

Analisa Kinerja Space Time Block Coding pada Sistem Successive Interference Cancellation Multiuser Detection CDMA dengan Modulasi QPSK Berbasis Perangkat Lunak

Andhini Dwitasari, Yoedy Moegiharto
 Jurusan Teknik Telekomunikasi - Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Kampus PENS-ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya.
 Telp : +62+031+5947280; Fax. +62+031+5946011
 Email : andhini.dwitasari@yahoo.com

Abstrak

Pada proyek akhir ini, dilakukan analisa kinerja *Space Time Block Coding* (STBC) pada sistem *Successive Interference Cancellation* (SIC) *Multi User Detection* (MUD) CDMA. Hasilnya berupa kurva nilai *bit error rate* (BER) sebagai fungsi *signal noise to ratio* (SNR).

Dari hasil simulasi menunjukkan kinerja STBC untuk antenna 2Tx-1Rx lebih baik 8.51dB daripada tanpa menggunakan STBC, untuk antenna 2Tx-2Rx lebih baik 11.74dB daripada tanpa menggunakan STBC. Untuk antenna 2Tx-1Rx 3 *stage* memiliki kinerja sistem lebih baik 8.17dB daripada 1 *stage*, untuk antenna 2Tx-2Rx 3 *stage* kinerja sistemnya lebih baik 8.827dB dibandingkan 1 *stage*. Sedangkan untuk antenna 2Tx-1Rx dengan 4 *user* memiliki kinerja 9.342dB lebih baik jika dibandingkan dengan 20 *user* untuk SIC 3 *stage*. Untuk antenna 2Tx-2Rx dengan 4 *user* memiliki kinerja 8.18dB lebih baik jika dibandingkan dengan 20 *user* untuk SIC 3 *stage*.

Kata kunci : CDMA, *multiple access interference*, *successive interference cancellation*, *multipath fading*, *space time block coding* dan QPSK.

1. Pendahuluan

CDMA adalah teknik akses jamak didasarkan pada teknik *direct sequence spread spectrum*, yang menempati kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama, setiap pengguna ditandai dengan suatu kode khusus sehingga dengan adanya kode khusus ini maka sebuah penerima dapat memodulasikan sinyal dari pengguna tertentu dan menganggap sinyal dari pengguna lain sebagai *Multiple Access Interference*. Untuk mengurangi pengaruh *Multiple Access Interference* diterapkan algoritma *multiuser detector* salah satunya adalah *Successive Interference Cancellation*^[2].

Dalam sistem komunikasi *wireless*, perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda. Sinyal yang melalui lintasan yang berbeda-beda dapat mengalami pelemahan, perusakan, waktu tunda dan pergeseran fase yang berbeda pula sehingga timbul gejala pelemahan daya dan perubahan bentuk sinyal. Kejadian ini disebut dengan *multipath fading*. Kinerja dari suatu sistem komunikasi dapat menurun secara drastis akibat adanya *multipath fading*. Salah satu metode untuk mengatasi akibat buruk dari adanya *multipath fading* dengan diterapkan *Space Time Block Coding*^[3].

2. Teori Penunjang

2.1. Spread Spectrum

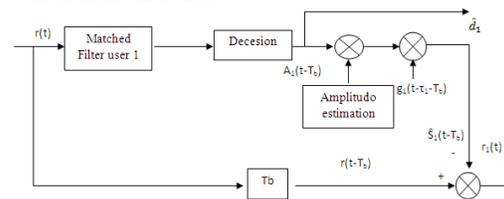
Sistem komunikasi dikatakan sebagai sistem *spread spectrum*, bila sistem tersebut memiliki rangkaian penyebar (*spreading*) yang berfungsi untuk mengkodekan sinyal informasi dengan suatu kode tertentu untuk menebarkan spektrum energi sinyal informasi dan menyebarkannya ke dalam bandwidth yang jauh lebih lebar dari bandwidth yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal informasi data. Proses pelebaran bandwidth sinyal informasi ini dilakukan pada sisi pengirim dan disebut *spreading*. Sebaliknya, proses penyempitan kembali bandwidth sinyal informasi dilakukan di sisi penerima, dan di sebut *despreading*. Salah satu teknik dalam *spread spectrum* adalah *direct sequence spread spectrum*.

2.2. Multiuser Detection

Multi user detectecion adalah suatu teknik yang mengasumsikan daya yang di terima dari semua pengguna adalah tetap, sekaligus memodulasikan semua sinyal yang di terima dari semua pengguna secara bersamaan. Dalam proyek akhir ini akan dilakukan analisa pada sub optimal *multi user detector* yang bersifat non linier yaitu *Successive Interference Cancellation*.

2.3. Successive Interference Cancellation

SIC (*Successive Interference Cancelation*) adalah dtektor 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 1. Blok SIC Detektor untuk Pengguna ke-1^[4]

Sinyal yang diterima berdasarkan gambar 1. dapat ditulis:

$$r(t) = \sum_{k=1}^k Ak(t)gk(t - \tau k).dk(t - \tau k) + n(t) \dots(1)$$

Dimana :

- r(t) = Sinyal yang diterima
- k = pengguna
- Ak = Deretan amplitudo
- gk = Deretan *Chip (Spread Chip Sequence)*
- dk = data modulasi
- τk = *Delay* untuk pengguna k
- n(t) = *Noise AWGN (Additive White Gaussian Noise)*

pada langkah terakhir, setelah *user-k* terdeteksi dan di *cancel* maka akan didapatkan sinyal yang dirumuskan :

$$r_{k(t)} = r(t) - \sum_{j \neq k} A_j g_j d_j \dots(2)$$

2.4. Space Time Block Coding

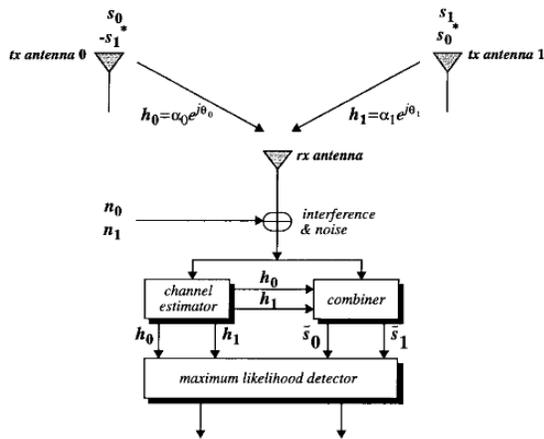
Sebuah STBC biasanya diwakili oleh sebuah matriks. Setiap baris mewakili sebuah *timeslot* dan setiap kolom merupakan salah satu antenna transmisi dari waktu ke waktu. Dimana pada waktu timeslot pertama (t) antenna Tx₀ mengirimkan simbol S₀ dan antenna Tx₁ mengirimkan simbol S₁. Dan pada waktu timeslot kedua (t+T) antenna Tx₀ mengirimkan simbol -S₁* dan antenna Tx₁ mengirimkan simbol S₀*.

$$\begin{matrix} & T_{x0} & T_{x1} \\ t & \begin{bmatrix} S_0 & S_1 \end{bmatrix} \\ t+1 & \begin{bmatrix} -S_1^* & S_0^* \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Gambar 2. Matrik STBC

2.4.1. Dua antenna pemancar, satu antenna penerima

Pada periode simbol tertentu, dua buah sinyal ditransmisikan secara bersamaan dari dua antenna pemancar yang berbeda. Sinyal yang ditransmisikan dari antenna pemancar dinotasikan sebagai S₀ dan untuk antenna pemancar kedua dinotasikan S₁. Pada periode simbol berikutnya sinyal (-S₁*) ditransmisikan dari antenna pemancar pertama, sedangkan simbol (S₀*) ditransmisikan dari antenna pemancar kedua.



Gambar 3. STBC 2Tx-1Rx^[5]

Kanal pada time t terbentuk oleh complex multiplicative distortion (penyimpangan distorsi) h₀(t)

pada antenna pemancar 1 dan h₁(t) pada antenna pemancar 2. Bila diumpamakan 2 simbol tersebut memiliki *fading* (pelemahan daya sinyal yang diterima) yang konstan maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0(t+T) = h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \dots(3)$$

dimana T adalah simbol dari periode. Kemudian sinyal pada antenna penerima dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \dots(4)$$

dimana r₀ dan r₁ adalah sinyal yang diterima pada antenna penerima waktu timeslot pertama (t) dan timeslot kedua (t + T) dan n₀ dan n₁ adalah simbol dari *noise* dan interferensi.

Rancangan Combiner (combiner scheme)

Sinyal – sinyal yang diterima pada antenna penerima akan masuk ke alat yang disebut *combiner*, dimana terdapat kanal estimates. Sehingga sinyal menjadi :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* \end{aligned} \dots(5)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (3),(4), dan (5) maka didapatkan bentuk sinyal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\ \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0 n_0^* + h_1^* n_1 \end{aligned} \dots(6)$$

Maximum Likelihood Detector

Sinyal dari *combiner* akan masuk ke *Maximum Likelihood detector* untuk melakukan keputusan, dimana diharapkan sinyal yang didapatkan adalah sama dengan sinyal input, yaitu s₀ dan s₁. Sehingga apabila sinyal yang didapat mendekati sinyal aslinya maka dianggap tidak terjadi kesalahan. Pada *Maximum Likelihood Detector* berlaku rumus sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^m (|r_0^j - \alpha_{0,j} s_0 - \alpha_{1,j} s_1|^2 + |r_1^j + \alpha_{0,j} s_1^* - \alpha_{1,j} s_0^*|^2) \dots(7)$$

Untuk s₀ didapatkan persamaan dengan memilih s_i pada sinyal PSK (Phase Shift Keying)

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_k) \dots(8)$$

Untuk sinyal PSK

$$|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s \dots(9)$$

Dimana persamaan E_s adalah merupakan energi sinyal. Sehingga didapatkan persamaan :

$$d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_k) \dots(10)$$

Hal tersebut berarti apabila nilai s_i kurang dari atau sama dengan s_k maka dianggap tidak terjadi kesalahan sehingga sinyal yang dikeluarkan adalah s₀. Demikian juga untuk sinyal s₁, dengan memilih s_i sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

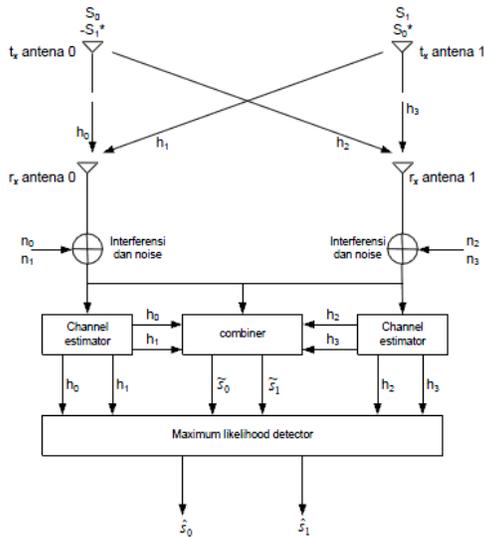
$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_k) \dots(11)$$

Untuk sinyal PSK diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$d^2(\tilde{s}_1, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_1, \tilde{s}_k) \dots(12)$$

2.4.2. Dua Antena Pemancar, dua Antena Penerima

Pada saat t , T_{x0} memancarkan sinyal S_0 dan T_{x1} memancarkan sinyal S_1 , kemudian saat $t+1$, T_{x0} memancarkan sinyal $-S_1^*$ dan T_{x1} memancarkan sinyal S_0^* . Tanda * merupakan operasi konjuget. Pada proses *encoding* sinyal yang dipancarkan dipengaruhi *fading*. Kemudian diterima oleh antena penerima dimana sinyal yang diterima tersebut juga dipengaruhi oleh *noise*. Sinyal yang diterima oleh antena penerima kemudian masuk kedalam *combiner* dimana di dalamnya terdapat kanal *estimate* yang fungsinya adalah untuk mengestimasi sinyal yang diterima. Setelah mengalami estimasi kemudian sinyal tersebut masuk ke dalam blok *Maximum Likelihood Detector* untuk melakukan proses pengambilan keputusan.



Gambar 4. STBC 2Tx-2Rx

Dari gambar 4. terlihat bahwa pada antena r_{x0} persamaan sinyal yang diterima adalah :

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad \dots(13)$$

sedangkan pada antena r_{x1} persamaan sinyalnya adalah:

$$\begin{aligned} r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad \dots(14)$$

Sinyal – sinyal yang diterima pada antena penerima akan masuk ke alat yang disebut *combiner*, dimana terdapat kanal *estimate*. Sehingga sinyal menjadi :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \end{aligned} \quad \dots(15)$$

Persamaan (13) dan (14) didistribusikan ke persamaan (15) sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^* \\ \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 - h_0 n_1^* + h_1^* n_0 - h_2 n_3^* + h_3^* n_2 \end{aligned} \quad \dots(16)$$

Maximum Likelihood Detector

Sinyal dari *combiner* akan masuk ke *Maximum Likelihood detector* untuk melakukan keputusan, dimana diharapkan sinyal yang didapatkan adalah sama dengan sinyal input, yaitu s_0 dan s_1 . Sehingga apabila sinyal yang didapat mendekati sinyal aslinya maka dianggap tidak terjadi kesalahan. Sinyal-sinyal s_0 dan s_1 yang didapat dari blok *combiner* kemudian dilewatkan ke *maximum likelihood detector* yang kemudian menentukan simbol apakah yang sesungguhnya dikirimkan.

Pada *maximum Likelihood Detector* berlaku rumus sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^m (|r_0^j - \alpha_{0j} s_0 - \alpha_{1j} s_1| + |r_1^j + \alpha_{0j} s_1^* - \alpha_{1j} s_0^*| + |r_2^j - \alpha_{2j} s_0 - \alpha_{3j} s_1| + |r_3^j + \alpha_{2j} s_1^* - \alpha_{3j} s_0^*|) \quad \dots(17)$$

Untuk s_0 didapatkan persamaan dengan memilih s_i pada sinyal PSK (*Phase Shift Keying*)

$$\begin{aligned} (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \\ s_i \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_k) \end{aligned} \quad \dots(18)$$

Untuk sinyal PSK

$$|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s \quad \dots(19)$$

Dimana persamaan E_s adalah merupakan energi sinyal. Sehingga didapatkan persamaan :

$$d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_k) \quad \dots(20)$$

Hal tersebut berarti apabila nilai s_i kurang dari atau sama dengan s_k maka dianggap tidak terjadi kesalahan sehingga sinyal yang dikeluarkan adalah \tilde{s}_0 . Demikian juga untuk sinyal s_j , dengan memilih s_i sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

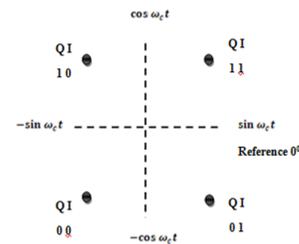
$$\begin{aligned} (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_i) \\ s_i \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_k) \end{aligned} \quad \dots(21)$$

Untuk sinyal PSK diperoleh persamaan sebagai berikut :

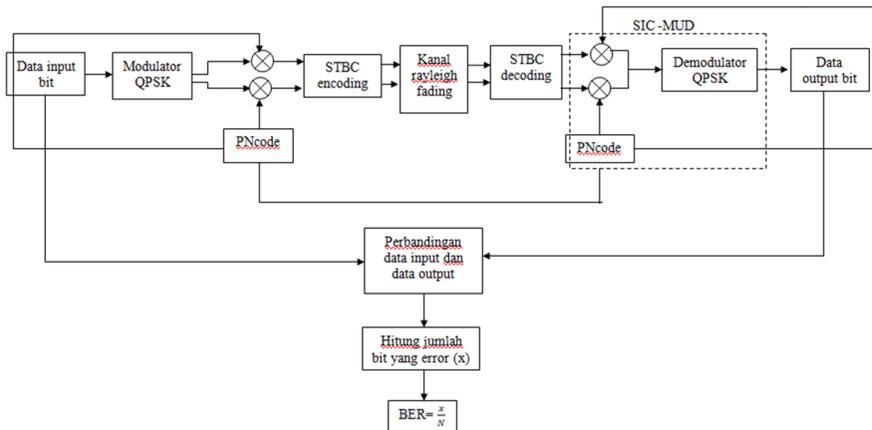
$$d^2(\tilde{s}_j, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_j, \tilde{s}_k) \quad \dots(22)$$

2.5. Modulasi QPSK

Pada modulasi QPSK, sebuah sinyal pembawa sinusoidal diubah-ubah phasanya dengan menjaga tetap konstan amplitude dan frekwensinya. Istilah "quadrature" mengartikan terdapat 4 kemungkinan phase (4-PSK) yang dimiliki oleh sinyal pembawa pada satu waktu. Dalam teknik modulasi QPSK dapat mengkodekan 2 bit per simbol/ setiap simbol dapat mewakili dua bit sekaligus (00, 01, 10 dan 11) yang dinamakan dibit. Berikut ini diagram konstelasi QPSK:



Gambar 5. Diagram konstelasi QPSK Menggunakan Gray Coding^[6]



Gambar 6. Blok diagram simulasi sistem

2.6. Metodologi

Pada proyek akhir ini akan dibahas kinerja *space time block coding* untuk mengatasi efek dari *multipath fading* serta pada sistem *Successive Interference Cancellation* untuk mengatasi adanya interferensi yang disebabkan oleh pengguna lain yang disebut dengan *Multiple Access Interference* (MAI). Untuk menentukan kinerja tersebut ditunjukkan dengan nilai probabilitas kesalahan bit/ *Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi SNR. Perancangan program simulasi berdasarkan blok diagram gambar 6 :

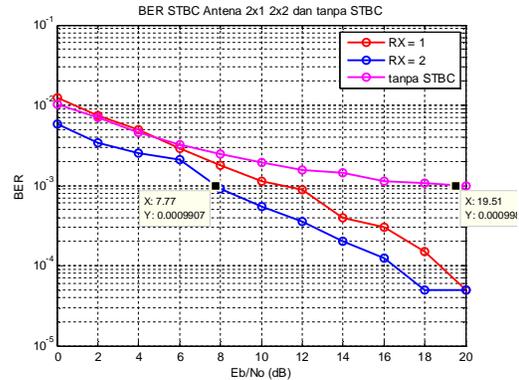
Dalam sistem ini, pada *transmitter* sinyal data input dibangkitkan secara acak sebanyak satu deretan bit, lalu data input akan dikelompokkan dalam n -bit ($n=2$) dipecah dua blok ($n/2$) menjadi bit *Inphase* dan bit *Quadrature* kemudian di *spreading* pada masing-masing kanal. Pada kanal transmisi dari sistem ini digunakan *Rayleigh fading channel*. Sebelum akhirnya dikirimkan, dikodekan dengan menggunakan *space time block coding* (STBC), sistem *space time block coding* dapat mengirimkan dua simbol yang berbeda dalam satu waktu, untuk simbol ganjil masuk ke dalam antenna pertama dan untuk simbol genap masuk ke antenna kedua, pada pengiriman simbol-simbol tersebut diasumsikan terkena *fading* dan *noise* sehingga simbol-simbol yang diterima *receiver* sebagai menjadi error, kemudian simbol dari *combiner* akan masuk ke *maximum likelihood detector* untuk melakukan proses pengambilan keputusan dimana diharapkan simbol yang didapatkan sama dengan input, yaitu s_0 dan s_1 . Apabila hasil yang didapatkan mendekati sinyal aslinya maka dianggap tidak terjadi kesalahan (*error*). Setelah didapatkan simbol-simbol kemudian di *dispreading* dan di demodulasi kembali, hasil output dari proses ini akan membentuk output n bit lagi seperti pada pengelompokan bit di sisi *transmitter*. Output dari tiap kelompok bit akan disatukan kembali untuk mendapatkan hasil akhir output dari sistem ini. Setelah data output sistem didapatkan, selanjutnya kita hitung nilai BER (*Bit Error Rate*) terhadap SNR. Nilai BER ini diperoleh dari menghitung jumlah error dan perbandingan antara bit data yang dikirimkan dengan yang diterima.

2.7. Pengujian dan Analisa Hasil

Setelah dilakukan proses pembuatan sistem seperti langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas, selanjutnya dilakukan proses pengujian program. Dan hasilnya adalah sebagai berikut :

2.7.1. Hasil Simulasi Perbandingan Sistem Dengan dan Tanpa *Space Time Block Coding*

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kinerja sistem STBC yang menggunakan antenna 2Tx-1Rx, 2Tx-2Rx dan tanpa menggunakan STBC dengan modulasi QPSK pada kanal *rayleigh fading* dimana jumlah bit yang dibangkitkan sebanyak 40.000 bit dan jumlah *user* yang digunakan sebanyak 10 *user* dengan nilai SNR 0 sampai 20 dB.

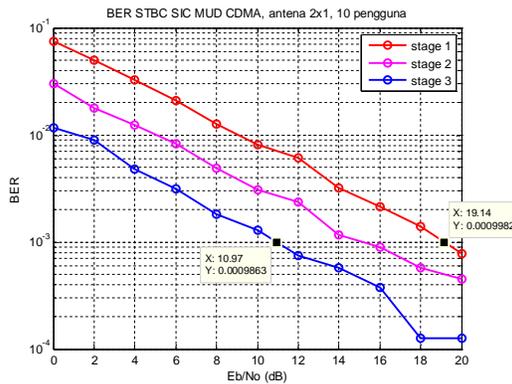


Gambar 7. Grafik Kinerja Sistem STBC dan Tanpa STBC pada Kanal *Rayleigh Fading*

Berdasarkan gambar 7 diperlihatkan bahwa besarnya SNR berbanding terbalik dengan BER yang dihasilkan. Nilai BER yang baik adalah dibawah atau sama dengan 10^{-3} , jika dilihat dari gambar 7 menunjukkan bahwa pada sistem tanpa STBC diperlukan SNR 19.51dB untuk mencapai BER 10^{-3} dan pada antenna 2Tx-1Rx diperlukan SNR 11dB untuk mencapai BER 10^{-3} sedangkan untuk antenna 2Tx-2Rx diperlukan SNR 7.77dB untuk mencapai BER 10^{-3} , sehingga dapat dikatakan kinerja sistem dengan menggunakan STBC untuk antenna 2Tx-1Rx lebih baik 8.51 dB dibandingkan tanpa menggunakan STBC dan untuk antenna 2Tx-2Rx lebih baik 11.74 dB dibandingkan tanpa menggunakan STBC.

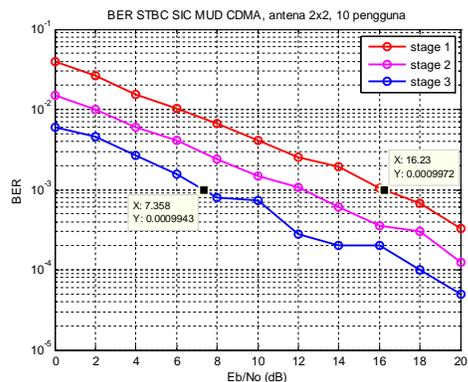
2.7.2. Hasil Simulasi Perbandingan Stage SIC-MUD CDMA pada Space Time Block Coding dengan Modulasi QPSK

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan stage dari SIC-MUD CDMA pada sistem STBC antenna 2Tx-1Rx dan antenna 2Tx-2Rx dengan modulasi QPSK dimana jumlah *user* yang digunakan sebanyak 10 *user*, jumlah bit yang dibangkitkan sebanyak 40.000 bit untuk nilai SNR 0 sampai 20 dB. Dari hasil simulasi ini hanya dilakukan 3 *stage* proses *cancellation*.



Gambar 8. Grafik Kinerja Sistem STBC antenna 2Tx-1Rx pada SIC MUD CDMA dengan Modulasi QPSK pada kanal Rayleigh Fading

Dari gambar 8, nilai BER 10^{-3} untuk 1 stage, 2 stage dan 3 stage diperoleh ketika SNR 10.97dB, SNR 14dB dan SNR 19.14dB. Dari hasil SNR tersebut terlihat bahwa SIC 3 stage kinerjanya lebih baik 8.17dB dibandingkan SIC 1 stage. Sedangkan untuk grafik kinerja sistem STBC antenna 2Tx-2Rx pada SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK ditunjukkan pada gambar 9.

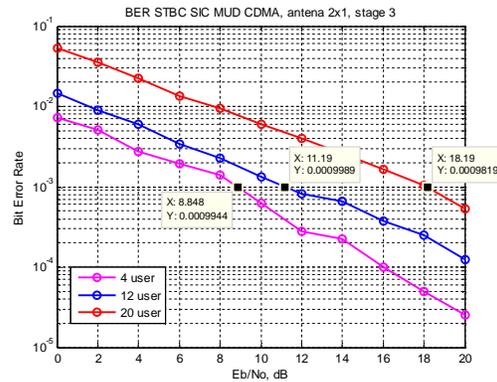


Gambar 9. Grafik Kinerja Sistem STBC antenna 2Tx-2Rx pada SIC MUD CDMA dengan Modulasi QPSK pada kanal Rayleigh Fading

Berdasarkan gambar 9, dapat diketahui bahwa untuk memperoleh nilai BER 10^{-3} diperlukan SNR 7.358dB untuk 1 stage, SNR 12dB untuk 2 stage dan untuk 3 stage diperlukan SNR 16.23dB. Dari hasil SNR tersebut terlihat bahwa SIC 3 stage kinerjanya lebih baik 8.872dB dibandingkan SIC 1 stage. Dari hasil SNR yang diperoleh ketika menggunakan antenna 2Tx-1Rx dan antenna 2Tx-2Rx untuk 3 stage dengan nilai BER 10^{-3} , dapat diketahui bahwa kinerja antenna 2Tx-2Rx lebih baik 2.91dB dibandingkan antenna 2Tx-1Rx.

2.7.3. Hasil Simulasi Perbandingan User dari Space Time Block Coding pada Sistem SIC-MUD CDMA dengan Modulasi QPSK

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan user dari STBC antenna 2Tx-1Rx dan antenna 2Tx-2Rx pada sistem SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK dimana jumlah *user* yang digunakan adalah 4 user, 12 user dan 20 user, jumlah bit yang dibangkitkan sebanyak 40.000 bit untuk nilai SNR 0 sampai 20 dB.

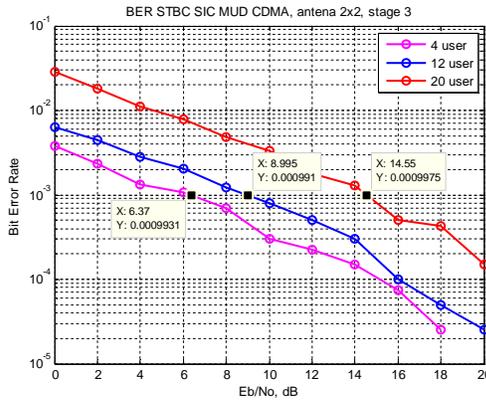


Gambar 10. Grafik Kinerja sistem STBC antenna 2Tx-1Rx pada SIC-MUD CDMA dengan Modulasi QPSK pada Kanal Rayleigh Fading

Tabel 1. Hasil BER Sistem STBC Antena 2x1 pada SIC-MUD CDMA untuk Modulasi QPSK

SNR (dB)	BER Antena 2x1		
	User 4	User 12	User 20
0	0.0073	0.0146	0.0538
2	0.0051	0.0089	0.0356
4	0.0028	0.0060	0.0226
6	0.0019	0.0034	0.0135
8	0.0014	0.0023	0.0094
10	0.0006	0.0013	0.0060
12	0.0003	0.0008	0.0040
14	0.0002	0.0006	0.0026
16	0.0001	0.0004	0.0016
18	0.0001	0.0003	0.0010
20	0.0000	0.0001	0.0005

Gambar 10 menunjukkan grafik kinerja sistem STBC antenna 2Tx-1Rx pada SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa untuk memperoleh nilai BER 10^{-3} diperlukan SNR 8.848dB untuk 4 user, SNR 11.19dB untuk 12 user dan untuk 20 user diperlukan SNR 18.19dB. Dari hasil SNR tersebut terlihat bahwa 4 user kinerjanya lebih baik 9.342dB dibandingkan 20 user. Pada tabel 1 dapat diketahui bahwa SNR 12dB dengan kapasitas 4 user akan menghasilkan BER 0.0003, kapasitas 12 user mampu menghasilkan BER 0.0008 dan BER 0.0040 mampu dihasilkan dengan kapasitas 20 user. Sedangkan untuk grafik kinerja STBC antenna 2Tx-2Rx pada sistem SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK ditunjukkan pada gambar 12 berikut ini.



Gambar 11. Grafik Kinerja Sistem STBC antena 2Tx-2Rx pada SIC-MUD CDMA dengan Modulasi QPSK pada Kanal Rayleigh Fading

Tabel 2. Hasil BER Sistem STBC Antena 2x2 pada SIC MUD CDMA untuk Modulasi QPSK

SNR(dB)	BER Antena 2x2		
	User 4	User 12	User 20
0	0.0038	0.0064	0.0288
2	0.0024	0.0045	0.0182
4	0.0013	0.0028	0.0113
6	0.0011	0.0021	0.0079
8	0.0007	0.0012	0.0049
10	0.0003	0.0008	0.0034
12	0.0002	0.0005	0.0018
14	0.0001	0.0003	0.0013
16	0.0001	0.0001	0.0005
18	0.0000	0.0001	0.0004
20	0	0.0000	0.0001

Gambar 11 menunjukkan grafik kinerja sistem STBC antena 2Tx-2Rx pada SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa untuk memperoleh nilai BER 10^{-3} diperlukan SNR 6.37dB untuk 4 user, SNR 8.995dB untuk 12 user dan untuk 20 user diperlukan SNR 14.55dB. Dari hasil SNR tersebut terlihat bahwa 4 user kinerjanya lebih baik 8.18dB dibandingkan 20 user. Pada tabel 2 diketahui bahwa SNR 12dB dengan kapasitas 4 user akan menghasilkan BER 0.0002(seperti terlihat pada tabel 2), kapasitas 12 user mampu menghasilkan BER 0.0005 dan BER 0.0018 mampu dihasilkan dengan kapasitas 20 user.

2.8. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja *space time block coding* pada sistem SIC-MUD CDMA dengan modulasi QPSK untuk antena 2Tx-1Rx 3 stage memiliki kinerja sistem lebih baik 8.17 dB daripada 1 stage dan untuk antena 2Tx-2Rx 3 stage kinerjanya lebih baik 8.827 dB dibandingkan 1 stage, sehingga kinerja sistem untuk antena 2Tx-2Rx lebih baik daripada antena 2Tx-1Rx.

2. Kinerja *space time block coding* untuk antena 2Tx-2Rx lebih baik 3.23 dB dibandingkan antena 2Tx-1Rx sedangkan kinerja sistem dengan menggunakan STBC untuk antena 2Tx-1Rx lebih baik 8.51 dB dibandingkan tanpa menggunakan STBC dan untuk antena 2Tx-2Rx lebih baik 11.74 dB dibandingkan tanpa STBC.
3. Kinerja sistem untuk antena 2Tx-1Rx dengan 4 user memiliki kinerja 9.342dB lebih baik jika dibandingkan dengan 20 user untuk SIC 3 stage sedangkan untuk antena 2Tx-2Rx dengan 4 user memiliki kinerja 8.18dB lebih baik jika dibandingkan dengan 20 user untuk SIC 3 stage.
4. Pada sistem STBC SIC-MUD CDMA, apabila kapasitas *user* semakin besar maka untuk memperoleh BER 10^{-3} nilai SNR-nya harus lebih besar.

2.9. Daftar pustaka

- [1] K. S. Gilhousen, et al, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 2, May 1991.
- [2] Elmustafa Erwa and Jeffery Andrews, "Performance Comparison of Successive Interference Cancellation and Parallel Interference Cancellation", *EE 381V: Fall '03*, Dec. 9, 2003.
- [3] M.Shahriar Mamun, Jamil Hussain, Md.Hasibul Haque, Rishad Ahmed Shafik, "Space Time Block Coding Multiuser CDMA sistem over Rayleigh Fading Channel", Dept.of Electrical and Electronic Engineering, Islamic University of Technology.
- [4] Aasif Dingankar, Anil Kumar, Payal Jain, "Digital Communications Multiuser Detection For Synchronous CDMA", *ECPE 5654*.
- [5] Sivash M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for wireless Communications", *IEEE Journal*, vol 16, Oktober 1998.
- [6] Aries Pratiarso, "Teknik Modulasi Digital" Modul Ajar, Teknik Telekomunikasi PENS-ITS Surabaya.