

Analisa Kinerja Kode Konvolusi pada Sistem *Successive Interference Cancellation Multiuser Detection* CDMA dengan Modulasi QAM Berbasis Perangkat Lunak

Karina Meyrita Dewi¹, Yoedy Moegiharto²

¹Mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi

²Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Surabaya 601111

e-mail : karinameyrita@gmail.com

ABSTRAK

Pada Proyek Akhir ini dilakukan Analisa Kinerja Kode Konvolusi pada Sistem *Successive Interference Cancellation Multiuser Detection* CDMA dengan Modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* Berbasis Perangkat Lunak. Encoder kode konvolusi digunakan di sisi *transmitter* dengan *rate* 1/2 dan decoder di sisi *receiver* menggunakan algoritma viterbi. Hasil berupa kurva nilai BER terhadap fungsi SNR.

Dari hasil simulasi didapatkan hasil bahwa pada sistem tanpa menggunakan kode konvolusi memiliki kinerja yang lebih baik karena sudah mencapai BER 10^{-3} ketika SNR 15.5 dB sedangkan sistem tanpa menggunakan kode konvolusi belum dapat mencapai nilai BER 10^{-3} . Pada system perbandingan *stage* pada SIC menunjukkan bahwa penggunaan SIC 3 *stage* memiliki kinerja yang lebih baik 1.5 dB dibandingkan dengan jika menggunakan 1 atau 2 *stage* saja. Sedangkan untuk sistem dengan menggunakan 6 *user* memiliki kinerja yang lebih baik 9.5 dB jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan 10 *user*.

Kata Kunci : BER, *Convolution Code*, CDMA, *Quadrature Amplitude Modulation*, *Successive Interference Cancellation*, *multipath fading*

1. Pendahuluan

Pada sistem CDMA semua *user* menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Setiap *user* dibedakan dengan suatu kode unik (*pseudorandom code*). Dengan penggunaan frekuensi dan waktu yang sama ini menyebabkan CDMA lebih rentan terhadap interferensi. Semakin besar interferensi yang terjadi maka kapasitas CDMA pun akan semakin kecil. Selain itu dengan semakin banyaknya jumlah *user* menyebabkan adanya MAI (*Multiple Access Interference*). Untuk mengatasi

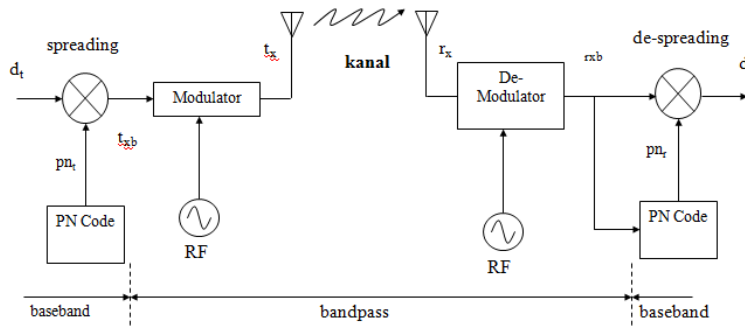
fenomena MAI ini digunakan teknik *multiuser detection* (MUD), yang salah satu tekniknya adalah *Successive Interference Cancellation* (SIC).

Media transmisi pada sistem CDMA adalah udara, yang mengakibatkan CDMA lebih rentan terhadap adanya fenomena *multipath fading*. Selain itu dengan adanya *multipath fading* juga dapat pula menyebabkan variasi sinyal terima yang sangat besar karena sinyal-sinyal tersebut dapat saling menguatkan maupun saling melemahkan. Sehingga hal ini dapat mengakibatkan rusaknya sebagian besar informasi. Untuk mengatasi fenomena ini dibutuhkan teknik *coding*, yang salah satunya adalah teknik *convolutional code*. Teknik pengkodean kanal dibutuhkan untuk mendapatkan nilai QOS yang diharapkan. Teknik pengkodean kanal yang baik adalah teknik pengkodean kanal yang menghasilkan BER (*Bit Error Rate*) yang rendah.

2. Teori Penunjang

2.1 Spread Spectrum

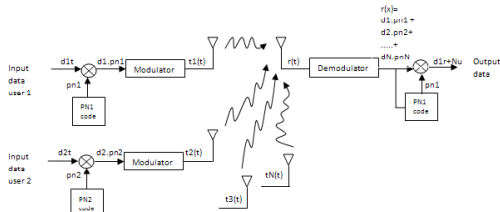
Spread spectrum adalah teknik memancarkan sinyal pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pita frekuensi yang dibutuhkan pada transmisi standard (misal; TDMA, FDMA). Sistem spread spectrum memiliki keistimewaan yang khas, yaitu sinyal yang ditransmisikan memiliki lebar pita yang jauh lebih besar dari lebar pita informasi, dimana penyebaran spektrum tersebut dilakukan oleh fungsi penyebar tersendiri, yang tidak tergantung pada informasi yang disampaikan. Salah satu macam teknik yang sering digunakan untuk penyebaran/modulasi signal CDMA adalah teknik *Direct Sequence Spread Spectrum* (DS-SS). Berikut adalah blok diagram untuk sistem DS-SS.



Gambar 1. Sistem Direct Sequence Spread Spectrum

2.2 CDMA

Prinsip dasar dari CDMA secara sederhana adalah sejumlah user menggunakan resource band RF yang sama namun setiap user dibedakan dengan menggunakan kode-kode orthogonal. Hal ini menyebabkan CDMA lebih tahan terhadap interferensi dan noise. Untuk menandai user yang memakai spektrum frekuensi yang sama, CDMA menggunakan kode yang unik yaitu PRCS (Pseudo – Random Code Sequence). Pada penerapan CDMA dalam sistim komunikasi bergerak juga terjadi berbagai masalah, antara lain efek *near-far* dan *multipath fading*. Berikut ini adalah blok diagram system CDMA.



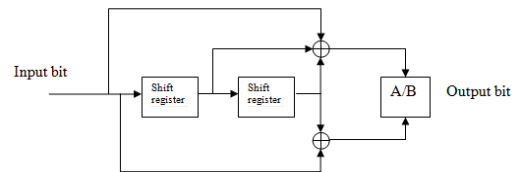
Gambar 2. Blok Diagram Sistem CDMA

2.3 Kode Konvolusi

Kode konvolusi adalah jenis kode yang memiliki perbedaan mendasar dari block code dimana urutan bit informasi tidak dikelompokkan dalam blok-blok yang berbeda sebelum dikodekan. Pada kode konvolusi (*convolutional code*) bit-bit pesan yang diterima secara kontinu akan dioperasikan untuk bisa menghasilkan aliran bit-bit output yang kontinu juga. Proses encoding yang diterapkan melakukan operasi biner yang khusus pada bit-bit masukan (sumber dikonvolusi) sehingga menghasilkan deretan bit keluaran. Jadi, bit-bit output tidak hanya bergantung pada bit-bit yang sedang diproses saja, melainkan juga bergantung pada deretan sebelumnya dari bit-bit sumber. Dengan demikian dibutuhkan suatu bentuk dari memori. Dalam prakteknya bentuk memori ini dapat berupa shift register dengan panjang tertentu yang dikenal dengan nama constrain length dan konvolusi yang dilakukan adalah dengan membentuk dua buah adder modulo-2 yang melakukan operasi XOR.

2.3.1 Proses encoding

Kode konvolusi dihasilkan dengan melewati urutan informasi yang akan dikirim melalui sebuah shift register. Secara umum shift register terdiri dari K (k-bit) tahap dan n fungsi aljabar linear generator. Input data ke encoder yang berupa bilangan biner, digeser ke dalam dan sepanjang shift register k bit pada waktu itu. Jumlah bit output untuk setiap urutan input k-bit adalah n bit. Parameter K disebut panjang batas dari kode konvolusional. Pada rangkaian konvolusional encoder ini terdapat dua komponen dasar yaitu shift register dan gerbang ex-or, dimana gerbang ex-or ini berupa komponen adder. Seperti gambar di bawah ini merupakan contoh dari bentuk rangkaian *convolutional encoder* generator yang terdiri dari 2 buah shift register.



Gambar 3. Rangkaian Convolutional Encoder (2,1,2)

Dari gambar rangkaian tersebut dapat dibuat table state-nya, sebagai acuan untuk penentuan bit output dan next state baik dalam proses encoding maupun decoding.

state	Input 0		Input 1	
	output	Next state	output	Next state
S1=00	00	00	11	10
S2=01	11	00	00	10
S3=10	10	01	01	11
S4=11	01	01	10	11

Tabel 1. Table State Kode Konvolusi

2.3.2 Proses decoding

Fungsi dari decoder adalah untuk menentukan deretan bit output yang paling mirip dengan aliran bit input yang diberikan dan pengetahuan dari encoder yang digunakan oleh sumber. Proses decoding equivalen adalah dengan membandingkan

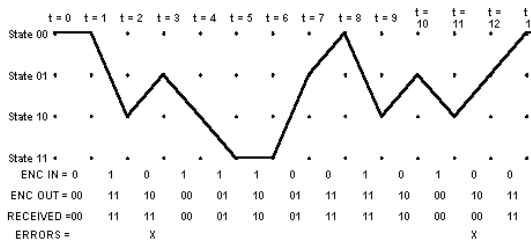
deretan bit yang diterima dengan deretan bit yang mungkin dihasilkan pada proses encoder dan memilih deretan bit yang paling dekat dengan deretan bit yang diterima. Untuk menentukan deretan bit yang paling dekat adalah dengan cara menghitung hamming distancenya. Deretan bit yang memiliki hamming distance paling minimumlah yang akan dipilih sebagai deretan bit outputnya. Jenis algoritma yang digunakan pada *deconvolutional decoder* untuk mengetahui urutan bit yang benar digunakan algoritma viterbi, teknik yang sering digunakan adalah teknik trellis

2.3.2.1 Algoritma Viterbi

Salah satu teknik *forward error correction* untuk kode konvolusi adalah algoritma viterbi. *Convolutional code* dengan viterbi decoder adalah sebuah FEC teknik yang sesuai dengan sebuah sinyal yang berada dalam saluran additive white gaussian noise (AWGN). Cara kerja dari algoritma viterbi sendiri adalah dengan mencari jarak minimum terkecil yang memiliki nilai akumulasi error matrix yang terkecil. Algoritma viterbi biasanya menggunakan trellis diagram untuk penggambarannya.

Untuk mendapatkan nilai akumulasi error matrix yang terkecil dari output encoder kode konvolusi diperlukan data tentang state output dari enkoder kode konvolusi tersebut. Gambar 4 akan menggambarkan tentang hubungan state selanjutnya dan output pada encoder kode konvolusi jika diberi input bernilai 1 atau jika input bernilai 0. Pada gambar tersebut jika input bernilai 1 maka akan digambarkan dengan garis lurus dan tebal, jika input bernilai 0 maka digambarkan dengan garis putus-putus.

Dengan mengetahui hubungan antara input,output, state dan next state maka akan mengerti bagaimana mencari akumulasi error yang terkecil yang sesuai dengan encodernya

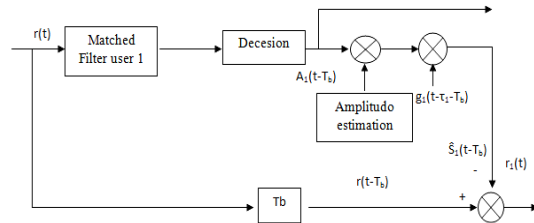


Gambar 4. Hasil algoritma viterbi berdasarkan akumulasi error matrik terkecil

2.4 Successive Interference Cancellation (SIC)

SIC (Successive Interference Cancellation) adalah detektor yang mendeteksi user secara serempak. SIC beroperasi secara sederhana mengurangi pertambahan dari MAI dengan pengurangan kekuatan sinyal dari user. Cara kerja

dari SIC yaitu membatalkan sinyal interferensi dengan daya terkuat terlebih dahulu atau yang paling dianggap mengganggu, lalu diikuti oleh sinyal dengan daya terkuat selanjutnya, dan seterusnya sampai diperoleh bentuk sinyal yang diinginkan. SIC awalnya memberi peringkat dahulu terhadap kekuatan dari sinyal tersebut sebelum dibatalkan, yang diperoleh dengan estimasi kanal terpisah atau langsung dari detektor konvensional.



Gambar 5. Successive Interference Cancellation – Stage pertama

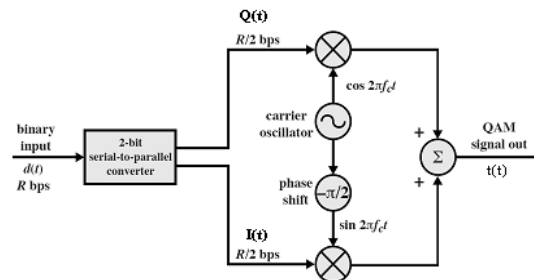
setelah pengguna ke-k terdeteksi dan di-cancel, maka akan didapatkan sinyal yang dirumuskan sebagai berikut :

$$r_{jk} = r(t) - \sum_{j=1}^k A_j \hat{d}_j g_j \dots \dots \dots (1)$$

2.5 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature amplitude modulation (QAM) merupakan bentuk modulasi digital dimana informasi digital terdiri dari amplitudo dan fase sinyal carrier. Pada QAM, fase dan *amplitude* dari sinyal *carrier* diubah-ubah untuk melambangkan data.

Sistim modulasi QAM sebenarnya mirip sistim PSK, tetapi pada QAM selain perbedaan fase, antar simbol juga dibedakan oleh amplitudonya, sehingga perbedaan antar simbol pada sistim QAM lebih besar dari pada PSK yang sama (8 PSK dengan 8 QAM, dst). Gambar berikut menunjukkan diagram blok modulator QAM :



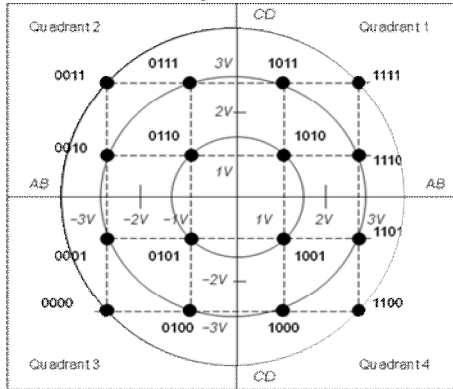
Gambar 6. Diagram Blok Modulator QAM

Secara matematis persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S(t) = I(t).sin w_c t + Q(t).cos w_c t \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (2), dapat dilihat bahwa sinyal QAM dapat dibentuk dengan menjumlahkan sinyal

sinus pada amplitudo $I(t)$ dan sebuah sinyal cosinus dengan amplitudo $Q(t)$. Kata *quadrature* pada QAM berasal dari kedua *carrier* yang berbeda fase 90° . Pada diagram konstelasi untuk QAM, sumbu x merupakan sumbu yang mewakili sin sesuai dengan persamaan (1) dan disebut sebagai sumbu I (Inphase), sedangkan sumbu y adalah sumbu yang mewakili cos dan disebut sebagai sumbu Q (Quadrature). Berikut adalah gambaran diagram konstelasi untuk 16-QAM.



Gambar 7. Diagram Konstelasi sinyal 16-QAM

3. Metodologi

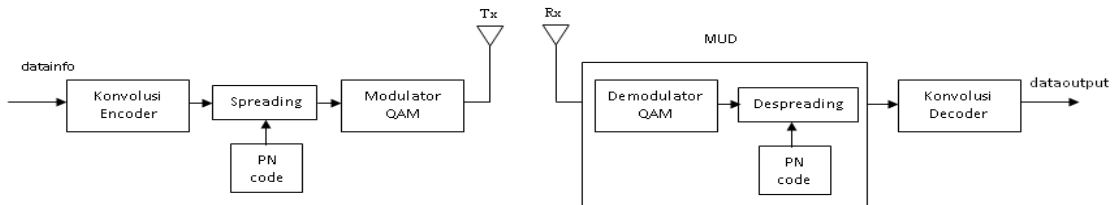
Pada proyek akhir ini akan dibahas kinerja sistem komunikasi menggunakan kode konvolusi untuk mengatasi efek dari *multipath fading*. Untuk menentukan kinerja tersebut ditunjukkan dengan nilai probabilitas kesalahan bit/ *Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi SNR. Perancangan program simulasi dan visualisasi tersebut berdasarkan blok

diagram keseluruhan proses yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini.

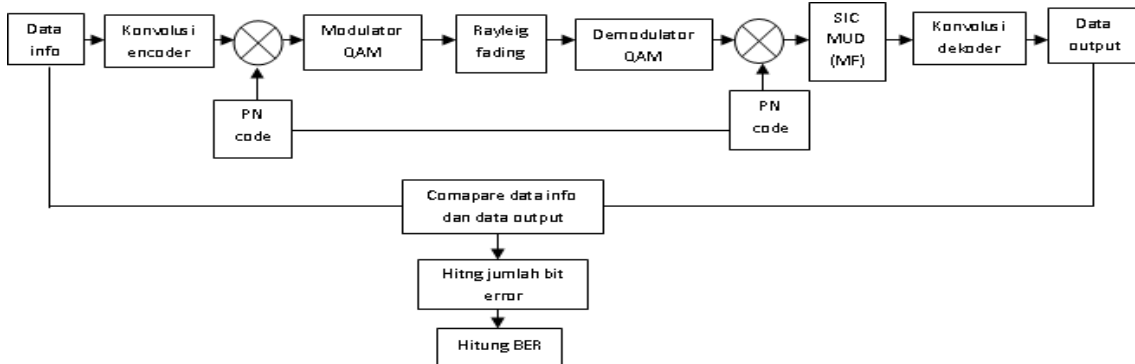
Dalam system ini, pada transmitter sinyal data info akan dibangkitkan secara random sepanjang N bit. Selanjutnya dilakukan proses konvolusi encoding dan juga proses spreading, yang dimana pembangkitan PN code -nya menggunakan jenis gold code 31 bit. Keluaran dari proses ini akan masuk pada proses modulasi QAM sebelum akhirnya dikirimkan ke penerima. Pada kanal transmisi dari system ini digunakan Rayleigh fading channel.

Di sisi penerima, akan diterima banyak sekali sinyal (interferensi) termasuk data kita, karena system ini menggunakan prinsip CDMA. Untuk mengatasi masalah ini digunakan teknik *multiuser detection* (MUD) jenis *successive interference cancellation*, yang nantinya interferensi tersebut akan dibuang secara serial dimulai dari interefresi yang paling kuat, dan seterusnya sampai interferensi yang mengganggu data kita berkurang atau bahkan hilang. Pada proses MUD ini juga terjadi proses demodulasi dan despreading. Hasil output dari proses ini akan menjadi input dari proses decoding dengan menggunakan teknik algoritma viterbi. Output dari proses decoding, merupakan hasil akhir output dari system ini.

Setelah data output system didapatkan, selanjutnya kita hitung nilai BER (*Bit Error Rate*) terhadap SNR. Nilai BER ini diperoleh dari menghitung jumlah error antara data info dan data output terlebih dahulu lalu dibagi jumlah N bit data yang digunakan. Berikut adalah gambaran untuk blok diagram simulasi dan visualisasi sitem.



Gambar 8. Blok Diagram Rancangan Visualisasi



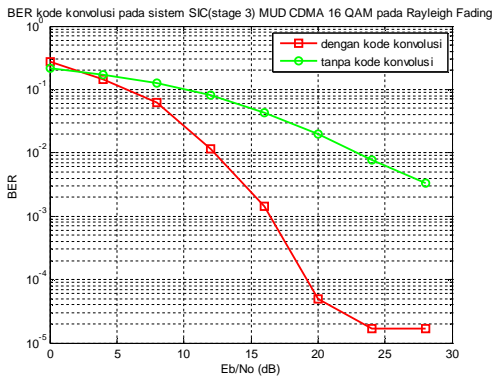
Gambar 9. Blok Diagram Simulasi Sistem

4. PENGUJIAN SISTEM

Setelah dilakukan proses pembuatan system seperti langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas, selanjutnya dilakukan proses penjalanan (running) program. Dan hasilnya adalah sebagai berikut :

4.1 Hasil Simulasi Sistem dengan dan tanpa Kode Konvolusi

Pada tahapan ini dilakukan perbandingan nilai BER antara system yang menggunakan kode konvolusi dengan system yang tidak menggunakan kode konvolusi. Untuk teknik modulasinya digunakan teknik modulasi yang sama, yaitu 16 QAM dan jumlah bit yang dibangkitkan adalah 60.000 bit dengan 10 user.

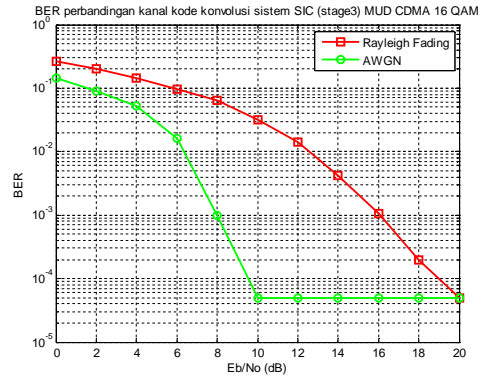


Gambar 10. Perbandingan BER dengan dan tanpa kode konvolusi

Dari Gambar 10 terlihat bahwa sistem dengan menggunakan kode konvolusi memiliki penurunan nilai BER yang lebih tajam daripada system yang tidak menggunakan kode konvolusi. Pada awalnya ketika menggunakan SNR 0 sampai dengan 2 dB, terlihat bahwa nilai BER sistem yang tidak menggunakan kode konvolusi lebih baik, namun setelah menggunakan SNR selanjutnya tampak terlihat bahwa sistem yang menggunakan kode konvolusi memiliki kinerja yang jauh lebih baik. Dengan range SNR yang digunakan yaitu antara 0 dB sampai dengan 28 dB dengan kelipatan 4dB, untuk sistem dengan menggunakan kode konvolusi dapat mencapai nilai standard komunikasi suara 10⁻³ ketika SNR bernilai ≈ 15.5 dB. Sedangkan untuk sistem yang tidak menggunakan kode konvolusi belum dapat mencapai nilai BER 10⁻³

4.2 Hasil Simulasi Sistem dengan Beda Kanal

Pada tahapan ini dilakukan perbandingan nilai BER antara system yang menggunakan kanal AWGN dengan system yang menggunakan kanal Rayleigh Fading. Untuk teknik modulasinya digunakan teknik modulasi yang sama, yaitu 16 QAM, dengan proses SIC stage 3, dan jumlah bit yang dibangkitkan adalah 20.000 bit dengan 10 user.

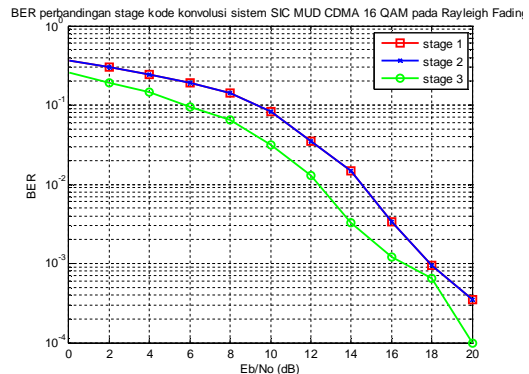


Gambar 11. Perbandingan BER dengan kanal yang berbeda

Dari Gambar 11 terlihat bahwa kinerja system pada kanal AWGN lebih baik jika dibandingkan dengan system yang menggunakan kanal Rayleigh Fading. Hal ini ditunjukkan dari hasil simulasi untuk system yang menggunakan kanal Rayleigh Fading dengan range SNR 0 sampai dengan 20 bisa mencapai nilai BER 10⁻³ ketika SNR-nya adalah 16 dB. Sedangkan ketika menggunakan kanal AWGN nilai BER 10⁻³ bisa dicapai ketika SNR-nya adalah 8 dB. Selain itu pada kanal AWGN dengan SNR 10 dB sampai dengan 20 dB sudah bisa mencapai hampir nilai BER minimum (0.0001) sehingga tampak grafiknya datar sampai 20 dB.

4.3 Hasil Simulasi System dengan Perbandingan Stage pada SIC

Pada tahapan ini dilakukan perbandingan stage pertama, stage kedua dan stage ketiga nilai BER antara system yang menggunakan SIC. Untuk teknik modulasinya digunakan teknik modulasi yang sama, yaitu 16 QAM dan jumlah bit yang dibangkitkan adalah 20.000 bit dengan 10 user, selain itu sistem ini juga menggunakan kanal Rayleigh Fading.



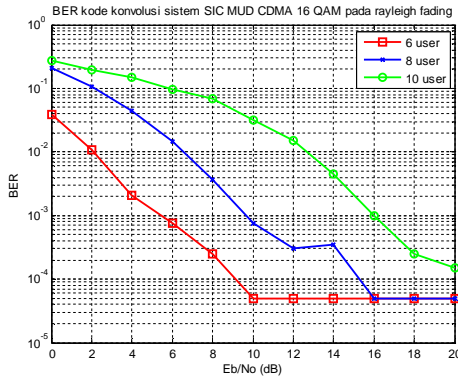
Gambar 12 Perbandingan BER antara Stage1, 2, 3

Dari Gambar 12 terlihat bahwa grafik BER untuk stage 3 terlihat lebih baik daripada grafik BER untuk stage 1 dan stage 2. Untuk stage 2 dan stage 3 secara grafik sekilas terlihat tidak ada

perbedaan, tapi ketika melihat pada Tabel 4-3 baru terlihat bahwa ketika SNR 0dB sampai dengan 2 dB memiliki perbedaan. Untuk stage pertama ketika SNR 0 dB nilai BER yang dicapai 0.3671 dan untuk SNR 2dB mencapai 0.3038. Sedangkan untuk untuk stage kedua ketika SNR 0 dB nilai BER yang dicapai 0.3670 dan untuk SNR 2dB mencapai 0.3031. lalu untuk SNR selanjutnya nilai BER yang dicapai sama. Sehingga dari hasil ini dapat dikatakan bahwa ketika SNR 0 dB sampai dengan 2 dB kinerja dari hasil stage kedua sedikit lebih baik jika dibandingkan untuk hasil dari stage pertama, dan untuk selanjutnya kinerja keduanya sama. Nilai BER baru terlihat sangat berbeda ketika dilakukan proses sampai stage ketiga. Pada stage 1 dan stage 2, kinerja system dapat mencapai nilai 10^{-3} ketika SNRnya adalah ≈ 18 dB. Sedangkan ketika menggunakan stage ketiga (pengurangan 3 user yang dianggap paling mengganggu) kinerja system dapat mencapai nilai BER 10^{-3} ketika SNRnya adalah 16,5 dB.

4.4 Hasil Simulasi System dengan Perbandingan User

Pada tahapan ini dilakukan perbandingan antara sistem yang menggunakan 6 user, 8 user dan 10 user. Untuk teknik modulasinya digunakan teknik modulasi yang sama, yaitu 16 QAM dan jumlah bit yang dibangkitkan adalah 20.000 menggunakan Rayleigh Fading.



Gambar 13 Perbandingan BER untuk Jumlah User yang Berbeda

Dari Gambar 13 terlihat bahwa pada SNR yang sama yaitu 10 dB, dengan kapasitas sebanyak 6 user menghasilkan nilai BER $0.0001 (> 10^{-4})$, dengan kapasitas sebanyak 8 user menghasilkan BER $0.0008 (> 10^{-3})$ sedangkan untuk system dengan kapasitas 10 user menghasilkan BER sebesar $0.0320 (> 10^{-1})$. Agar BER sesuai standar sistem komunikasi suara yaitu 10^{-3} maka nilai SNRnya pada sistem yang berkapasitas 10 user harus dinaikkan. Dari hasil tersebut dapat dikatakan

bahwa semakin banyak user yang digunakan maka kinerja sistemnya juga akan makin buruk, hal ini dikarenakan semakin banyak user yang digunakan maka efek MAI pada system juga akan makin tinggi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan kode konvolusi dapat memperbaiki kinerja sistem. Hal ini ditunjukkan dari pencapaian nilai BER 10^{-3} antara 0-28 dB, pada sistem dengan konvolusi pencapaian nilai BER terjadi ketika SNR 15.5 dB
2. Kinerja Successive Interference Cancellation pada sistem kode konvolusi CDMA dengan modulasi 16 QAM pada kanal Rayleigh menunjukkan bahwa semakin banyak terjadi pengurangan user (stage) maka makin baik pula kinerja system tersebut. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi yang menunjukkan bahwa pencapaian nilai BER 10^{-3} terjadi dengan selisih 1.5 dB.
3. Semakin banyak user yang digunakan, kinerja system makin buruk dikarenakan dengan semakin banyak user maka MAI nya pun juga makin tinggi sehingga penanganan system khususnya untuk SIC harusnya juga harus makin tinggi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pulin Patel, Jack Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12 No.5, June 1994
- [2] Michael Buehrer, Neiyer S. Correal-Mendoza, dan Brian D. Woerner "A Simulation Comparison of Multiuser Receivers Cellular CDMA", *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, Vol 49 No.4, Juli 2000
- [3] G Leija-Hernández, M Badaoui Y A Iturri-Hinojosa, "Performance Analysis of Convolutional Coding in CDMA Communication Systems", *Journal of Vectorial Relativity*, Dec. 2009
- [4] Rina Riati "Tugas Akhir Analisa Kinerja Kode Konvolusi Pada Sistem Successive Interference Cancellation Multi User Detection CDMA Berbasis Lunak", PENS-ITS, Surabaya, 2010
- [5] Peter Ang, Multiuser Detection for CDMA Systems – power point presentation, 2001