

ANALISIS PENGARUH PERGERAKAN USER TERHADAP KUALITAS SINYAL SUARA PADA JARINGAN WIMAX IEEE 802.16

ANALYSIS OF USER MOVEMENT INFLUENCED FOR VOICE QUALITY ON WIMAX IEEE 802.16e NETWORK

Aris Hartaman¹, Uke Kurniawan Usman², Budi Prasetya³

^{1,2,3} Universitas Telkom

¹arishartaman@telkomuniversity.ac.id, ²ukeusman@telkomuniversity.ac.id,

³budiprasetya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

WiMAX IEEE 802.16e merupakan *non-line of sight* (NLOS) *Broadband Wireless Access* (BWA) yang dikeluarkan oleh WiMAX Forum yang dikembangkan berdasarkan standar IEEE 802.16. Teknologi ini mampu diimplementasikan untuk *mobile wireless access* yang dapat memenuhi kebutuhan layanan data dengan *bandwidth* yang cukup besar 20 MHz, *coverage* yang luas 50 km, dengan *bitrate* yang tinggi 75 Mbps. Pergerakan *user/mobile station* akan mempengaruhi kualitas layanan suara pada jaringan WiMAX IEEE 802.16e yaitu akan terjadinya efek *doppler spread* yang mengakibatkan perubahan frekuensi terhadap *mobile station* yang bergerak. Penelitian mengenai pengaruh pergerakan *user/mobile station* terhadap kualitas sinyal suara pada jaringan WiMAX IEEE 802.16e ini dilakukan dengan cara membuat simulasi sistem transmisi WiMAX 802.16e yang dilewatkan pada kanal yang bersifat *multipath fading* karena bersifat komunikasi *non-line of Sight* (NLOS) dengan cara terdistribusi *rayleigh* dan noise AWGN dengan pemodelan kanal propagasi SUI (*Stanford University Interim*). Parameter kecepatan *user/mobile station* yang disimulasikan mulai 0 km/jam (*user statis*), <15km/jam (*user berjalan kaki*), 16-50 km/jam (*user berkendara sedang*), sampai dengan 51-120 km/jam (*user kecepatan tinggi*). Hasil simulasi dan analisa memperlihatkan bahwa kecepatan pergerakan user sangat berpengaruh terhadap *fluktuasi fading* pada kanal *rayleigh*. Berdasarkan standar komunikasi digital yaitu nilai BER sebesar 10^{-3} , nilai Eb/No yang dihasilkan dibawah 12 dB untuk modulasi BPSK kecepatan user bisa mencapai 50 km/jam, sementara untuk QPSK kecepatan maksimal user dibawah 50 km/jam, dan 8PSK kecepatan user dibawah 30 km/jam. Sehingga modulasi yang paling baik untuk system ini adalah BPSK.

Kata kunci : Wimax, BER, Eb/No, Modulasi, SNR

Abstract

Wimax IEEE 802.16e is non-line of sight (NLOS) Broadband Wireless Access (BWA) which WiMAX forum product that can incresead with IEEE 802.16 standard. This technology can used for mobile wireless access implementation for date services with wide bandwidth about 20 MHz, with coverage area about 50 km, and high bitrate 75 Mbps. The movement of user will cause sound service quality on Wimax IEEE 802.16e network are Doppler spread which creates miss-match frequency between transmitter and the moving mobile station. The research about effect of user movement to sound quality on Wimax IEEE 802.16e network. It is done toward Wimax IEEE 802.16e transmission system simulation passed through non line of sight multipath fading channel with rayleigh distribution and AWGN. This research used user velocity movement parameters from

0 km/hour, <15 km/hour, 16-50 km/hour, to 51-120 km/hour. The simulation and analyst result, fading fluctuative in rayleigh channel is caused by the movement of user. Based on digital communication standard, when BER about 10^{-3} for BPSK modulation, the velocity of user movement up to 50 km/hour, good signal received by system and Eb/No under 12 dB. While for QPSK modulation, the velocity of user movement maximal under 50 km/hour. And then for 8PSK modulation under 30 km/hour. So, BPSK modulation is appropriate to be used in Wimax IEEE 802.16e system.

Keywords : Wimax, BER, Eb/No, Modulation, SNR

1. PENDAHULUAN

Pada masa ini kebutuhan akan layanan komunikasi khususnya pada komunikasi wireless semakin meningkat. Kebutuhan ini tidak hanya berupa *voice*, tetapi berupa data bahkan multimedia, sehingga membutuhkan *bandwidth* yang cukup besar [1,2-3,6]. WiMAX IEEE 802.16e sebagai *non-line of sight* (NLOS) *Broadband Wireless Access* (BWA) yang dikeluarkan oleh WiMAX Forum dan dikembangkan berdasarkan standar IEEE 802.16 muncul sebagai alternative teknologi untuk memenuhi kebutuhan tersebut [11-15].

WiMAX memiliki jangkauan yang jauh dengan bitrate yang tinggi. Dengan teknologi ini kita bisa mengakses informasi maupun internet dengan jangkauan 8 km dengan kecepatan data sebesar 75 Mbps. Jika teknologi WiMAX dioperasikan pada band frekuensi tertentu, maka teknologi ini dapat meng-cover area sebesar 50 km. Coverage sebesar ini lebih dari cukup untuk meng-cover area akses di sebuah kota [3,6]. WiMAX IEEE 802.16e merupakan teknologi komunikasi bergerak yang bersifat non-line of sight, sehingga pergerakan user/mobile station akan mempengaruhi terhadap performansi layanan baik suara maupun data pada jaringan tersebut [3,9].

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh pergerakan user/mobile station terhadap kualitas sinyal suara pada jaringan WiMAX IEEE 802.16e saja, tidak sampai menganalisa performansi layanan datanya. Standar BER yang digunakan adalah standar komunikasi digital yaitu sebesar 10^{-3} . Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat simulasi sistem transmisi WiMAX 802.16e yang dilewatkan pada kanal yang bersifat multipath fading dengan terdistribusi rayleigh dengan pemodelan kanal propagasi Stanford University Interim (SUI). Penelitian ini menggunakan kecepatan user/mobile station yang disimulasikan mulai 0 km/jam (user statis), < 15km/jam (user berjalan kaki), 16-50 km/jam (user berkendara sedang), sampai dengan 51-120 km/jam (user kecepatan tinggi).

2. DASAR TEORI

2.1 Teknologi WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

WiMAX merupakan salah satu perkembangan teknologi terbaru di bidang *Broadband Wireless Access* (BWA) [1,2-3,6]. Teknologi WiMAX ini dikembangkan lebih lanjut oleh perusahaan teknologi telekomunikasi melalui suatu forum dengan tujuan nonprofit, forum ini dinamai dengan WiMAX Forum [11-15]. Aplikasi yang dilakukan *users* senantiasa berkembang. Aplikasi yang ada tidak hanya dilakukan oleh *user* yang bersifat *fixed*, namun telah berkembang menjadi nomadic bahkan mobile. WiMAX didesain untuk dapat menjangkau berbagai kondisi *user* tersebut dengan tetap menjaga QoS [3,5,9-10].

2.2 Parameter – parameter standar IEEE 802.16e [6]

WiMAX IEEE 802.16e diterapkan pada aplikasi *portable* dan *mobile* baik *fixed* maupun *nomadic*. *Mobile* WiMAX memperkenalkan teknologi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) dan mendukung beberapa fitur lain untuk menyediakan layanan *mobile broadband* bagi *user* yang bergerak sampai dengan kecepatan 120 km/jam [3,5,9]. Standar IEEE 802.16e mempunyai parameter sebagai berikut [6, 9-10]:

- Menggunakan frekuensi 2-6 GHz, daerah jangkauan maksimum 50 km (untuk kondisi LOS) dan optimal 7-10 km (untuk kondisi NLOS),
- Channel Bandwidth bervariasi antara 1,75 MHz sampai dengan 15 MHz,
- MAC Architecture yang digunakan point to multipoint atau mesh,
- Menggunakan modulasi adaptif yaitu QPSK, BPSK, 16 QAM, dan 64 QAM,
- Menggunakan modulasi Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (SOFDMA),
- Gross data rate maksimal 75 Mbps (menggunakan modulasi 64 QAM dengan bandwidth kanal 20 MHz),
- Sistem dupleks menggunakan TDD dan FDD,
- Multiplexing menggunakan Burst TDM/TDMA/OFDMA,
- Skema transmisi menggunakan single carrier, 256 OFDM atau scalable OFDM dengan 128, 512, 1.024, atau 2.048 subcarriers

2.3 Pengkodean [4]

Trellis Coded Modulation (TCM)

TCM merupakan skema kombinasi dari pengkodean dan modulasi untuk meningkatkan ketahanan dari sistem transmisi digital. Untuk kanal *band limited*, TCM memberikan *gain* pengkodean yang berarti dibandingkan transmisi tanpa pengkodean tanpa mengorbankan efisiensi *bandwidth*.

2.4 Block Interleaver [4]

Time diversity atau *interleaving* adalah salah satu cara yang efektif untuk mengatasi *burst error*. *Interleaving* sebelum transmisi (pada pengirim) dan *deinterleaving* setelah penerimaan (pada penerima), menyebabkan pola *burst error* menjadi tersebar dalam waktu, untuk selanjutnya akan ditangani oleh *decoder* dimana dianggap sebagai pola *error* yang *random*.

2.5 Mapper [4]

• *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

Pada QPSK *bit stream* data akan dikelompokkan dalam dua bit yang kemudian akan memodulasi sinyal *carrier* dimana fasa sinyal *carrier* akan berubah-ubah sesuai bit-bit input. Fasa dari sinyal *carrier* dipilih satu dari 4 yang nilai spasinya sama, dimana setiap nilai fasa akan bersesuaian dengan secara unik dengan pasangan bit informasi.

• *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*

Pada BPSK, fasa dari sinyal *carrier* dihubungkan antara dua nilai dimana mengacu pada dua kemungkinan sinyal yaitu m_1 dan m_2 yang dihubungkan kepada bit 0 dan 1. Biasanya dua fasa tersebut dipisahkan sejauh 180° .

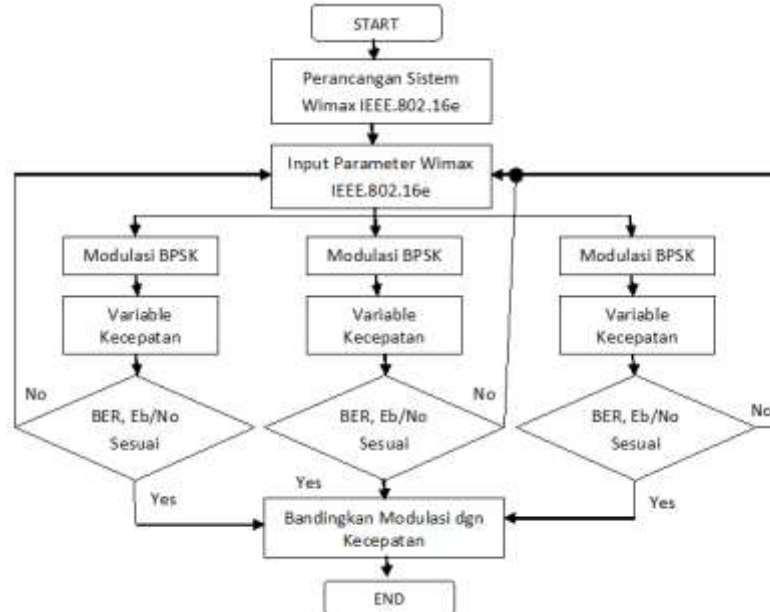
2.6 Kanal Transmisi [7,8]

Suatu kanal transmisi secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut : $h(t, \tau)$ adalah respon impuls kanal berubah terhadap waktu yang berasal dari kanal multipath.

3. PEMODELAN SISTEM DAN ANALISA

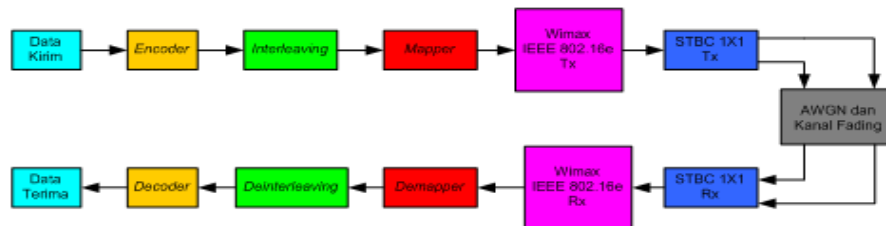
3.1 Pemodelan Sistem

Flowchart Penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Model simulasi sistem Wimax IEEE 802.16e secara umum pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Sistem Wimax IEEE 802.16e

Parameter input pada simulasi system Wimax IEEE 802.16e ini adalah sebagai berikut:

1. **Data Kirim** (Generator Pembangkit Data) : merupakan deretan data simbol yang dibangkitkan secara *random* dengan distribusi *uniform* untuk panjang bit data tertentu dengan pola pensinyalan RZ (*Return to Zero*) unipolar. Pembangkitan data yang akan dikirim dilakukan secara acak dengan menggunakan fungsi *randint* pada MATLAB dimana akan menghasilkan nilai bit '0' dan '1' yang memiliki pola acak.
2. **Convolutional Encoder** : Informasi bit terima yang salah akan dikoreksi berdasarkan informasi bit yang lain, dimana dihubungkan oleh kode pengkoreksi *error* [27]. Pada simulasi sistem Wimax IEEE 802.16e ini, pengkodean yang dipergunakan memiliki *coding*

rate $r = 1/2, 1/3$, dan $2/3$ dengan jumlah *state* adalah 128 *state*, dan *generator polynomial* (dalam oktal) $g_0 = 255$ dan $g_1 = 162$.

3. **Interleaver**

Kondisi kanal *multipath* memungkinkan terjadinya *error* yang berurutan (*burst error*). *Interleaver* dirancang untuk menyebar pola urutan bit-bit yang sebenarnya, agar pengaruh dari *burst error* tidak menyebabkan pola *error* yang berurutan sebelum masuk *decoder*. Pada simulasi sistem dalam penelitian ini akan dipergunakan jenis *block interleaver* dengan skema baris x kolom adalah 26×10 , dengan kata lain satu kali pemrosesan *interleaver* memerlukan 260 bit.

4. **Signal mapper**

Signal mapper digunakan untuk membentuk data-data biner menjadi simbol-simbol data sesuai dengan konstelasi simbol tersebut. *Signal mapper* yang dipakai dalam konfigurasi pada penelitian ini adalah BPSK, QPSK, dan 8PSK.

5. **Subsistem Pengirim Wimax IEEE 802.16e**

Subsistem pengirim Wimax IEEE 802.16e terdiri dari blok-blok *serial to parallel converter*, *copier*, *spreader*, *IFFT*, dan *parallel to serial converter*.

6. **Space Time Block Codes (STBC) Encoder 1x1**

Setelah data disalin ke setiap *subcarrier*, akan dilakukan metode transmisi *Space Time Block Codes* sesuai dengan kode *Alamouti* untuk satu buah antenna pemancar dan satu buah antenna penerima.

7. **AWGN dan Kanal Fading**

Blok ini merupakan rangkaian dari blok kanal *multipath fading* terdistribusi Rayleigh yang berfungsi sebagai filter dan blok derau additif sebagai pengganggu sistem terdistribusi *Gaussian*.

8. **Space Time Block Codes (STBC) Decoder**

Dikarenakan perlakuan kanal, maka sinyal terima akan mengalami *distorsi*, termasuk didalamnya sinyal pilot.

9. **Subsistem Penerima Wimax IEEE 802.16e**

Subsistem penerima Wimax IEEE 802.16e terdiri dari blok-blok *serial to parallel converter*, *FFT*, *despreader*, *combiner*, dan *parallel to serial converter*.

10. **Signal Demapper**

Signal demapper digunakan untuk merekonstruksi data kirim berdasarkan nilai simbol data yang diterima sesuai dengan konstelasi modulasi yang dipergunakan pada pengirim.

11. **Block Deinterleaver**

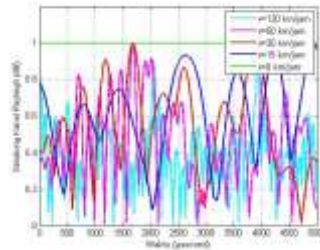
Blok ini memiliki fungsi kebalikan dari blok *interleaver* pada pengirim. *Deinterleaver* dirancang untuk mengumpulkan kembali bit-bit dari pola sebaran sebelumnya menjadi pola urutan bit yang sebenarnya, sehingga sesuai dengan pola bit yang dikirim sebelum blok *interleaver* di bagian pengirim.

12. Viterbi Decoder

Dekoder viterbi yang digunakan adalah hard decision viterbi decoder. Prinsip kerja dari dekode viterbi adalah berdasarkan prinsip maximum likelihood decoding dan pengetahuan akan diagram trellis pada convolutional encoder di pengirim

3.2 Analisa

• Analisis Sinyal pada Genarator Kanal Rayleigh



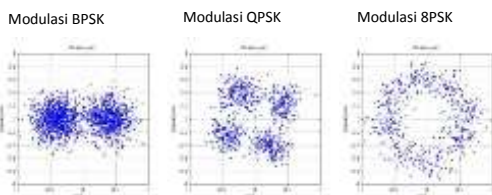
Gambar 3. Grafik Karakteristik Sinyal pada kanal *Rayleigh Fading*

Jumlah *fading* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan *user*. Jika *user* bergerak dengan kecepatan 120 km/jam sinyalnya akan sangat rapat apabila dibandingkan dengan *user* yang bergerak dengan kecepatan 50 km/jam. Begitu pula halnya *user* dengan kecepatan 50 km/jam, sinyalnya akan lebih rapat dibandingkan dengan *user* yang bergerak dengan kecepatan 30 km/jam, dan 15 km/jam. Sehingga semakin cepat pergerakan *user* maka semakin rapatnya sinyal (*frekuensi*) pada selubung kanal *rayleigh*. Untuk *user* dengan kecepatan 0 km/jam terlihat sinyalnya berbentuk garis lurus (*ideal*). Semua kejadian ini terjadi, disebabkan karena adanya perubahan *fasa* yang sangat cepat sehubungan dengan variasi panjang lintasan akibat pergerakan *user*. Sehingga semakin cepat pergerakan *user* maka semakin cepat perubahan *fasa* sinyal.

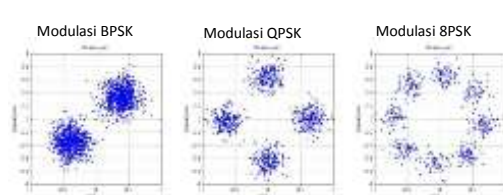
• Analisis Daerah Konstelasi Modulasi

Ini dapat kita buktikan dengan simulasi grafik konstelasi dengan menggunakan nilai SNR yang berbeda terhadap beberapa modulasi yang dipakai. Pada simulasi ini kecepatan *user* $v=50$ km/jam, $r=1/2$, subcarrier=128, $N=256 \times 3$, Modulasi yang digunakan BPSK, QPSK, dan 8PSK.

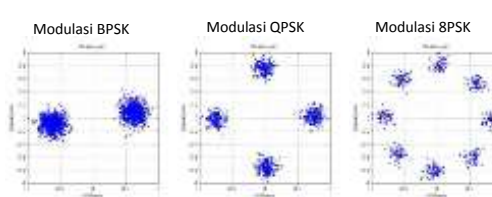
❖ SNR = 3 dB



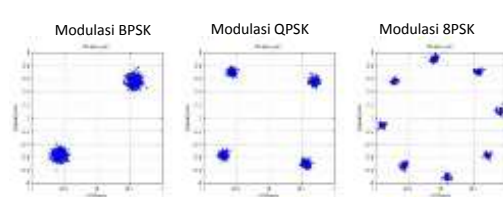
❖ SNR = 7 dB



❖ SNR = 12 dB



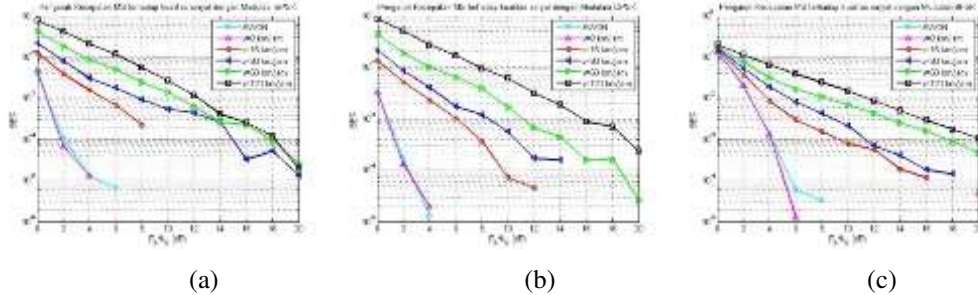
❖ SNR = 20 dB



Gambar.4 Diagram Konstelasi Modulasi (BPSK, QPSK, 8PSK) untuk nilai SNR bervariasi

Semakin besar nilai SNR, pola penyebaran kode-kode data semakin menyempit. Hal ini berarti bahwa nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan semakin kecil. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan sinkronisasi data di sistem penerima semakin kecil.

• **Analisis Pengaruh Kecepatan User terhadap BER**



Gambar.5 Grafik BER terhadap E_b/N_0 (a) Modulasi BPSK, (b) Modulasi QPSK, (c) Modulasi 8PSK

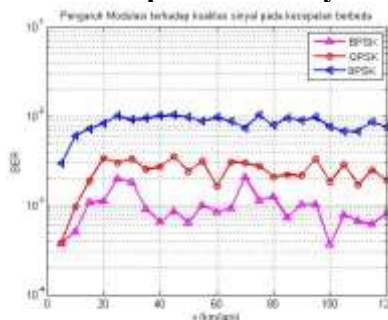
Pada modulasi BPSK, QPSK, dan 8PSK bahwa untuk memenuhi standar kualitas suara yaitu BER dibawah dari 10^{-3} untuk kecepatan yang berbeda didapatkan tabel BER terhadap E_b/N_0 sebagai berikut

Tabel.1 Nilai E_b/N_0 untuk kecepatan user yang berbeda

No.	Kecepatan (km/jam)	Modulasi BPSK	Modulasi QPSK	Modulasi 8PSK
		E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 (dB)
1	AWGN	0,6	0,6	4,2
2	0	0,6	0,6	4,2
3	15	5	6	9,2
4	30	7,9	8,4	11,5
5	50	10,8	11,2	17,6
6	120	12,2	15,8	20

Nilai E_b/N_0 akan terus membesar sesuai dengan pertambahan kecepatan *user*. Selain itu juga modulasi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan karena adanya kebutuhan sistem untuk memperbaiki error bit yang terjadi. Pada modulasi BPSK konstelasi sinyal terbagi menjadi 2 daerah keputusan, modulasi QPSK konstelasi sinyal terbagi menjadi 4 daerah keputusan, sedangkan modulasi 8PSK konstelasi sinyal menjadi 8 daerah keputusan. Hal ini menyebabkan semakin banyak daerah keputusannya, maka kemungkinan terjadinya error juga semakin besar, sehingga dibutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar untuk mengurangi error yang terjadi.

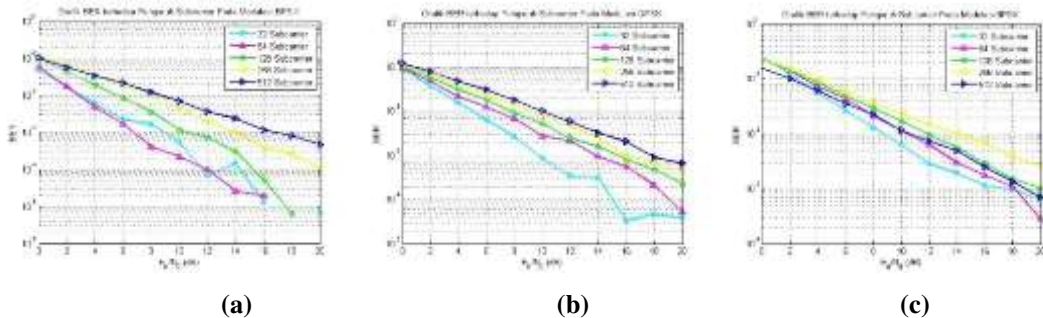
• **Analisis Pengaruh Modulasi terhadap Kualitas Sinyal**



Gambar 6. Grafik BER terhadap V untuk Modulasi BPSK, QPSK, dan 8PSK

Untuk simulasi pengaruh modulasi terhadap kecepatan user ini, sistem menggunakan SNR sebesar 12, *rate encoder* = 1/2. Pada modulasi BPSK, fluktuasi nilai BER masih berada disekitar 10^{-3} mulai dari kecepatan user 0 km/jam sampai dengan kecepatan user 120 km/jam, artinya sinyal suara yang diterima oleh sistem masih bisa dikatakan cukup baik. Sedangkan untuk sistem dengan menggunakan modulasi QPSK, sistem masih bisa menerima sinyal dengan baik sampai dengan kecepatan user dibawah 20 km/jam. Untuk modulasi 8PSK seperti tampak pada gambar 4.5 hampir fluktuasi nilai BER berada diatas *threshold* 10^{-3} , artinya modulasi 8PSK kurang cocok untuk digunakan pada sistem Wimax IEEE 802.16e. Fluktuasi nilai BER ini diakibatkan karena adanya kebutuhan E_b/N_0 yang besar oleh sistem untuk mengurangi error yang terjadi.

• **Analisis Pengaruh Subcarrier terhadap BER**



Gambar 7. Grafik BER terhadap E_b/N_0 Karena Pengaruh Subcarrier (a) Modulasi BPSK, (b) Modulasi QPSK, (c) Modulasi 8PSK

Pada simulasi analisis pengaruh subcarrier ini dilakukan pada kecepatan user 50 km/jam, subcarrier yang digunakan 32, 64, 128, 256, dan 512. Rate encoder yang digunakan $r=1/2$. Dari gambar 4.8, didapatkan nilai E_b/N_0 pada nilai BER sebesar 10^{-3} adalah sebagai berikut :

Tabel.2 Nilai E_b/N_0 untuk Nilai Subcarrier bervariasi (32, 64, 128, 256, 512)

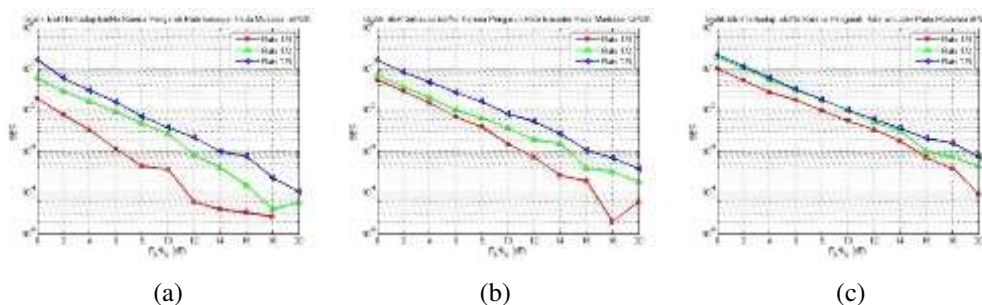
Subcarrier	Modulasi BPSK	Modulasi QPSK	Modulasi 8PSK
	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 (dB)	E_b/N_0 (dB)
32	9	9,8	18
64	7	14	18,2
128	10,5	15,5	> 20
256	14	16	> 20
512	16,8	18	19

Sistem yang menggunakan subcarrier besar membutuhkan nilai E_b/N_0 yang cukup besar. Pada Modulasi BPSK nilai E_b/N_0 untuk subcarrier diatas 128 bernilai >10 dB. Hal ini terjadi, karena semakin besar subcarrier yang digunakan akan mempersulit dalam proses sinkronisasi data di penerima untuk mencegah terjadinya error data yang dikirim. Walaupun data yang dikirim akan dianggap *flat fading*, akan tetapi semakin banyak subcarrier semakin sulit dalam proses sinkronisasi di penerima sehingga akan menambah nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan.

• **Pengaruh Rate Encoder terhadap BER**

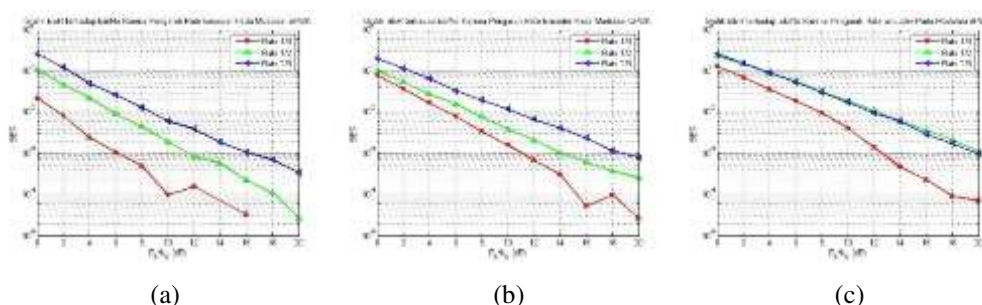
Pada simulasi ini menggunakan *rate encoder* yaitu 1/2, 1/3, dan 2/3 pada kecepatan user tertentu (15 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam) pada modulasi BPSK, QPSK, dan 8PSK.

❖ **Kecepatan User $v=15$ km/jam**



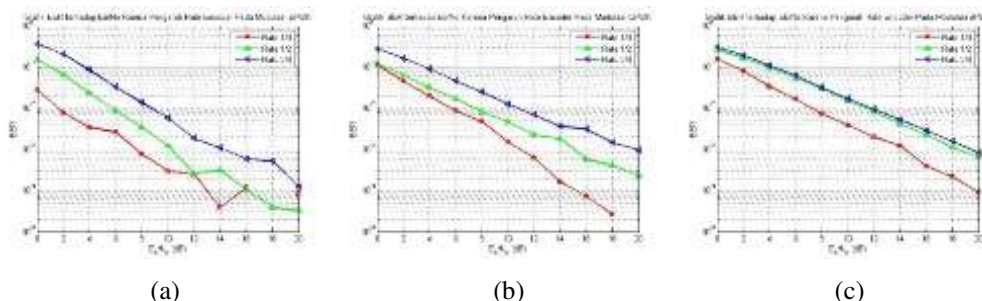
Gambar.8 Grafik BER terhadap E_b/N_0 Karena Pengaruh Rate Encoder $v=15$ km/jam (a)Modulasi BPSK, (b) Modulasi QPSK, (c) Modulasi 8PSK

❖ **Kecepatan User $v=50$ km/jam**



Gambar.9 Grafik BER terhadap E_b/N_0 Karena Pengaruh Rate Encoder $v=50$ km/jam (a) Modulasi BPSK, (b) Modulasi QPSK, (c) Modulasi 8PSK

❖ **Kecepatan User $v=120$ km/jam**



Gambar.10 Grafik BER terhadap E_b/N_0 Karena Pengaruh Rate Encoder $v=120$ km/jam (a) Modulasi BPSK, (b) Modulasi QPSK, (c) Modulasi 8PSK

Dari gambar diatas didapatkan nilai E_b/N_0 pada nilai BER sebesar 10^{-3} adalah sebagai berikut :

Tabel.3 Nilai E_b/N_0 terhadap BER untuk Nilai Rate Encoder Berbeda

Kecepatan User (km/jam)	Rate Encoder	E_b/N_0 (dB)		
		BPSK	QPSK	8PSK
15	1/2	6,0	11,0	15,2
	1/3	11,5	14,8	16,0
	2/3	14	16,0	19,0
50	1/2	6,0	11,0	12,8
	1/3	11,5	14,0	20,0
	2/3	16,0	18,4	20,0
120	1/2	7,5	11,0	14,4
	1/3	11,4	15,0	20,0
	2/3	16,2	20,0	20,0

Semakin besar nilai *rate encoder* yang digunakan, maka dibutuhkan E_b/N_0 yang besar. Selain itu, kecepatan user juga berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan level daya yang dibutuhkan oleh sistem komunikasi, supaya sinyal yang diterima berada di level nilai BER dibawah 10^{-3} , artinya ada upaya untuk menanggulangi *error bit* yang terjadi.

4. KESIMPULAN

1. Kecepatan pergerakan *user* sangat berpengaruh kepada *fluktuasi fading* pada kanal *rayleigh*. Jumlah *fading* semakin meningkat seiring meningkatnya kecepatan *user*. Pada kecepatan tinggi sinyal akan lebih rapat dibandingkan dengan kecepatan rendah. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan fasa yang sangat cepat sehubungan dengan variasi kecepatan dan panjang lintasan (diwakili oleh nilai SNR) akibat pergerakan *user*.
2. Semakin besar nilai SNR yang digunakan, maka pada diagram konstelasi didapatkan pola penyebaran bit-bit data yang semakin menyempit. Sehingga dalam sinkronisasi data akan lebih mudah dibandingkan dengan nilai SNR yang kecil.
3. Jenis modulasi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap Nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan. Dimana kebutuhan E_b/N_0 akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pergerakan *user*. Hal ini terjadi akibat adanya kebutuhan sistem untuk memperbaiki error bit yang terjadi. Pada modulasi BPSK pada nilai BER berfluktuasi akan tetapi masih berada dibawah level $BER = 10^{-3}$ pada kecepatan sampai dengan 120 km/jam, pada modulasi QPSK nilai $BER < 10^{-3}$ pada kecepatan dibawah 20 km/jam, sementara pada modulasi QPSK nilai $BER > 10^{-3}$ untuk seluruh kecepatan *user*.
4. Sehingga modulasi BPSK lebih baik dibandingkan dengan modulasi QPSK maupun 8PSK pada sistem dengan kondisi *user* yang bergerak
5. Semakin besar subcarrier yang digunakan akan berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan. Karena subcarrier yang besar akan mempersulit dalam proses sinkronisasi di penerima.
6. Semakin besar nilai *rate encoder* (Convolution Encoder) yang digunakan, maka nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan akan sangat besar. Karena dibutuhkan perbaikan daya supaya sinyal terima berada dibawah level nilai BER 10^{-3} .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunadi Dwi Hantoro. 2010. WiMAX : Teknologi BWA kini dan masa depan.
- [2] Suryana, J. 2006. *Overview Standar WiMAX IEEE 802.16*. Institut Teknologi Bandung, April 2006.
- [3] Suryana, J. 2009. *Perencanaan Sel WiMAX NLOS : Konsep Dasar*. Institut Teknologi Bandung, 2009
- [4] Rappaport , Theodore, S. 1996. *Wireless Communications, Principles & Practices*. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey :1996.
- [5] Sarmonikas, George. 2006. *WiMAX Deployment Workshop*. Telefolcal Asia. Singapore. 26-27 March 2006.
- [6] The IEEE 802.16 *Working group on Broadband Wireless Access Standards*. [online] Tersedia pada <http://ieee802.org/16>
- [7] V.S. Abhayawardhana, I.J. Wasell, D. Crosby, M.P. Sellars. M.G. Brown. 2005. *Comparison of Empirical Propagation Path Loss Model for Fixed Wireless Access Systems*. 61st IEEE Vehicular Technology Conference, Stockholm, Sweden, May 2005.

- [8] V. Erceg, K. V. S. Hari, 2001. *Channel models for fixed wireless applications*. tech. rep., IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, January 2001.
- [9] WiMAX Capacity and Coverage, Features and Factors Affecting Real World NLOS Performance, 033-100705-001, Issue 1. SYMMETRY Product. SR Telecom
- [10] WiMAX Capacity, WHITE PAPER 033-100743-001, ISSUE 1. SR Telecom
- [11] WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX – part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation*. Agustus 2006.
- [12] WiMAX Forum. 2004. *WiMAX's Technology for LOS and NLOS Environments*. Agustus 2004.
- [13] Wimax Forum. 2005. *WiMAX Deployment Considerations for Fixed Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz Licensed Bands*. Juni 2005
- [14] WiMAX Forum. 2004. *Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard*. 10 Oktober 2004
- [15] www.wimaxforum.org