

SIMULASI PEMODELAN KANAL SUI PADA SISTEM KOMUNIKASI WiMAX

Wendy Hutagaol. *, Imam Santoso **, R.Rizal Isnanto **
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstract

Wimax is a fourth-generation wireless communication technologies such as wireless communication systems before, wimax also has a different propagation model. Model propagation accompany delay variation values (μs), power (dB), K factor (dB), Doppler frequency (Hz). This model is called the propagation channel model of SUI (Stanford University Interim). Variety SUI channel model parameters determine the performance of communication wimax.

In this final project SUI channel models are analyzed using a simulation where SUI channel parameters were varied with six channels SUI condition from SUI -1 to SUI-6. While the performance was shown by graph of BER versus Eb/No. For wimax communication with IEEE 802.16d type digital modulation B-PSK and Q-PSK, accompanied by variations cyclic prefix value and bandwidth.

Wimax used for communication with the IEEE 802.16d type B-PSK digital modulation and Q-PSK, accompanied by variations cyclic prefix value and the width of the field frequency. Simulation test results show that the simulation SUI channel modulation type B-PSK with cyclic prefix = $1/4$ bandwidth = 5MHz able to improve the overall performance of the SUI channel. The six SUI channels are show best performance when it is range Eb/No 5dB to 10dB. Whereas while the SUI channel simulation test results modulation type B-PSK with cyclic prefix= $1/32$ bandwidth = 20MHz showed the worst performance while increasing the value of Eb/No range value BER between 10^0 until 10^{-1} for channel SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6.

Keywords: 802.16d, SUI channel, WiMAX, cyclic prefix.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tugas akhir ini merupakan kelanjutan dari hasil tugas akhir yang berjudul “Analisis Kanal SUI pada Sistem Komunikasi WiMAX” (Catur Pramono, 2009). Masalah yang dibahas pada Tugas Akhir tersebut adalah mengenai hubungan antara frekuensi dan *pathloss*, antara jarak dan *pathloss*, antara tinggi dan *pathloss*. Sedangkan tugas akhir ini lebih menyoroti pada kinerja WiMAX dengan menampilkan grafik hubungan antara BER dan Eb/No. WiMAX muncul untuk menjawab permasalahan yang ada di sektor *broadband*.

Ketika telepon dan jaringan lokal mulai beranjak ke sistem nirkabel, akses *broadband* untuk bisnis atau perumahan masih cenderung mengandalkan kabel untuk penyaluran data. Jelas hal ini merugikan operator sekaligus konsumen yang ada di luar jangkauan kabel tersebut. Standar WiMAX 802.16 yang telah disetujui oleh IEEE adalah solusi yang ideal untuk komunikasi nirkabel dengan cakupan yang lebih besar daripada standar 802.11. IEEE 802.16 memiliki spesifikasi formal untuk pengembangan *Broadband Wireless Metropolitan Area Network* atau WiMAX. Masalah pendeskripsian kanal menjadi penting karena kanal komunikasi nirkabel terutama yang berkenaan dengan arsitektural banyak sel dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti : *path loss*, *Multipath delay spread* karakteristik

fading, *Doppler Spread*, *co-channel interference* maupun *adjacent interference*.

Hal ini yang menjadikan setiap kanal menjadi unik. Permasalahan dasar yang muncul adalah pentingnya gambaran yang akurat mengenai kanal nirkabel karena kanal nirkabel tidak berkarakter seperti medium kabel yang lebih stabil. Hal inilah yang melatarbelakangi penulisan tugas akhir dengan melakukan pemodelan kanal SUI pada sistem komunikasi WiMAX

Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah menentukan kinerja masing-masing kanal SUI menggunakan parameter tipe modulasi, *cyclic prefix*, *bandwidth* dengan menampilkan kurva perbandingan BER terhadap Eb/No

Batasan Masalah

Pada pembuatan tugas akhir ini pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut:

- 1). Tipe modulasi yang digunakan B-PSK, Q-PSK.
- 2). Pada simulasi menggunakan tipe WiMAX 802.16d
- 3). Tipe kanal acuan adalah kanal *Rayleigh fading*.

II. DASAR TEORI

Pengertian WiMAX

Worldwide Interoperability Microwave Access merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat global menjadi satu kesatuan. Saat ini, ada teknologi akses *wireless* yang masih sering digunakan untuk pertukaran data, yaitu Wi-Fi atau *Wireless Fidelity*, namun teknologi Wi-Fi ini hanya dapat menjangkau area 100 meter dengan *throughput* maksimum sebesar 54 Mbps. Teknologi Wi-Fi ini menggunakan standar IEEE 802.11. IEEE juga mengeluarkan standar untuk teknologi *wireless* yang lain seperti standar 802.15 untuk PAN (*Personal Area Network*) dan standar 802.16 untuk WiMAX.

Pada jaringan selular juga telah dikembangkan untuk dapat mengalirkan data seperti GPRS (*General Packet Radio Services*), EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*), WCDMA (*Wireless Code Division Multiple Access*) dan HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Tabel 2.1 menunjukkan perkembangan teknologi *wireless*.

Tabel 2.1 perkembangan teknologi Wireless

	Wi-Fi 802.11g	WiMAX 802.16-2004	WiMAX 802.16e	CDMA2000 EV-DO 1x	WCDMA / UMTS
<i>Maximum Reach</i>	100 meter	8 km	5 km	12 km	12 km
<i>Maximum Throughput</i>	54 Mbps	75 Mbps	30 Mbps	2.4 Mbps	2 Mbps
<i>Typical Frequency Band</i>	2.4 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz	400,800,900,1700, 1800,1900,2100 MHz	1800,1900, 2100MHz
<i>Application</i>	Wireless LAN	Fixed Wireless Broadband	Portable Wireless Broadband	Mobile Wireless Broadband	Mobile Wireless Broadband

Standar WiMAX

Standar yang digunakan WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16. Varian dari standar 802.16 ini ialah : 802.16, 802.16a, 802.16d dan 802.16e. Varian standar 802.16 yang diadopsi WiMAX untuk penggunaan komunikasi tetap atau Fixed Wireless Access (FWA) adalah 802.16d atau 802.16-2004 yang telah direvisi pada tahun 2004

Standar 802.16d diperuntukan bagi layanan yang bersifat tetap maupun yang berpindah-pindah. Sistem ini menggunakan OFDM dan mendukung untuk kondisi lingkungan LOS dan NLOS. Perangkat 802.16d biasanya beroperasi pada band frekuensi 3.5 GHz dan 5.8 GHz.. Selanjutnya, varian yang digunakan untuk komunikasi bergerak (*mobile*) ialah 802.16e. pada bulan desember 2005 atau kita kenal dengan *mobile WiMAX* yang merupakan pengembangan dari standar sebelumnya. Sehingga dapat mendukung aplikasi *portable*

Perbedaan yang mendasar antar standar IEEE 802.16 dengan standar IEEE 802.16d adalah pada tipe perambatannya, dimana IEEE 802.16 memerlukan kondisi LOS sedangkan pada IEEE 802.16d dapat beroperasi pada kondisi LOS maupun NLOS. Pengembangan WiMAX di masa depan dibuat pula untuk mendukung mobilitas yang tinggi dengan teknologi *mobile fidelity* IEEE 802.20 dengan *mobile WiMAX* IEEE 802.16e, dimana kedua teknologi ini memiliki *bandwidth* yang lebih rendah dari IEEE 802.16 namun memiliki mobilitas yang sangat tinggi hingga kecepatan 125-250 km/jam.

IEEE 802.16 hanya cocok untuk aplikasi *backhaul* karena tidak mendukung jenis propagasi NLOS, sebaliknya untuk IEEE 802.16d dan IEEE 802.16e dapat digunakan untuk *backhaul* dan layanan *personal broadband*. Dua spesifikasi terakhir IEEE 802.16d dan IEEE 802.16e memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang akan cocok tergantung pada mobilitas pengguna, kecepatan data yang diinginkan dan jangkauan BS. Spektrum frekuensi 802.16d

Kanal SUI (*Stanford University Interim*)

Menspesifikasikan kanal dengan skenario tertentu. Hal ini jelas bahwa ada banyak kemungkinan kombinasi parameter untuk mendapatkan kanal yang dideskripsikan. Enam kanal SUI dikelompokkan kedalam tiga kategori topografi untuk wilayah Amerika Serikat. Model ini bisa dikembangkan untuk simulasi, desain, pengembangan, dan pengujian teknologi yang sesuai dengan aplikasi *nirkabel broadband*. Ada 6 jenis parameter SUI yang dideskripsikan seperti dibawah ini

Tabel 2.6 Tipe topografi kanal SUI

Tipe topografi	Kanal SUI
C	SUI-1, SUI-2
B	SUI-3, SUI-4
A	SUI-5, SUI-6

Tabel 2.7 Parameter model SUI

Doppler	<i>Low delay spread</i>	<i>Moderate delay spread</i>	<i>High delay spread</i>
Low	SUI-3		SUI-5
High		SUI-4	SUI-6

Doppler	<i>Low delay spread</i>	<i>Moderate delay spread</i>	<i>High delay spread</i>
Low	SUI-1, SUI-2		
High			

Parameter dari masing-masing kanal SUI seperti pada tabel berikut :

		SUI-1		Tipe terrain : C	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	0.4	0.9	μ s	
Daya	0	-15	-20	dB	
Faktor K (90%)	4	0	0	dB	
Frek. Doppler	0.4	0.3	0.5	Hz	
		SUI-2		Tipe terrain : C	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	0,4	1,1	μ s	
Daya	0	-12	-15	dB	
Faktor K (90%)	2	0	0	dB	
Frek. Doppler	0,2	0,15	0,25	Hz	
		SUI-3		Tipe terrain : B	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	0,4	0,9	μ s	
Daya	0	-5	-10	dB	
Faktor K (90%)	1	0	0	dB	
Frek. Doppler	0,4	0,3	0,5	Hz	
		SUI-4		Tipe terrain : B	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	1,5	4	μ s	
Daya	0	-4	-8	dB	
Faktor K (90%)	0	0	0	dB	
Frek. Doppler	0,2	0,15	0,25	Hz	
		SUI-5		Tipe terrain : A	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	4	10	μ s	
Daya	0	-5	-10	dB	
Faktor K (90%)	0	0	0	dB	
Frek. Doppler		1,5	2,5	Hz	

		SUI-6		Tipe terrain : A	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan	
Delay	0	14	20	μ s	
Daya	0	-10	-14	dB	
Faktor K (90%)	0	0	0	dB	
Frek. Doppler	0.4	0.3	0,5	Hz	

III. SIMULASI PROGRAM

Gambaran Awal Program

Program simulasi ini dibuat oleh warga negara spanyol bernama Carlos Batllés Ferrer , program ini diberi nama “Simulation and Performnace Analysis Of The 802.16 “. Simulasi dirancang menggunakan perangkat lunak Matlab 7.0.1. Matlab memiliki kemudahan dan fitur yang lebih lengkap dibanding beberapa pemograman lainnya serta kemampuan dalam melakukan simulasi matematis .

Program “Simulation and Performnace Analysis Of The 802.16 “ ini terdiri dari lima bagian yaitu :

- 1 Menyimulasikan setiap kanal SUI dengan beberapa modulasi yang berbeda seperti : B-PSK, Q-PSK, 16-QAM, 64-QAM.
- 2 Menyimulasikan setiap kanal SUI dengan beberapa *cylic prefix* yang berbeda nilainya seperti :1/4, 1/8, 1/16, 1/32.
- 3 Menyimulasikan setiap kanal SUI ketika tanpa menggunakan *encoding* dan menggunakan *encoding*.
- 4 Menyimulasikan setiap kanal SUI dengan jenis SUI yang berbeda seperti :SUI-1, SUI-2, SUI-2, SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6.
- 5 Menyimulasikan setiap kanal SUI dengan *bandwidth* yang berbeda nilainya.

Akan tetapi dalam Tugas Akhir ini hanya menggunakan opsi nomor 4 yaitu menyimulasikan setiap kanal SUI dengan jenis kanal SUI yang berbeda-beda.Pada Simulasi ini akan menampilkan kinerja dari masing-masing SUI dan dibandingkan dengan kondisi secara teori menggunakan kanal *rayleigh*.

Penetapan Parameter Program Simulasi

- 1 Tipe *guard interval* adalah *cylic prefix* yang dipakai : 1/4, 1/32..
- 2 Tipe modulasi B-PSK atau Q-PSK.
- 3 Lebar pita kanal yang dipakai dalam program simulasi ini yaitu :1.5MHz, ,5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz.

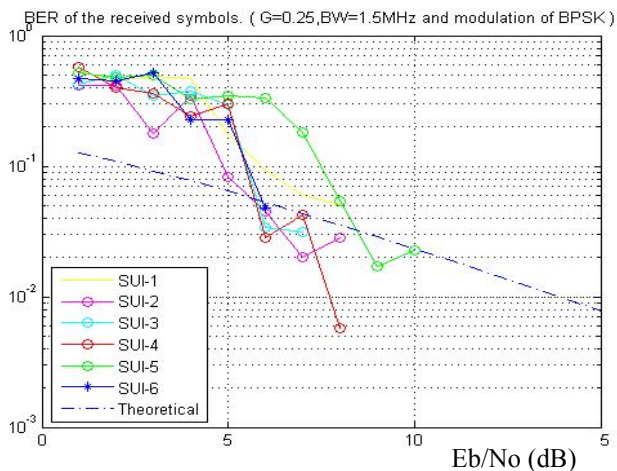
IV. Analisis Dan Pembahasan

Analisis Karakteristik Kanal SUI

Pada simulasi kanal SUI menggunakan guard interval (G) dengan tipe cyclic prefix. Untuk membandingkan hasil kanal SUI dengan kanal *rayleigh fading* pada grafik menggunakan tanda garis putus-putus (theoretical).

Tipe Modulasi B-PSK

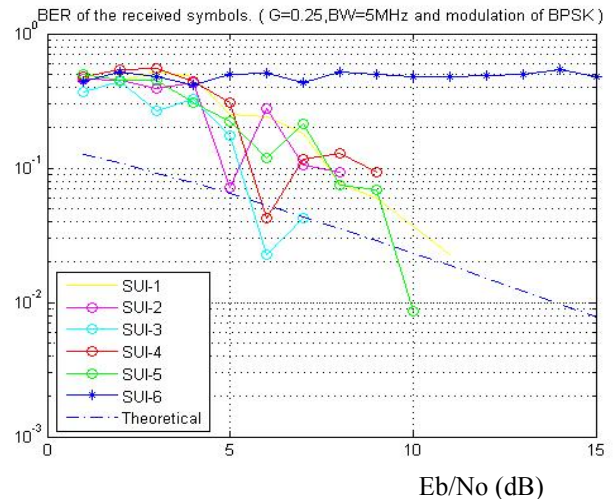
Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi B-PSK, cyclic prefix = 1/4, bandwidth = 1.5MHz. dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Kurva BER untuk G=1/4 dan BW=1.5MHz

Gambar 4.1 menunjukkan kondisi kanal SUI ketika modulasi B-PSK digunakan untuk 6 kanal yang berbeda. Secara umum untuk kisaran Eb/No 0dB sampai dengan 5db SUI-1, SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6 menampilkan kinerja yang buruk ketika penambahan nilai Eb/No tidak terjadi perbaikan kualitas sinyal dengan BER tidak menurun secara signifikan sedangkan pada kanal SUI-2 dengan tipe terrain C pada Eb/No 5dB nilai BER semakin kecil dan hampir mendekati perhitungan secara teori, tampak pada gambar 4.1 SUI-2 hampir mendekati kanal *rayleigh fading* (teoritis). Berikutnya untuk kisaran nilai Eb/No 5dB s/d 10dB kanal SUI-2, SUI-3, SUI-4, SUI-5 menunjukkan kinerja terbaik dimana keempat kanal tersebut berada di bawah kurva kanal rayleigh fading.

Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi B-PSK, cyclic prefix = 1/4, bandwidth = 5.0MHz. dapat dilihat pada gambar 4.2

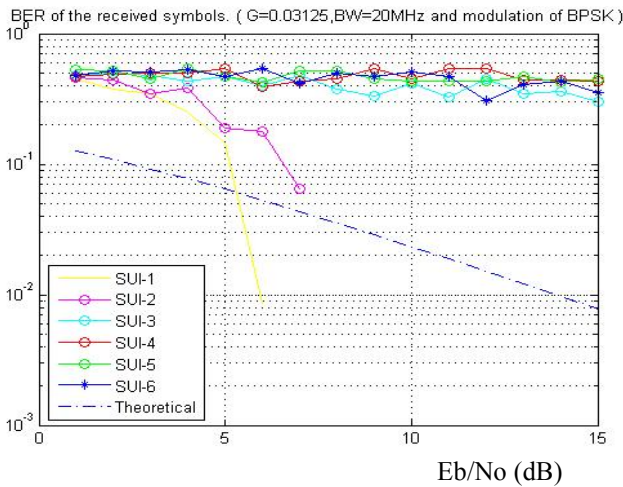


Gambar 4.2 Kurva BER untuk G=1/4 dan BW=5MHz

Tampak jelas dari gambar 4.2 dengan nilai kisaran Eb/No 0dB sampai dengan 5dB. Kinerja kanal SUI-1, SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6 tidak sesuai dengan yang diharapkan ini terbukti ketika kurva di atas menunjukkan bertambahnya nilai Eb/No tidak memperbaiki kualitas sinyal. Keempat kanal SUI tersebut berada di atas kurva kanal *rayleigh fading*. Kinerja terbaik ditunjukkan oleh kanal SUI-2 dengan penambahan lebar kanal sebesar 3.5MHz mampu meningkatkan kualitas sinyal yang diterima oleh penerima. untuk kisaran Eb/No dari 5 dB sampai dengan 10 dB kinerja kanal SUI-3 dan SUI-5 semakin membaik dapat dilihat pada kurva di atas kedua kanal ini berada di bawah kurva kanal rayleigh fading. Sedangkan kanal SUI-6 memiliki kinerja yang sangat buruk dimana ketika penambahan nilai Eb/No yang cukup besar tidak memperbaiki kualitas sinyal kurva BER berada pada posisi konstan. Ini disebabkan oleh SUI-6 memiliki delay spread yang besar.

Gambar 4.3 menunjukkan lebar pita kanal yang cukup besar. Untuk nilai Eb/No 0dB sampai dengan 15dB kanal SUI-1 dan SUI-2 mengalami perbaikan kinerja. Karena bertambahnya nilai Eb/No mampu mengurangi nilai BER yang cukup besar dengan BER yang kecil kualitas sinyal yang diterima sangat baik. Kanal SUI-1 sangat berpengaruh dengan bertambahnya lebar pita kanal dan cyclic prefix, kurva kanal SUI-1 berada di bawah kurva kanal *rayleigh fading*. Sedangkan kanal SUI-3, SUI-4, SUI-5, dan SUI-6 kinerjanya semakin buruk dengan bertambahnya nilai CP=1/32 dan BW=20MHz.

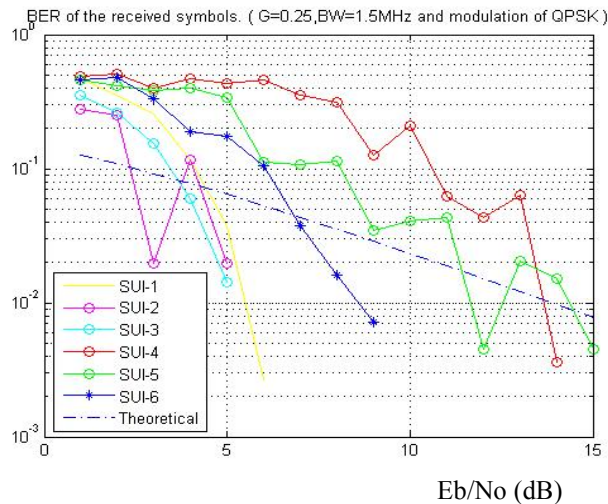
Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi B-PSK, cyclic prefix = 1/32, bandwidth = 20MHz. dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.3 Kurva BER untuk G=1/32 dan BW=20 MHz

Tipe Modulasi Q-PSK

Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi Q-PSK, *cyclic prefix* = 1/4, *bandwidth* = 1.5MHz. dapat dilihat pada gambar 4.4.

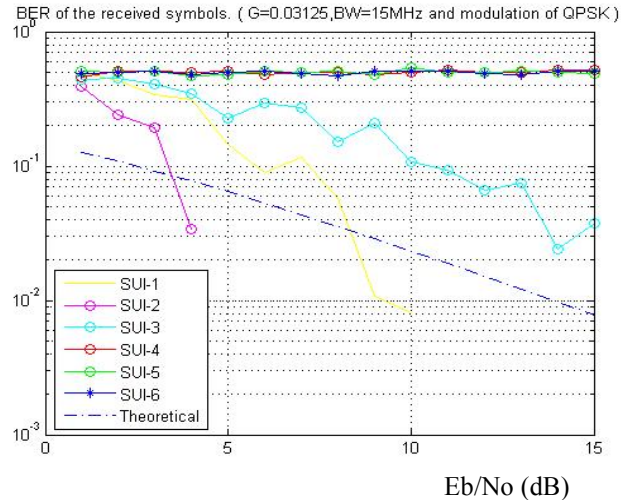


Gambar 4.4 Kurva BER untuk G=1/4 dan BW=1.5MHz

Pada simulasi sebelumnya menggunakan tipe modulasi B-PSK, gambar 4.4 menunjukkan simulasi kanal SUI dengan tipe modulasi Q-PSK. Ketika kisaran nilai Eb/No 0dB sampai dengan 5dB kanal SUI-1, SUI-2, SUI-3 mengalami perbaikan dengan nilai BER yang semakin kecil dan kinerja kanal berada di bawah kurva kanal *rayleigh fading*. Sehingga dengan nilai Eb/No yang cukup kecil kanal ini mampu menerima sinyal dengan baik. Selanjutnya untuk nilai Eb/No 5dB sampai dengan 15dB kanal SUI-4, SUI-5, SUI-6 mengalami perbaikan yang signifikan juga, akan tetapi ketiga kanal SUI ini membutuhkan Eb/No yang cukup besar untuk menurunkan nilai BER. Secara

keseluruhan untuk tipe modulasi Q-PSK dengan *cyclic prefix*=1/4 kanal SUI-1, SUI-2, SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6 berkinerja baik dengan error yang kecil

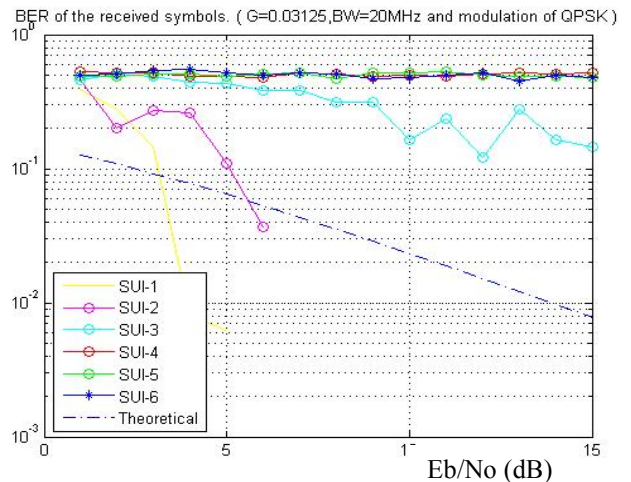
Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi Q-PSK, *cyclic prefix* = 1/32, *bandwidth* = 15MHz. dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Kurva BER untuk G=1/32 dan BW=15MHz

Untuk kisaran nilai Eb/No 0dB sampai dengan 10 dB kanal SUI-1 dan SUI-2 berada pada di bawah kurva kanal *rayleigh fading*. Semakin besar nilai Eb/No maka nilai BER semakin kecil maka sinyal yang diterima pada sisi penerima semakin baik meskipun terjadi fading. Kanal SUI-3 masih menampilkan performa yang baik akan tetapi perlu dilakukan optimasi pada sistem supaya sesuai dengan yang diharapkan berdasarkan teori dengan membandingkan pada kanal *rayleigh fading*. Bertambahnya lebar pita kanal tidak mempengaruhi kinerja dari kanal SUI-4, SUI-5, SUI-6. Seperti pada gambar 4.5 kurva ketiga kanal tersebut relatif konstan ini karena *delay spread* yang sangat besar.

Hasil dari simulasi kanal SUI untuk teknik modulasi Q-PSK, *cyclic prefix* = 1/32, *bandwidth* = 20MHz. dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Kurva BER untuk G=1/32 dan BW=20MHz

Pada gambar 4.6 merupakan hasil simulasi kanal SUI. Ketika kisaran nilai Eb/No 0dB sampai dengan 5 dB kurva kanal SUI-1 menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan nilai Eb/No yang kecil kanal ini berada di bawah kurva *rayleigh fading*. Jadi Kanal SUI-1 sesuai dengan diharapkan secara teori. Seperti kanal SUI-2 ketika kisaran nilai Eb/No 5dB sampai dengan 10db pada gambar 4.20 membandingkan bahwa kanal ini juga tidak perlu dilakukan optimasi karena sudah sesuai hasil teori dengan hasil simulasi. Akan tetapi kinerja kedua kanal ini berbeda dengan kinerja beberapa kanal lainnya seperti kanal SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6. Keempat kanal tersebut berada di atas kurva kanal *rayleigh fading*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil simulasi kanal SUI tipe modulasi B-PSK dengan *cyclic prefix* = $1/4$ *bandwidth* = 5MHz mampu memperbaiki secara keseluruhan kinerja kanal SUI. Keenam kanal SUI tersebut menunjukkan performa terbaik ketika berada pada kisaran Eb/No 5dB sampai dengan 10 dB. Penambahan lebar pita kanal pada nilai *cyclic prefix* = $1/4$, tidak mempengaruhi kinerja kanal SUI-5, SUI-6 kedua kanal SUI tersebut berada pada kisaran nilai BER antara 10⁻¹ dan 100.

Hasil simulasi kanal SUI tipe modulasi B-PSK dengan *cyclic prefix* = $1/32$ *bandwidth* = 20MHz menunjukkan kinerja terburuk ketika peningkatan nilai Eb/No kisaran nilai BER antara 10⁻¹ dan 100 untuk kanal SUI-3, SUI-4, SUI-5, SUI-6. Hasil simulasi kanal SUI tipe modulasi Q-PSK dengan *cyclic prefix* = $1/4$ *bandwidth* = 5MHz menunjukkan kinerja terbaik, keenam kanal SUI berada di daerah kurva kanal *rayleigh fading*. Meskipun pada kanal SUI-4, SUI-5 membutuhkan kisaran Eb/No 10dB sampai dengan 15dB supaya berada dibawah kurva kanal *rayleigh fading*.

Penambahan *cyclic prefix* menjadi $1/32$ tidak mampu mengurangi nilai BER kanal SUI-5, SUI-6 untuk tipe modulasi B-PSK dan Q-PSK meskipun nilai Eb/No sampai dengan 15dB. Hasil simulasi kanal SUI tipe modulasi Q-PSK dengan *cyclic prefix* = $1/32$ *bandwidth* = 15MHz, 20MHz menunjukkan kinerja terburuk ketika peningkatan kisaran nilai Eb/No dari 5dB sampai dengan 15dB tidak mengurangi nilai BER untuk kanal SUI-4, SUI-5, SUI-6.

Saran

Untuk pengembangan selanjutnya dalam proses simulasi kanal SUI dengan menggunakan tipe modulasi yang berbeda yaitu : 16-QAM, 64-QAM. Simulasi kanal SUI ketika menggunakan *encoding* dan tanpa menggunakan *encoding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Usman, U.K., *Pengantar Ilmu Telekomunikasi*, Informatika Bandung, Bandung, 2008.
- [2] Wibisono, U.K Usman, dan G.D. Hantoro., *Konsep Teknologi Seluler*, Informatika Bandung, Bandung, 2008
- [3] Smith, C., *Wireless Teleom FAQs*, Mc.Graw Hill, 2000
- [4] _____, *Kupas Tuntas Teknologi Wimax*, Andi Yogyakarta dan Wahana Komputer, 2009.
- [5] Purbo, O.W., *Modul Seminar Nasional Pengenalan Teknologi Wimax*, Progam Studi Ilmu Komputer Undip, 2009
- [6] Proakis, J.G., *Digital Communication*, Mc.Graw Hill, 1989.
- [7] Saydam, Gouzali, *Teknologi Telekomunikas Perkembangan dan Aplikasi*, Alfabeta, 2005
- [8] Hantoro, G.D., *Mempelajari WiMAX Secara Tutorial dan Visual*, Informatika Bandung, 2008
- [9] _____, WiMAX 802.16d, www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/, Februari 2010.
- [10] _____, WiMAX, www.itttelkom.ac.id/library/, Februari 2010.



Wendy Hutagaol (L2F004523) Lahir di Pematang Siantar, Sumatra Utara. Pendidikan SMU di SMUN 4 P.Siantar, saat ini sedang menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang dengan konsentrasi Elektro Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan
Pembimbing I

Imam Santoso, S.T., M.T.

NIP. 197007272000121001

Pembimbing II

R.Rizal Isnanto, S.T., M.M., M.T.

NIP. 197007272000121001