γ_2 merupakan batas dari nilai gain kanal bagian bawah dan atas, sedangkan γ_{BPSK} adalah *threshold* bawah yang merupakan daerah modulasi BPSK, γ_{QPSK} yaitu *threshold* kedua yang berada di tengah dan merupakan bagian dari modulasi QPSK, γ_{16-QAM} adalah *threshold* atas yang merupakan bagian dari daerah modulasi 16-QAM.

2.3 Penentuan Threshold

Pengujian modulasi adaptif dengan variasi *threshold* dilihat dari nilai gain kanal tersebut. Gain kanal pada lingkungan VANET [16] bersifat dinamis artinya mudah berubah di setiap subcarriernya tergantung dari kondisi pada saat itu. Pada Gambar 2 menunjukkan representasi nilai gain kanal untuk menguji level *threshold* yang akan digunakan dalam sistem.

Misalnya, level *threshold* yang digunakan adalah 0.2 dan 0.4, maka dalam simulasi untuk 50 subcarrier yang dibangkitkan selanjutnya akan diubah ke dalam alokasi bit. Alokasi bit ditentukan berdasarkan *bit allocation table* yang direpresentasikan sebagai berikut {0(No Tx), 1(BPSK), 2 (QPSK), 4 (16-QAM)}. Hal itu guna mendapatkan skema adaptif yang diinginkan sehingga bertujuan untuk memitigasi *deep fading*

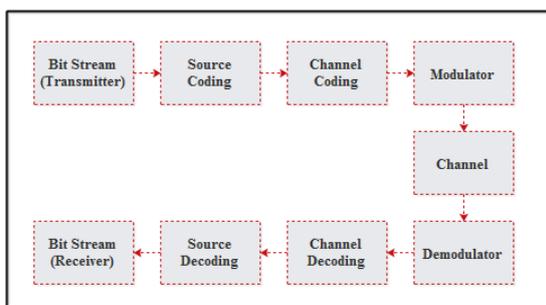
pada sistem OFDM dengan pengaruh efek Doppler pada kanal frekuensi selektif fading [17]-[18].



Gambar 2. Representasi Gain Kanal ke dalam Alokasi Bit pada Setiap Subcarrier

2.4 Channel coding

Blok sistem implementasi *channel coding* untuk mentransmisikan sinyal dari pengirim ke penerima dapat dilihat pada Gambar 3. *Channel coding* digunakan untuk menjaga informasi atau data digital dari *error* yang mungkin terjadi selama proses pentransmisian data dengan cara menambahkan bit redundansi (*bit parity*) ke dalam bit informasi yang akan dikirimkan melewati kanal. *Channel code* yang berfungsi untuk mendeteksi kesalahan bit informasi disebut dengan *error detection code*, sedangkan yang berguna untuk mengoreksi kesalahan bit informasi disebut *error correction code*.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Transmisi dengan *Channel coding* [17]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memuat data hasil yang disajikan dalam bentuk gambar, tabel, atau grafik serta penjelasan mengenai hasil tersebut. Penyajian gambar seperti contoh berikut dengan ukuran gambar disesuaikan dengan besar kolom dan keterangan gambar ditulis dengan huruf TNR 10.

Pada bagian ini dijelaskan mengenai hasil simulasi sistem dari implementasi modulasi

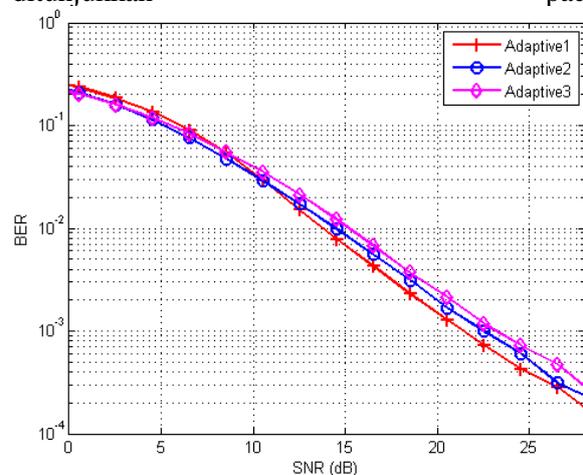
adaptif dengan *channel coding* menggunakan kanal frekuensi selektif fading. Terdapat dua parameter yang dianalisis yaitu kinerja BER dan kapasitas sistem kanal dari ketiga *threshold* yaitu 0.2 dan 0.4; 0.3 dan 0.5; serta 0.5 dan 0.7. Adapun parameter yang digunakan dalam simulasi MATLAB dijelaskan pada TABEL 2.

TABEL 2. PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
Bit yang dibangkitkan	100.000
Jumlah Subcarrier	8
<i>Doppler Normalized</i>	0.0128, 0.00128, 0.000128
Kanal	Frekuensi Selektif Fading
Skema Modulasi	BPSK, QPSK, 16-QAM
SNR	0-50 dB
<i>Threshold</i>	0.2 & 0.4, 0.3 & 0.5, 0.5 & 0.7

3.1 Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan Variasi *Threshold* pada $f_d = 0.000128$

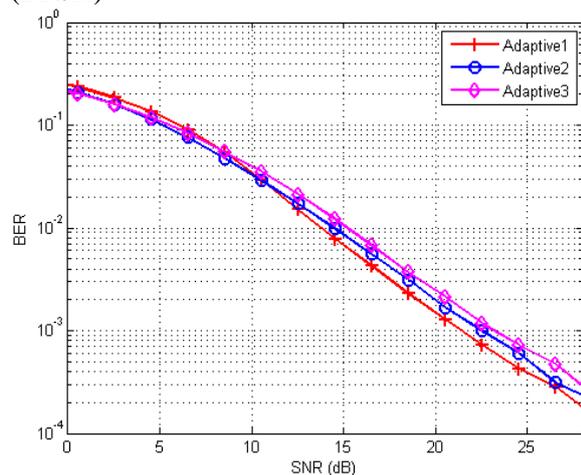
Hasil uji sistem modulasi adaptif pada kanal frekuensi selektif fading untuk $f_d = 0.000128$ atau setara dengan kecepatan kendaraan 1 m/s ditunjukkan pada



Gambar 4. BER yang diinginkan pada simulasi sistem ini yaitu 10^{-3} . Kebutuhan nilai SNR pada TABEL 3 menunjukkan ketiga *threshold* yang diujikan pada modulasi adaptif. Pada *threshold* pertama membutuhkan nilai SNR sebesar 21.3 dB untuk mencapai BER yang diinginkan, sedangkan *threshold* kedua membutuhkan SNR sebesar 22.5 dB, dan *threshold* ketiga membutuhkan nilai SNR 4 dB lebih besar jika dibandingkan dengan *threshold* pertama yaitu sebesar 25.2 dB.

Parameter kedua yang diujikan yaitu kapasitas sistem. Kapasitas sistem dari modulasi adaptif untuk ketiga *threshold* ini dihitung jumlahnya

untuk kemudian dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK). Kapasitas sistem dihitung berdasarkan jumlah bit benar yang diterima di penerima. Pada TABEL 4 menunjukkan hasil dari perbandingan kapasitas sistem untuk modulasi non-adaptif dan modulasi adaptif dengan variasi *threshold* pada frekuensi Doppler normalisasi yang pertama. Ketiga *threshold* yang diujikan memiliki kapasitas sistem yang lebih besar jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK). Hasil yang didapatkan pada *threshold* pertama (0.2 dan 0.4) menunjukkan bahwa modulasi adaptif mampu mengirimkan data dengan benar sampai ke penerima dengan kapasitas terbesar yaitu sebesar 1.441.081 bits. Sedangkan, pada *threshold* ketiga (0.5 dan 0.7) memiliki peningkatan kapasitas sistem yang terkecil yaitu hanya mampu memberikan peningkatan kapasitas sebesar 3% jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK).



Gambar 4. Kinerja BER dengan variasi *threshold* pada sistem modulasi adaptif dengan $f_d = 0.000128$

TABEL 3. PERBANDINGAN KINERJA ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $f_d = 0.000128$

Mode Transmisi	Threshold	SNR (dB)
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	21.3 dB
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	22.5 dB
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	25.2 dB

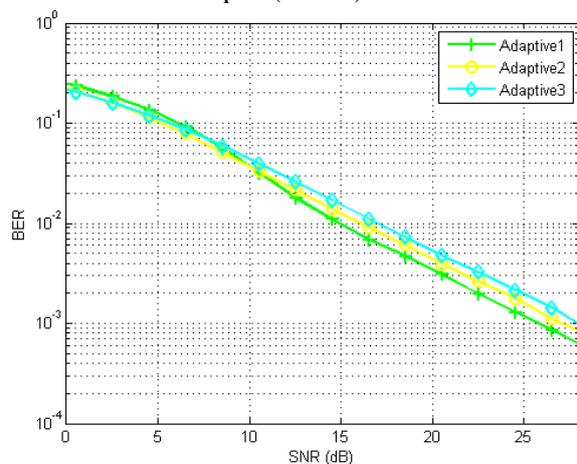
TABEL 4. PERBANDINGAN KAPASITAS MODULASI ADAPTIF DAN NON-ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $f_d = 0.000128$

Mode Transmisi	Threshold	Kapasitas Kanal
Non-Adaptif (BPSK)	-	800.000 bits
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	1.441.018 bits
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	1.084.303 bits
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	827.589ts

3.2 Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan Variasi Threshold pada $f_d = 0.00128$

Hasil uji kinerja sistem modulasi adaptif pada kanal frekuensi selektif fading untuk $f_d = 0.00128$ atau setara dengan kecepatan kendaraan 10 m/s ditunjukkan pada. BER yang diinginkan pada simulasi sistem ini yaitu 10^{-3} . Kebutuhan nilai SNR pada TABEL 5 menunjukkan ketiga *threshold* yang diujikan pada modulasi adaptif. *Threshold* pertama yaitu 0.2 dan 0.4 membutuhkan nilai SNR sebesar 25.6 dB untuk mencapai BER 10^{-3} sedangkan *threshold* kedua yaitu 0.3 dan 0.5 membutuhkan nilai SNR 27.1 dB dan *threshold* yang terakhir yaitu 0.5 dan 0.7 membutuhkan nilai SNR lebih besar 1 dB jika dibandingkan dengan *threshold* kedua yaitu 28.1 dB. Jadi, kondisi ketiga *threshold* pada modulasi adaptif untuk $f_d = 0.00128$ ini mampu memberikan kinerja yang optimal karena nilai BER yang diinginkan masih dapat dicapai walaupun diberikan gangguan fading yang lebih besar sehingga mengakibatkan pergeseran Doppler yang semakin besar pula.

Pada TABEL 6 menunjukkan hasil dari kapasitas sistem untuk modulasi adaptif dan non-adaptif (BPSK). Ketiga *threshold* pada modulasi adaptif memiliki kapasitas sistem yang lebih besar jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif. Hasil yang didapatkan dari *threshold* pertama, modulasi adaptif mampu mengirimkan data sebesar 1.319.212 bits, *threshold* kedua 1.005.835 bits. Sedangkan pada modulasi adaptif dengan *threshold* ketiga mampu mentransmisikan data dengan benar setara dengan peningkatan kapasitas sistem sebesar 2% jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK).



Gambar 5. Kinerja BER dengan variasi *threshold* pada sistem modulasi adaptif dengan $f_d = 0.0128$

TABEL 5. PERBANDINGAN KINERJA ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $f_d = 0.00128$

Mode Transmisi	Threshold	SNR (dB)
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	25.6 dB
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	27.1 dB
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	28.1 dB

TABEL 6. PERBANDINGAN KAPASITAS MODULASI ADAPTIF DAN NON-ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $f_d = 0.00128$

Mode Transmisi	Threshold	Kapasitas Kanal
Non-Adaptif (BPSK)	-	800.000 bits
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	1.319.212 bits
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	1.005.835 bits
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	818.386 bits

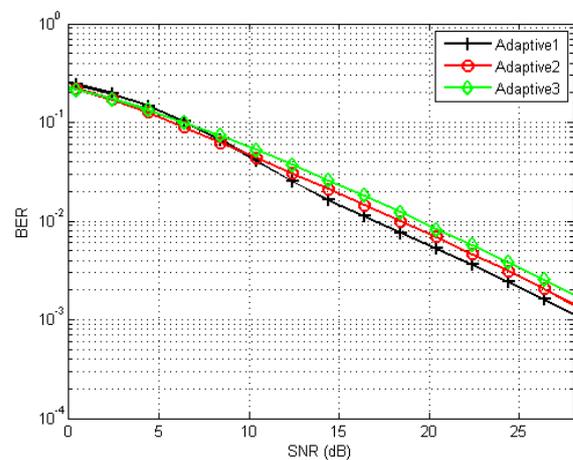
Perbedaan hasil dalam perhitungan kapasitas sistem untuk ketiga *threshold* pada modulasi adaptif tersebut menunjukkan bahwa kemampuan adaptif untuk masing-masing *threshold* berbeda-beda. Namun, penggunaan modulasi adaptif masih memberikan kinerja lebih baik jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif pada $f_d = 0.00128$.

3.3 Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan Variasi Threshold pada $f_d = 0.0128$

Hasil uji sistem modulasi adaptif pada kanal frekuensi selektif fading untuk $f_d = 0.0128$ atau setara dengan kecepatan kendaraan 100 m/s ditunjukkan pada. BER yang diinginkan pada simulasi sistem ini yaitu 10^{-3} . Kebutuhan nilai SNR pada TABEL 7 menunjukkan ketiga *threshold* yang diujikan pada modulasi adaptif. Pada *threshold* pertama membutuhkan nilai SNR sebesar 17.1 dB hanya bisa untuk mencapai BER 10^{-2} , sedangkan *threshold* kedua membutuhkan nilai SNR sebesar 18.6 dB, dan *threshold* ketiga membutuhkan nilai SNR 19.4 dB. Jadi, kondisi ketiga *threshold* pada modulasi adaptif untuk $f_d = 0.0128$ ini belum mampu memberikan kinerja yang optimal karena nilai BER yang diinginkan belum dapat tercapai. Hal itu terjadi karena pengaruh dari gangguan fading yang besar sehingga mengakibatkan pergeseran Doppler yang semakin besar pula.

Parameter kedua yang diujikan yaitu kapasitas sistem. Pada TABEL 8 menunjukkan hasil dari perbandingan kapasitas sistem untuk modulasi non-adaptif dan modulasi adaptif dengan variasi *threshold* pada frekuensi Doppler. Hasil yang didapatkan dari *threshold* pertama (0.2 dan 0.4) menunjukkan bahwa modulasi adaptif mampu mengirimkan data dengan benar sampai ke

penerima sebesar 1.310.362 bits. *Threshold* kedua (0.3 dan 0.5) memiliki kapasitas sistem sebesar 1.008.858 bit. Sedangkan pada modulasi adaptif dengan *threshold* ketiga yaitu 0.5 dan 0.7 hanya mampu mentransmisikan data dengan benar sebesar 816.504 bits atau setara dengan peningkatan kapasitas sistem sebesar 2% jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK). Perbedaan hasil dalam perhitungan kapasitas sistem untuk ketiga *threshold* pada modulasi adaptif menunjukkan bahwa kemampuan adaptif untuk masing-masing *threshold* berbeda-beda. Namun, penggunaan modulasi adaptif masih memberikan kinerja lebih baik jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif untuk parameter hasil kapasitas sistem pada kanal frekuensi selektif fading dengan $f_d = 0.0128$.



Gambar 6. Kinerja BER dengan variasi *threshold* pada sistem modulasi adaptif dengan $f_d = 0.0128$

TABEL 7 PERBANDINGAN KINERJA ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $F_D = 0.0128$

Mode Transmisi	Threshold	SNR (dB)
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	17.1 dB
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	18.6 dB
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	19.4 dB

TABEL 8 PERBANDINGAN KAPASITAS MODULASI ADAPTIF DAN NON-ADAPTIF DENGAN VARIASI THRESHOLD DENGAN $F_D = 0.0128$

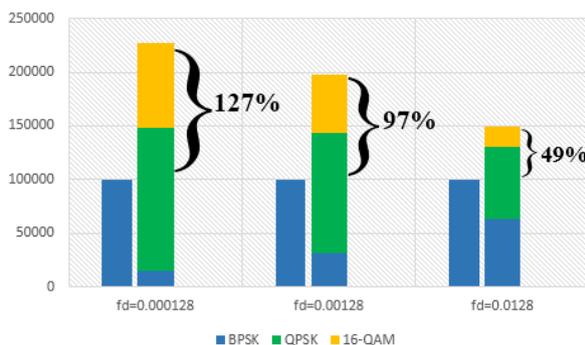
Mode Transmisi	Threshold	Kapasitas Kanal
Non-Adaptif (BPSK)	-	800.000 bits
Adaptif 1	0.2 dan 0.4	1.310.362 bits
Adaptif 2	0.3 dan 0.5	1.008.858 bits
Adaptif 3	0.5 dan 0.7	816.504 bits

3.4 Hasil Analisis Kapasitas Kanal pada Variasi Doppler dengan Perbedaan Level Threshold

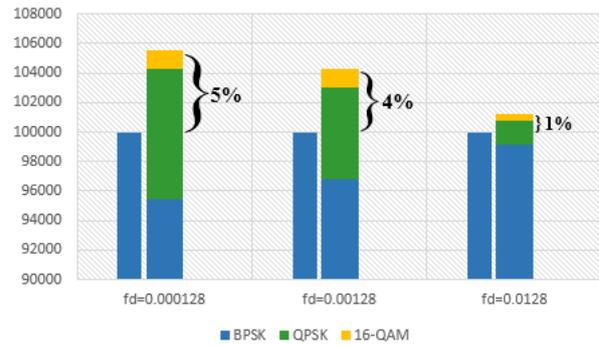
Berdasarkan hasil dari kapasitas modulasi adaptif dengan variasi *threshold* pada kondisi Doppler yang berbeda-beda, maka bisa dilihat bahwa penggunaan modulasi adaptif mampu meningkatkan kapasitas sistem jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK) seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Namun, kemampuan adaptif dalam sistem yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas tersebut berbeda-beda tergantung dari pemilihan *threshold* yang tepat.

Selain itu, variasi dari efek Doppler yang disimulasikan pada modulasi adaptif memberikan pengaruh terhadap kondisi kanal. Semakin besar nilai frekuensi Doppler normalisasi yang digunakan maka kondisi kanal semakin buruk. Sehingga kapasitas sistem tidak mengalami peningkatan yang signifikan ketika efek Doppler pada $fd = 0.0128$ diimplementasikan. Hal itu terjadi karena sebagian besar data yang ditransmisikan menggunakan modulasi BPSK ketika kondisi kanal kurang bagus. Namun, pada *threshold* 0.2 dan 0.4 kondisi itu tidak berlaku karena dengan *threshold* tersebut modulasi adaptif pada $fd = 0.0128$ tetap memberikan peningkatan kapasitas yang cukup besar.

Oleh karena itu, pemilihan *threshold* 0.2 dan 0.4 bisa dipertimbangkan sebagai parameter yang digunakan ketika mensimulasikan modulasi adaptif dengan kondisi frekuensi Doppler yang berbeda-beda, mengingat jika menggunakan lingkungan VANET kondisi kanalnya sangat dinamis sehingga dapat berubah sewaktu-waktu.



Gambar 7. Variasi Doppler pada Kapasitas Modulasi Adaptif dengan *Threshold* 0.2 dan 0.4



Gambar 8. Variasi Doppler pada Kapasitas Modulasi Adaptif dengan *Threshold* 0.5 dan 0.7

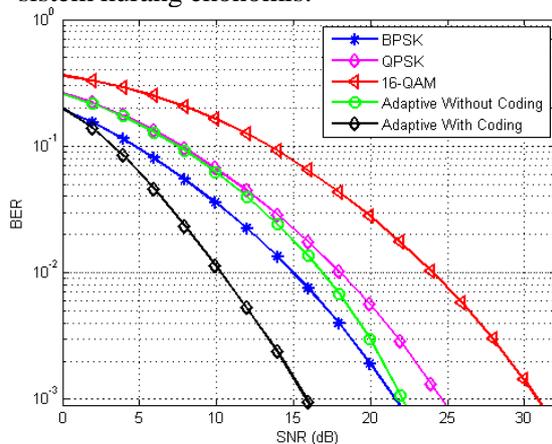
3.5 Perbandingan Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan Channel coding dan Tanpa Channel coding pada Kanal Frekuensi Selektif Fading

Hasil uji sistem modulasi adaptif dengan *channel coding*, modulasi adaptif tanpa *channel coding*, serta modulasi non-adaptif seperti BPSK, QPSK, dan 16-QAM terlihat pada Gambar 10. Simulasi dilakukan pada $f_d = 0.000128$. Kinerja BER yang diinginkan pada kondisi ini adalah 10^{-3} . Jika dilihat dari kurva BER tersebut, semua modulasi dapat memenuhi target BER yang diinginkan. Modulasi adaptif dengan *channel coding* membutuhkan SNR terendah yaitu 16 dB untuk mencapai BER 10^{-3} . Selanjutnya, jika dilihat dari kapasitasnya, modulasi adaptif mengalami peningkatan kapasitas jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK). Modulasi adaptif dengan *channel coding* mengalami peningkatan kapasitas sebesar 33,35%, sedangkan modulasi adaptif tanpa *channel coding* memberikan peningkatan sebesar 97,6%.

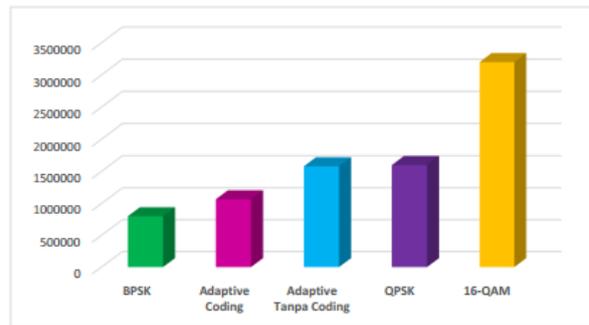
Terdapat *trade-off* yang terjadi Ketika dikaitkan dengan modulasi BPSK dan 16-QAM. Jika dilihat dari modulasi 16-QAM, penjelasan pertama yaitu mengenai kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan modulasi adaptif memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan modulasi 16-QAM. Hal itu dikarenakan pada modulasi orde tinggi, terjadinya kesalahan simbol pada saat pengiriman lebih besar akibat pengaruh fading. Sehingga, hal itu mempengaruhi kinerja sistem yang berakibat membutuhkan daya lebih besar pada saat pengiriman sinyal yang berakibat membutuhkan daya yang lebih besar pada saat pengiriman sinyal jika dibandingkan dengan modulasi adaptif. Penjelasan yang kedua yaitu *trade-off* tersebut menunjukkan bahwa penggunaan modulasi 16-QAM memberikan

kapasitas yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan modulasi adaptif. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 10 mengenai kondisi kapasitas sistem pada semua modulasi, baik adaptif maupun non-adaptif. Pada modulasi adaptif dengan *channel coding* memperoleh kapasitas sistem sebesar 1.066.691 bits sedangkan modulasi 16-QAM memiliki kapasitas sistem terbesar yaitu sebesar 3.200.000 bits. Oleh karena itu, pada saat sinyal informasi mengimplementasikan modulasi 16-QAM untuk mengirimkan sinyal, maka 1 simbol informasi dapat mentransmisikan 4 bits. Sehingga, secara tidak langsung kapasitas sistem pada modulasi orde tinggi seperti 16-QAM tersebut mengalami peningkatan yang jauh lebih besar yaitu hampir 3 kalinya jika dibandingkan dengan modulasi adaptif dengan menggunakan implementasi *channel coding*.

Sehingga dari kedua penjelasan tersebut terdapat *trade-off* yang dapat digunakan sesuai dengan desain sistem yang diinginkan. Misalnya, jika ingin mendesain sistem dengan daya yang kecil dan peningkatan kapasitas sistem yang tidak terlalu besar maka penggunaan modulasi adaptif bisa menjadi pilihan yang tepat. Namun, jika ingin mendesain sistem dengan kecepatan data yang tinggi, sehingga mampu memperoleh peningkatan kapasitas yang besar, serta desain sistem yang tidak terlalu mempermasalahkan daya besar, maka bisa mengaplikasikan modulasi 16-QAM sebagai alternatif mendesain sistem yang diinginkan. Namun penggunaan daya yang tinggi menjadikan sistem kurang ekonomis.



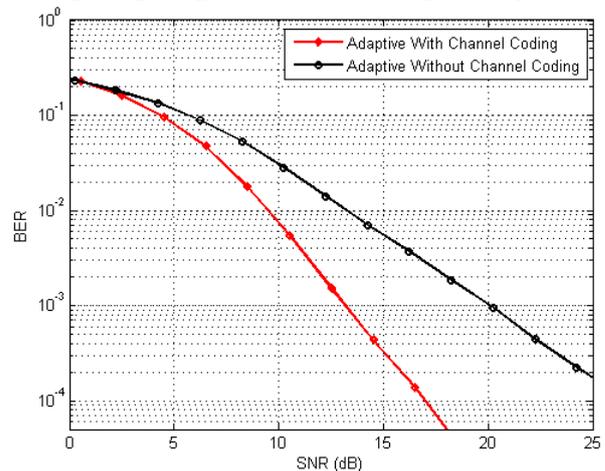
Gambar 9. Perbandingan Hasil Kinerja Modulasi Adaptif dengan dan Tanpa *Channel coding* serta Modulasi Non-Adaptif pada Kanal Frekuensi Selektif Fading



Gambar 10. Perbandingan Kapasitas Sistem pada Kanal Frekuensi Selektif Fading

3.6 Perbandingan Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* Threshold (0.2 dan 0.4)

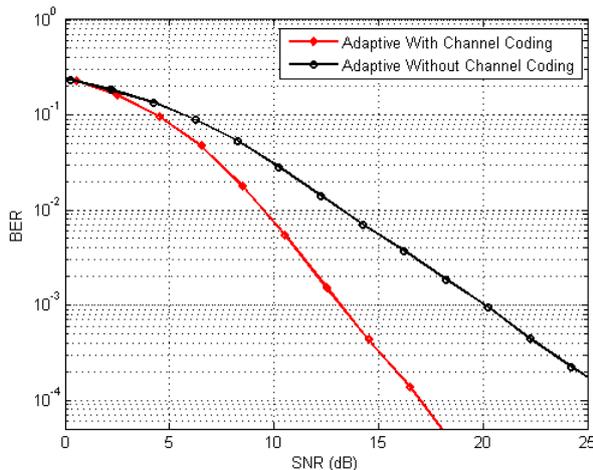
Hasil simulasi modulasi adaptif dengan *channel coding* pada kanal frekuensi selektif fading dengan $f_d = 0.000128$ ditunjukkan pada



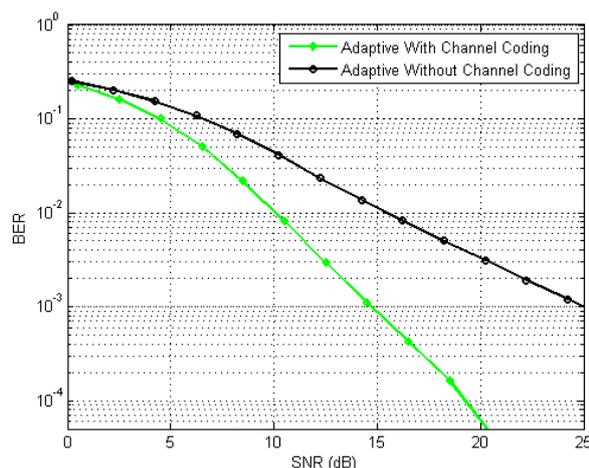
Gambar 11. Parameter kinerja yang digunakan yaitu level *threshold* 0.2 dan 0.4, serta nilai BER yang diinginkan adalah 10^{-4} . Kurva BER menunjukkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding* membutuhkan SNR sebesar 17 dB untuk mencapai nilai BER yang diinginkan. Hal itu menunjukkan bahwa performa kinerja BER yang diinginkan lebih baik dibandingkan dengan modulasi adaptif tanpa *channel coding*.

Sedangkan, hasil simulasi selanjutnya dengan skenario yang sama namun frekuensi Doppler yang berbeda yaitu $f_d = 0.00128$, didapatkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding* membutuhkan nilai SNR sebesar 19.3 dB untuk mencapai nilai BER yang diinginkan. Sedangkan untuk $f_d = 0.0128$ menunjukkan bahwa kinerja modulasi adaptif dengan *channel coding* membutuhkan nilai SNR sebesar 22.1 dB. Hal itu menunjukkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding* memberikan kinerja lebih baik jika

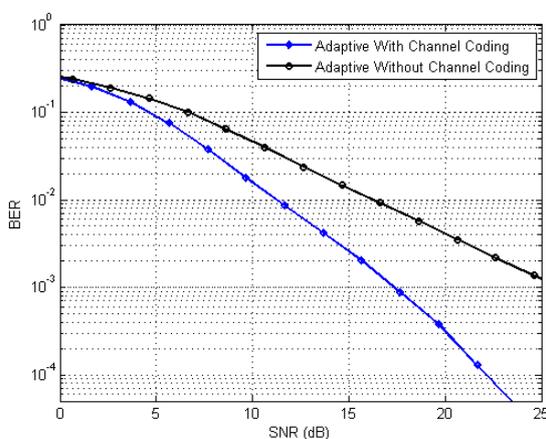
dibandingkan dengan *channel coding* tanpa modulasi adaptif seperti ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 11. Kinerja Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.000128$



Gambar 12. Kinerja Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.00128$

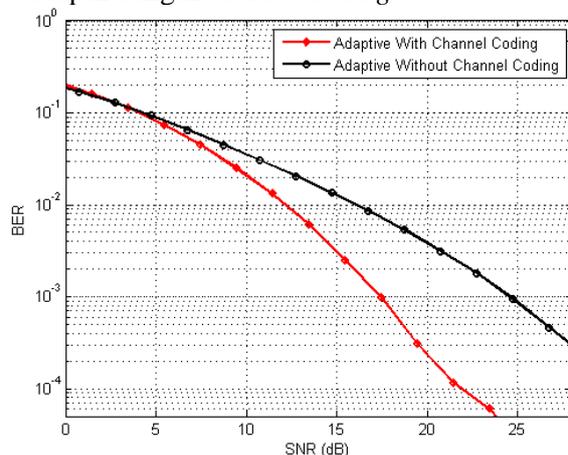


Gambar 13. Kinerja Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.00128$

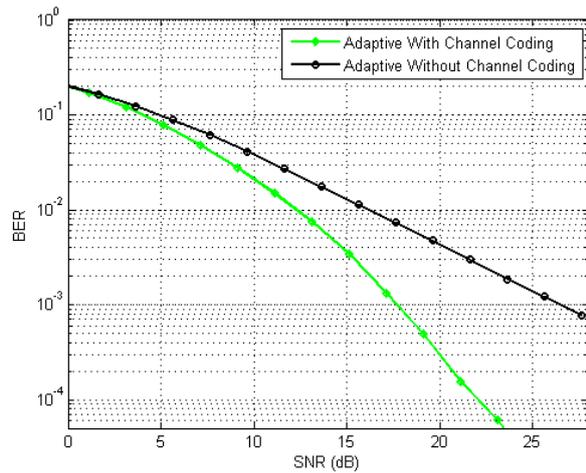
3.7 Perbandingan Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Threshold (0.3 dan 0.5)

Hasil simulasi modulasi adaptif yang telah diimplementasikan dengan *channel coding* dengan level *threshold* 0.3 dan 0.5 ditunjukkan pada Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16. Nilai BER yang diinginkan adalah 10^{-4} . Kurva BER menunjukkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding* memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan modulasi adaptif tanpa *channel coding* karena mampu mencapai nilai BER yang diinginkan.

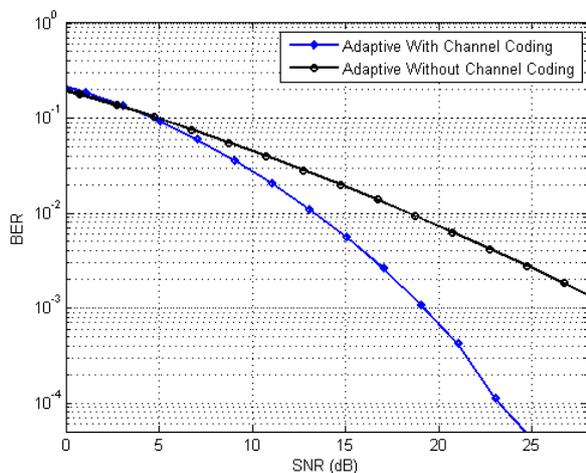
Pada variasi frekuensi Doppler yang pertama membutuhkan SNR sebesar 19.8 dB, variasi frekuensi Doppler kedua membutuhkan SNR sebesar 20.9 dB, serta variasi frekuensi Doppler yang ketiga membutuhkan nilai SNR sebesar 22.8 dB. Jadi, dari ketiga frekuensi Doppler tersebut menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi Doppler maka nilai SNR akan semakin besar untuk mencapai nilai BER yang diinginkan. Hal itu terjadi karena keadaan kondisi kanal yang dinamis. Sedangkan, hasil dari simulasi modulasi adaptif tanpa *channel coding* kinerja BER yang dicapai hanya sebesar 10^{-3} . Hal ini menunjukkan bahwa modulasi adaptif dengan *channel coding*



Gambar 14. Kinerja Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.000128$



Gambar 15. Kinerja Modulasi Adaptif dengan Channel coding pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.00128$



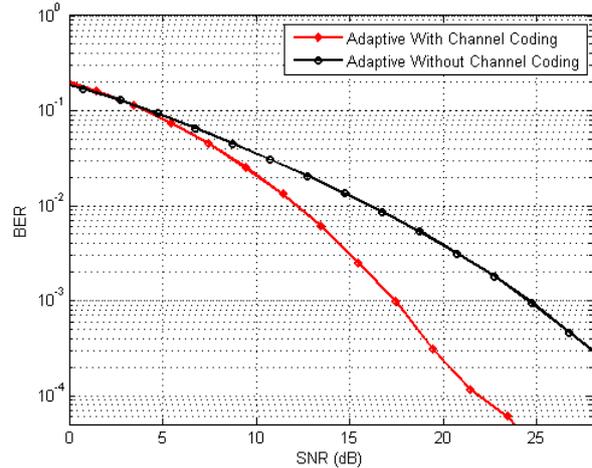
Gambar 16. Kinerja Modulasi Adaptif dengan Channel coding pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.0128$

3.8 Perbandingan Hasil Simulasi Modulasi Adaptif dengan Channel coding pada Threshold (0.5 dan 0.7)

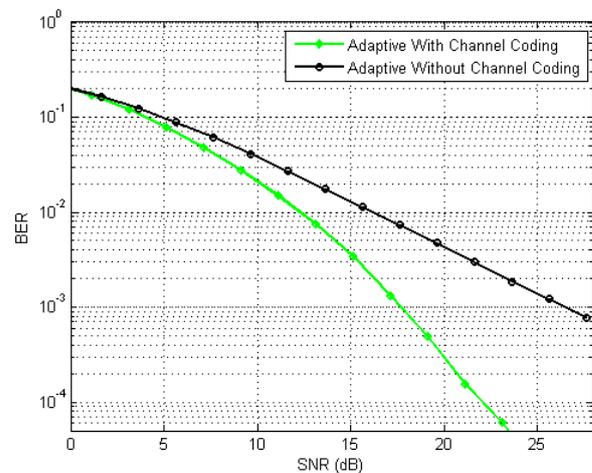
Hasil simulasi modulasi adaptif yang telah diimplementasikan dengan channel coding dengan level threshold 0.5 dan 0.7 ditunjukkan pada Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19. Variasi frekuensi Doppler memperlihatkan nilai SNR yang berbeda-beda untuk mendapatkan BER yang diinginkan yaitu 10^{-4} . Jika dilihat untuk mendapatkan nilai BER yang diinginkan dengan $f_d = 0.000128$ membutuhkan SNR sebesar 21.8 dB, sedangkan modulasi adaptif dengan $f_d = 0.00128$ membutuhkan SNR sebesar 21.2 dB, dan modulasi adaptif dengan $f_d = 0.0128$ membutuhkan SNR sebesar 23.2 dB.

Dari ketiga level threshold yang sudah diimplementasikan, terlihat bahwa penambahan channel coding pada modulasi adaptif berfungsi

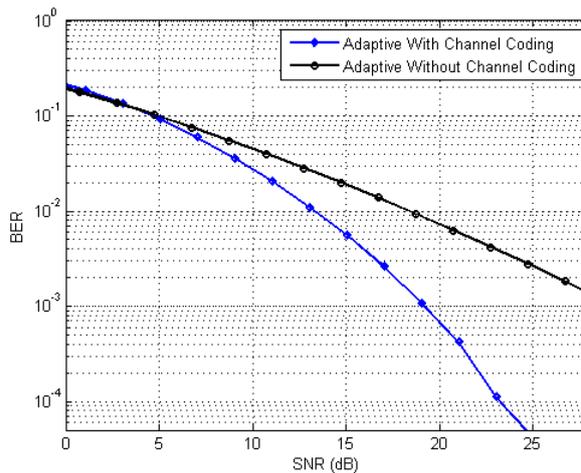
untuk menjaga data informasi dari *error* yang mungkin terjadi selama proses transmisi dengan cara menambahkan *bit parity* ke dalam bit yang akan dikirimkan. Sehingga, pengaruh dari efek Doppler pada frekuensi selektif fading di lingkungan VANET dapat diminimalisir. Hal itu dapat dilihat dari kurva BER yang menunjukkan perbaikan kinerja ketika sistem OFDM menggunakan modulasi adaptif dengan *channel coding*.



Gambar 17. Kinerja Modulasi Adaptif dengan Channel coding pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.000128$



Gambar 18. Kinerja Modulasi Adaptif dengan Channel coding pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.00128$



Gambar 19. Kinerja Modulasi Adaptif dengan *Channel coding* pada Kanal Frekuensi Selektif Fading dengan $f_d = 0.0128$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *channel coding* pada modulasi adaptif dapat meningkatkan kinerja BER jika dibandingkan dengan modulasi adaptif. Hal itu dapat dilihat dari kurva SNR dan BER menunjukkan bahwa untuk mencapai nilai BER yang diinginkan, maka modulasi adaptif dengan *channel coding* dapat menghasilkan SNR lebih rendah dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (16-Qam).

Selain itu, terjadi peningkatan kapasitas sistem pada modulasi adaptif jika dibandingkan dengan modulasi non-adaptif (BPSK). Sedangkan, pada parameter pemilihan *threshold* 0.2 dan 0.4 menunjukkan kinerja paling optimal karena dapat meningkatkan kapasitas sistem paling besar dan kinerja BER terendah dibandingkan dengan dua *threshold* lain yang disimulasikan pada frekuensi Doppler yang berbeda-beda.

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, penggunaan *channel coding* selain Hamming (7,4) dapat diimplementasikan ke dalam sistem. Sehingga hasil yang didapatkan dapat dibandingkan dengan apa yang sudah diteliti pada saat ini. Selain itu, komputasi dari *channel coding* dalam implementasi sistem juga perlu diperhatikan untuk efisiensi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cooper, D. Franklin, M. Ros, F. Safaei, and M. Abolhasan, "A Comparative Survey of VANET Clustering Techniques," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 657–681, 2017.
- [2] H. Yeh, S. Member, S. Yıldız, and S. Member, "Space – Time Trellis-Coded OFDM Systems in Frequency-Selective Mobile Fading Channels," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 64, no. 6, pp. 660–664, 2017.
- [3] W. M. Hadiansyah, T. Suryani, and G. Hendratoro, "Doppler Spread Estimation for OFDM Systems Using Phase Difference Method in Rayleigh Fading Channels," *7th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications*, pp. 147–152, 2012.
- [4] L. Khalid and A. Anpalagan, "Performance Analysis of a *Threshold*-based Group-adaptive Modulation Scheme with Adaptive Subcarrier Allocation in OFCDM Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 7, pp. 2463–2467, 2008.
- [5] T. Harivikram and R. Harikumar, "Adaptive Modulation and Coding Rate for OFDM Systems," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 3–8, 2013.
- [6] M. Torabi, "Adaptive modulation for space-frequency block coded OFDM systems," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 62, no. 7, pp. 521–533, 2008.
- [7] P. S. Chow, J. M. Cioffi, and J. A. C. Bingham, "A Practical Discrete Multitone Transceiver Loading Algorithm for Data Transmission over Spectrally Shaped Channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 2, pp. 773–775, 1995.
- [8] A. Czylwik, "Adaptive OFDM for Wideband Radio Channels," *Proc. IEEE GLOBECOM'96*, no. 5, pp. 713–718, 1996.
- [9] J. Faezah and K. Sabira, "Adaptive Modulation for OFDM Systems," *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2009.
- [10] C. College and R. Korea, "Doppler Effect on V2I Path Loss and V2V Channel Models," *International Conference on Information and Communication Convergence*, no. 1, pp. 898–902, 2016.
- [11] C. S. Choi, Y. Shoji, and H. Ogawa, "Implementation of an OFDM baseband with adaptive modulations to grouped subcarriers for millimeter-wave wireless indoor networks," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 4, pp. 1541–1549, 2011.
- [13] K. Fazel, S. Kaiser, *Multi-carrier and Spread Spectrum*. 2006. p. 21-22
- [14] K. Albarazi, U. Mohammad, and N. Al-holou, "Doppler Shift Impact On Vehicular Ad-hoc Networks," *Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks*, vol. 2, no. 3, 2011.
- [15] Rizkha Rochmatika, Titiek Suryani, Wirawan, "Performance of Adaptive Modulation over Frequency Selective Fading Channel in VANET Environment", 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), pp. 400-405, 2018.
- [16] A. M. S. Abdelgader and W. Lenan, "The

- Physical Layer of the IEEE 802 . 11p WAVE Communication Standard : The Specifications and Challenges,” *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.*, vol. II, pp. 22–24, 2014.
- [17] P. Örmeci, “Adaptive Coded Modulation Schemes for Fading Channels,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 5, pp. 595–602, 2000.
- [18] E. A. Feukeu, K. Djouani, and A. Kurien, "An MCS adaptation technique for Doppler Effect in IEEE 802.11p Vehicular networks, "Procedia Computer Science., vol.19, no. Ant, pp. 570-577, 2013.