

ANALISIS KINERJA OSTBC (Orthogonal Space Time Block Code) DENGAN RATE $\frac{1}{2}$ DAN $\frac{3}{4}$ MENGGUNAKAN 4 ANTENA MODULASI M-QAM BERBASIS PERANGKAT LUNAK

R. Wahyudi Alan P¹, Yoedy Moegiharto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email : yutt_pangestu_18@yahoo.co.id

²Staff Pengajar Jurusan Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Kampus ITS Jln. Raya ITS, Sukolilo 60111

Email : y_moegiharto@eepis-its.edu

ABSTRACT

In wireless communications has one characteristic that is the phenomenon of multipath fading, it takes a technology that could make the reflection signal does not eliminate the primary signal. The use of multiple antennas at the transmitter and the receiver is expected to result in improved quality of the wireless communication service. This technique is known as MIMO (Multiple Input Multiple Output). One scheme is MIMO STBC (Space Time Block Code), which has a subclass of OSTBC (Orthogonal Space Time Block Code). The principle OSTBC is sending some signal replicas information on the independent channel fading in orthogonal signal format, so that at least one signal receiver who did not experience the worst fading. So with the process of sending data faster and more reliable and mark with BER (Bit Error Rate) is low.

Keywords : Multipath fading, OSTBC (Orthogonal Space Time Block Code), rate

ABSTRAK

Pada komunikasi wireless memiliki salah satu ciri yaitu fenomena multipath fading, dibutuhkan suatu teknologi yang mampu membuat sinyal pantulan tidak menghilangkan sinyal utama. Penggunaan multi antenna pada sisi transmitter dan receiver diharapkan mampu menghasilkan peningkatan kualitas layanan komunikasi wireless tersebut. Teknik ini dikenal sebagai MIMO (Multiple Input Multiple Output). Salah satu skema MIMO adalah STBC (Space Time Block Code), yang memiliki subkelas yaitu OSTBC (Orthogonal Space Time Block Code). Prinsipnya OSTBC yaitu mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal independent fading dalam format sinyal yang ortogonal, sehingga di penerima minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami fading terburuk. Sehingga dengan itu proses pengiriman data lebih cepat dan lebih handal dan ditandai dengan BER (Bit Error Rate) yang rendah.

Kata Kunci : Multipath fading, OSTBC (Orthogonal Space Time Block Code), rate

1. PENDAHULUAN

Jaringan komunikasi wireless atau nirkabel merupakan teknologi berbasis setandar IEEE 802. Yang membawahi beberapa standart turunannya. Perkembangan teknologi diharapkan memungkinkan akses terhadap layanan multimedia melalui koneksi nirkabel dengan jarak perangkat lebih jauh dan memungkinan memancarkan berbagai sinyal dalam jarak yang sangat berdekatan tanpa khawatir bahwa sinyal akan saling mengganggu atau berinterferensi sehingga kita dapat menumpangkan lalulintas data dengan kecepatan tinggi dalam berbagai kanal.

Fenomenal fundamental yang menyebabkan telekomunikasi nirkabel sulit adalah adanya Time Varying Multipath Fading. Fenomenal inilah yang menyebabkan transmisi nirkabel menjadi tantangan apabila dibandingkan dengan fiber optik, kabel koaksial, line of sight microwave atau bahkan transmisi satelit. Meningkatkan kualitas atau mengurangi error rate efektif pada kanal multipath fading adalah pekerjaan yang sulit. Permasalahna yang muncul

adalah bagaimana meningkatkan efisiensi spectrum kanal dan menekan bit error rate pada sistem nirkabel menggunakan teknik Transmisi Diversity berbasis Orthogonal Space Time Block Code(OSTBC) dari 4 antena pemancar ke empat penerima melalui rayleigh fading.

2. RUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang akan ditangani pada proyek akhir ini adalah :

- Proses Modulasi MQAM pada sisi pemancar dan Demodulasi MQAM rate $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ pada sisi penerima.
- Pengkodean ruang dan waktu dengan Encoder OSTBC pada sisi pemancar.
- Sistem Decoding OSTBC menggunakan Decoder OSTBC dan deteksi ML (*Maximum Likelihood*) pada sisi penerima

3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang harus diselesaikan pada proyek akhir ini dibatasi hal-hal sebagai berikut :

- Memakai salah satu skema MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yaitu OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Code*) dengan rate $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$.
- Kanal yang dipergunakan yaitu kanal AWGN (*adaptive White Gaussian Noise*) dan *rayleigh fading channel*.
- Memakai modulasi MQAM (*Quadrature Amplitudo Modulation*) dan memakai 4 transmitter dan 4 Receiver.

4. TUJUAN

Tujuan pada proyek ini adalah membuat suatu simulasi algoritma dengan metode OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Code*) untuk mengamati kurva BER vs SNR (dB).

5. TEORI PENUNJANG

5.1 Space-Time Diversity (Alamouti)

Untuk lebih meningkatkan kualitas sinyal dengan diversity sinyal dapat disusun secara multi-dimensi seperti sistem space-time pada gambar 2 yang diperkenalkan oleh Alamouti. Disini digunakan dua antena pemancar dan sebuah antena penerima dimana masing-masing pemancar mengirimkan dua informasi sinyal yang sama secara bergantian. Metode ini mampu meningkatkan keuntungan diversity sehingga dapat memperbaiki performansi BER.

Dua buah Sinyal yang ditransmisikan dari antena pemancar dinotasikan sebagai S_0 dan untuk antena pemancar kedua dinotasikan S_1 dikirim bergantian sesuai dengan protokol yang ditunjukkan dalam tabel 1 :

Table 1. Alamouti

	Tx 0	Tx 1
Waktu t	S	S^1
Waktu t+T	$-S^{1*}$	S^{0*}

5.2 Space Time Block Code (STBC)

Space Time Block Code adalah teknik yang digunakan dalam komunikasi nirkabel untuk mengirimkan salinan dari sebuah aliran data di sejumlah antena dan memanfaatkan berbagai variasi data yang diterima dan untuk meningkatkan kehandalan transfer data. Dalam kenyataannya sinyal harus melintasi lingkungan berpotensi dengan hamburan, refleksi, dan refraksi mungkin juga akan lebih di rusak oleh *noise thermal* di penerima berarti beberapa salinan data yang diterima akan lebih 'baik' dari pada yang lain .

Dalam STBC khususnya, aliran data yang akan dikirim dikodekan dalam blok-blok, yang didistribusikan sepanjang waktu antar antena. Meskipun itu adalah penting untuk memiliki multiple antenna penerima, tidak perlu memiliki beberapa penerima antena, meskipun untuk meningkatkan kinerja.

Sebuah STBC biasanya diwakili oleh sebuah matriks. Setiap baris mewakili sebuah slot waktu dan setiap kolom merupakan salah satu antena transmisi dari waktu ke waktu.

Tingkat kode dari STBC mengukur seberapa banyak simbol per slot waktu rata-rata pengiriman selama satu blok . Jika blok encode simbol k , kode-rate adalah :

$$R = \frac{k}{p} \quad (1)$$

Dimana :

R = Code Rate

k = Simbol

p = Time Slot

Matrix untuk *code rate* $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ yaitu :

$$C_{4,1/2} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\ -c_2^* & c_1^* & -c_4^* & c_3^* \\ -c_3 & c_4 & c_1 & -c_2 \\ -c_4 & -c_3 & c_2 & c_1 \\ c_1^* & c_2^* & c_3^* & c_4^* \\ -c_2^* & c_1^* & -c_4^* & c_3^* \\ -c_3 & c_4 & c_1 & -c_2 \\ -c_4 & -c_3 & c_2 & c_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C_{4,3/4} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \frac{c_3}{\sqrt{2}} & \frac{c_4}{\sqrt{2}} \\ -c_2^* & c_1^* & \frac{c_3^*}{\sqrt{2}} & \frac{c_4^*}{\sqrt{2}} \\ \frac{c_3}{\sqrt{2}} & \frac{c_4}{\sqrt{2}} & \frac{(-c_1 - c_1^* + c_2 - c_2^*)}{2} & \frac{(-c_2 - c_2^* + c_1 - c_1^*)}{2} \\ \frac{c_3}{\sqrt{2}} & \frac{c_4}{\sqrt{2}} & \frac{(c_2 - c_2^* + c_1 - c_1^*)}{2} & \frac{-(c_1 + c_1^* + c_2 - c_2^*)}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

5.3 OSTBC

Orthogonal STBC merupakan subkelas penting STBC linier yang menjamin bahwa ML mendeteksi simbol yang berbeda (sn). ML memisahkan dan pada saat yang sama menransmisikan skema dengan urutan keragaman sama (*ntnr*). Kerugian utama OSTBC adalah kenyataan bahwa selama lebih dari dua antena dan nilai sinyal yang kompleks, OSTBC hanya ada untuk kode rate yang lebih kecil dari satu simbol per time slot.

Selanjutnya, survei umum tentang desain orthogonal dan berbagai properti OSTBC dimana ada desain real orthogonal dan kompleks orthogonal. Kami fokus pada desain ortogonal kompleks.

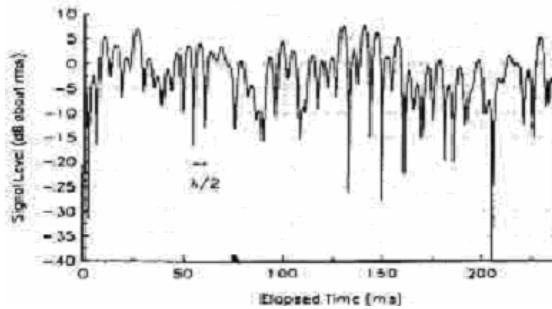
5.4 Rayleigh fading

Pada kenyataannya, tidak ada kanal yang benar-benar ideal. Kanal yang sebenarnya pasti memiliki keterbatasan bandwidth dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal yang demikian pada sistem komunikasi wireless disebut kanal fading.

Fading merupakan fluktuasi amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal yang sama oleh receiver (*delay spread signal*)

akibat banyaknya lintasan signal (multipath propagation).

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi Rayleigh biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal fading datar (*flat fading*) yang diterima, atau selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau gaussian membentuk distribusi *Rayleigh*.



Gambar 1. Selubung kanal Rayleigh

Gambar 2.6 menunjukkan sebuah sinyal selubung yang terdistribusi secara Rayleigh sebagai fungsi waktu. Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kerapatan *probabilitas* (*probability density function - pdf*) diberikan oleh :

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), (0 \leq r \leq \infty) \quad (4)$$

Dimana σ adalah nilai *rms* dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum detektor. Probabilitas yang menunjukkan selubung dari sinyal yang diterima tidak melebihi suatu harga R yang spesifik ditunjukkan dengan *cumulative distribution function (CDF)* atau fungsi distribusi kumulatif :

$$P(R) = Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

Nilai rata-rata r_{mean} dari distribusi Rayleigh diberikan :

$$r_{mean} = E[r] = \int_0^{\infty} rp(r)dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,2533\sigma \quad (6)$$

dan variance dari distribusi Rayleigh diberikan oleh σ_r^2 , yang merepresentasikan daya pada sinyal selubung.

$$\sigma_r^2 = E[r^2] - E^2[r] = \int_0^{\infty} r^2 p(r) dr - \frac{\sigma^2 \pi}{2} = \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0,4292\sigma^2 \quad (7)$$

Nilai *rms* dari selubung adalah akar dari rata-rata kuadrat, atau $\sqrt{2}\sigma$. Median dari r dicari dari :

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{median}} p(r)dr \quad (8)$$

dan

$$r_{median} = 1,177\sigma(14) \quad (9)$$

Dari persamaan (6) dan (7) dapat diketahui bahwa mean dan median hanya berbeda 0.55 dB dalam sinyal Rayleigh fading. Ingat bahwa median sering digunakan dalam prakteknya, data fading biasanya didapat dari percobaan dan distribusi yang teliti tidak bisa diasumsikan. Dengan menggunakan median sebagai nilai rata-rata, dapat dengan mudah membandingkan distribusi fading yang berbeda yang mungkin mempunyai variasi rata-rata yang besar.

Dalam kanal rayleigh fading tersebut terdapat sinyal-sinyal pantulan dalam jumlah besar (*multiple reflective path in large number*) dan dalam kanal tersebut tidak ada komponen sinyal *LOS*, semua komponen sinyal dalam kanal berada pada kondisi *nonLOS*. Sinyal yang melalui kanal rayleigh akan mengalami perubahan secara acak (*random fluctvation*) pada amplitudo, fase, dan sudut kedatangan sinyal di penerima

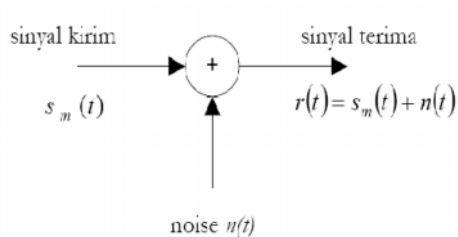
Rayleigh fading adalah model statistik untuk pengaruh propagasi pada sinyal radio, seperti yang digunakan oleh perangkat nirkabel. *Rayleigh fading* model mengasumsikan bahwa besar sinyal yang telah melewati suatu medium transmisi akan acak, atau memudar, sesuai dengan *Rayleigh distribution* - komponen radial dari jumlah dua variabel tidak berkorelasi [Gaussian random variables](#).

Rayleigh fading dipandang sebagai model yang layak untuk propagasi sinyal pada troposfer dan ionosfer serta pengaruh berat *built-up* lingkungan perkotaan pada sinyal radio. *Rayleigh fading* yang dapat digunakan bila tidak ada propagasi *Line of sight* terlihat antara pemancar dan penerima. Jika ada garis yang dominan terlihat, Rician memudar mungkin lebih dapat digunakan.

5.5. Additive white Gaussian noise (AWGN)

Kanal AWGN yaitu kanal deal hanya memiliki noise AWGN (*Additive Wite Gaussian Noise*) didalamnya. Kanal ideal bararti kanal ini tidak menyebabkan distorsi terhadap sinyal yang dikirim.

Noise AWGN adalah noise yang pasti terjadi dalam jaringan wireless s manapun, memiliki sifat-sifat additive, white, dan gaussian. Sifat additive artinya noise ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat white artinya noise tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat gaussian artinya besarnya tegangan noise memiliki rapat peluang terdistribusi gaussian Model ini tidak memperhitungkan fading, *frequency slectivity*, *interference*, *nonlinierity* atau *dispersion*.



Gambar 2. AWGN

5.5 Modulasi Digital

Modulasi adalah suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Dengan proses modulasi, suatu informasi (biasanya berfrekuensi rendah) bisa dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasanya berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang sinusioidal yaitu: amplitudo, fase dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Modulasi digital merupakan proses penumpangan sinyal digital (bit stream) ke dalam sinyal carrier. Modulasi digital sebetulnya adalah proses mengubah-ubah karakteristik dan sifat gelombang pembawa (carrier) sedemikian rupa sehingga bentuk sinyal keluaran memiliki ciri-ciri dari bit-bit (0 atau 1) yang dikandungnya. Berarti dengan mengamati carrier yang termodulasi, urutan bitnya dapat diketahui. Melalui proses modulasi digital sinyal-sinyal digital setiap tingkatan dapat dikirim ke penerima dengan baik.

5.5.1 QAM

Quadrature amplitude modulation (QAM) merupakan bentuk modulasi digital dimana informasi digital terdiri dari amplitudo dan phase sinyal carrier.

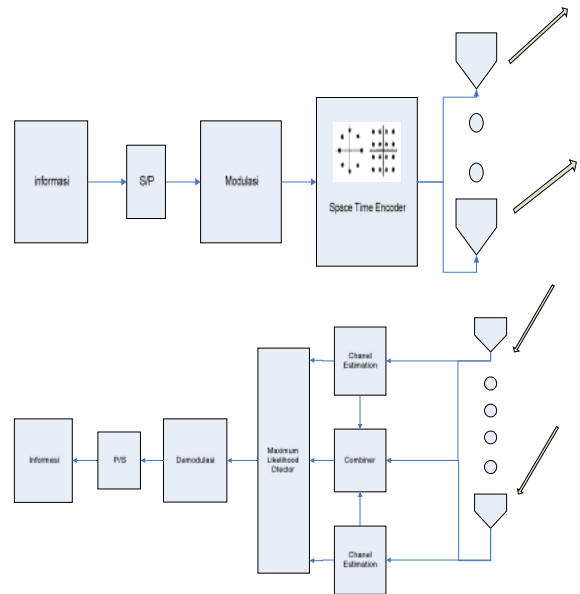
6. PERANCANGAN SISTEM

6.1 Alat dan bahan

Pada bagian ini dilakukan perencanaan dan implementasi metode encoding dan decoding OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) pada sisi transmitter dan sisi receiver dengan menggunakan perangkat lunak yaitu matlab V.R2008a.

6.2 Cara Kerja

Untuk mengetahui kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) maka dilakukan perancangan sebuah blok diagram sebagai berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Perencanaan system

6.2.1 Parameter Sistem

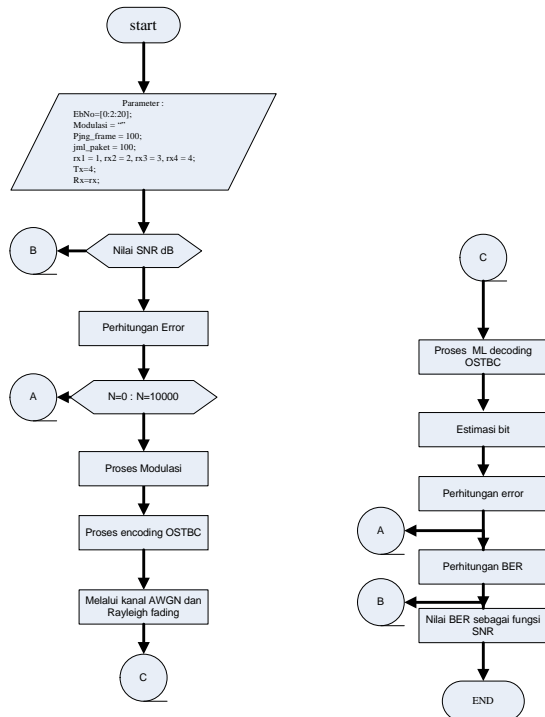
Dalam pembuatan system OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) diperlukan beberapa parameter sehingga system tersebut dapat dijalankan. Parameter – parameter system tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jumlah bit – bit informasi yang ditransmisikan
2. Modulasi yang digunakan yaitu M-QAM
3. Kode rate $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$.
4. Nilai noise yang dibangkitkan pada kanal AWGN
5. Nilai fading yang dibangkitkan pada kanal Rayleigh fading

6.2.2. Perencanaan system pada sisi transmitter

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses sebelum sinyal informasi di transmisikan melalui transmitter. Dan kemudian sinyal informasi akan modulasi dan sesudah itu didecoding sesuai dengan *code rate*, selanjutnya ditransmisikan sesuai dengan jumlah antenna dan dilewatkan melalui kanal yang dipengaruhi oleh adanya noise.

Diagram alir dari system OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram alir system

6.2.2.1 Parameter untuk simulasi terdiri dari :

Nilai EbNo dalam dB, modulasi, N jumlah bit, Tx jumlah antenna pemancar, rx jumlah antenna.

```

EbNo=[ 0 : 2 : 20 ] ;
modulasi=' ' ;
N = 10000 ;
rx1 = 1 ;
rx2 = 2 ;
rx3 = 3 ;
rx4 = 4 ;
Tx=4 ;
Rx=rx ;

```

6.2.2.2 Perhitungan SNR

Jumlah SNR dB yang digunakan dalam simulasi ini yaitu 20 SNR dB dengan step 2 untuk nilai SNR dBnya.

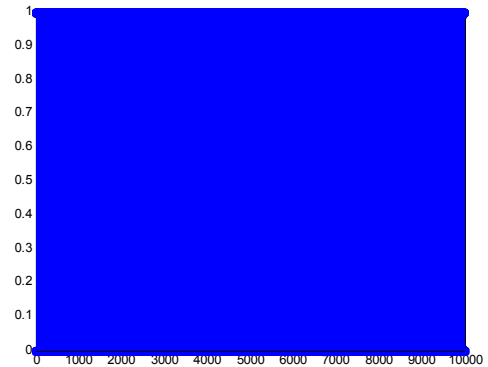
```

EbNo=[ 0 : 2 : 20 ] ;

```

6.2.2.3 Membangkitkan data yang dikirim

Membangkitkan sinyal informasi secara acak dengan perintah 'randint' yang fungsinya membangkitkan nilai biner 0 dan 1 secara random sebanyak frame.



Gambar 5. Bit yang dipancarkan

6.2.2.4 Modulasi

Disini bit informasi yang awalnya disusun secara seri dirubah ke bentuk dan ukuran yang diperlukan dalam transmisi untuk kemudian di modulasi secara parallel dengan menempatkan tiap data pada satu carier transmisi.

6.2.2.5 Proses encoding

Sesudah itu, sinyal yang sudah dimodulasi dikodekan dengan STBC (*Space Time Block Code*), dimana hasil sinyal yang sudah dikodekan membentuk matrix sesuai dengan *code rate* nya untuk kemudian ditransmisikan.

6.2.2.6 Menentukan jumlah antenna

Antena yang digunakan ditugas akhir ini yaitu 4 buah antenna pemancar dan menggunakan 4 buah antenna penerima.

6.2.2.7 Kanal AWGN dan kanal Rayleigh fading

Sinyal informasi yang telah dikodekan dengan STBC (*Space Time Block Coding*) dan dilewatkan melalui udara akan dipengaruhi oleh :

1. Kanal AWGN

Dimana sinyal dikirim ke satu antenna pemancar dan antenna penerima adalah 4 antenna maka di tiap symbol ada suatu variable yaitu *zero-mean complex gaussian random variable* dengan nilai :

$$\frac{1}{SNR} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^4 |\alpha_{i,j}|^2 \quad (4)$$

2. Kanal Rayleigh Fading

Pada kanal Flat Rayleigh Fading didapatkan melalui fluktuasi amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal yang sama oleh penerima akibat banyaknya lintasan sinyal.

6.2.3 Perancangan system pada sisi receiver

Sinyal informasi yang diterima pada system receiver masih terdapat bit – bit pengganggu seperti noise dan fading sehingga untuk mendapatkan bit informasi yang sebenarnya maka perlu dilakukan proses decoding (pengkodean kembali) dengan menggunakan code STBC (*Space Time Block Coding*).

6.2.3.1 Sinyal yang diterima

Sinyal yang diterima disisi receiver yaitu :

$$r_t^j = \sum_{i=1}^n \alpha_{i,j} c_t^i + n \quad (5)$$

Dimana :

r=sinyal yang diterima

c=sinyal dengan $i=1, 2, \dots, n$

=gain dari antenna pemancar I ke antenna penerima j.

n=gaussian noise

6.2.3.2 Proses Decoding

Sinyal informasi yang diterima pada system receiver akan dilakukan proses decoding sesuai dengan *code rate*. Selanjutnya dideteksi oleh ML (*Maximum Likelihood*) untuk mendeteksi symbol yang yang diterima apakah sama dengan sinyal yang dikirim.

6.2.3.3 ML (Maximum Likelihood)

Setelah itu dilakukan proses ML (*Maximum Likelihood*) terhadap sinyal yang diterima. Dimana ML (*Maximum Likelihood*) ini fungsinya untuk mendeteksi apakah sinyal yang diterima sama dengan sinyal yang dikirim tadi. Prosesnya ML (*Maximum Likelihood*) mencari nilai euclidian terdekat dari tiap simbol.

6.2.3.4 Demodulasi

Dilakukan untuk memperoleh kembali bit informasi seperti yang dipancarkan. Demodulasi memakai M-QAM seperti pada pemancar.

6.2.3.5 Menghitung kesalahan bit

Membandingkan kesalahan bit yang dikirim dengan bit yang diterima disisi penerima.

6.2.3.6 Menentukan nilai BER

Perhitungan BER (*bit error rate*) pada simulasi ini dihitung dengan menggunakan metode Monte Carlo. Dengan metode ini, perhitungan BER dilakukan dengan membandingkan antara deretan bit informasi pada pemancar dan deretan bit estimasi yang dideteksi pada penerima. Nilai BER adalah jumlah bit yang salah dibagi dengan jumlah total bit yang dikirim.

$$BER = \frac{n}{N} \quad (6)$$

Dimana :

n=bit error

N=bit yang diproses

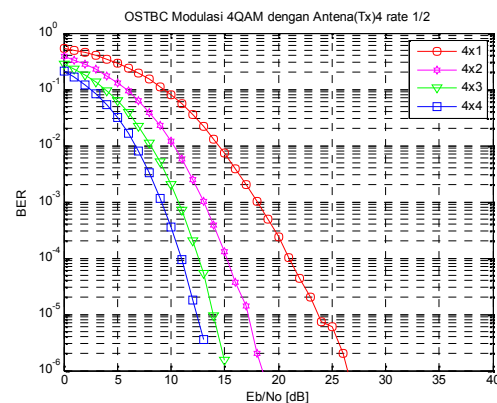
7. Pengujian dan analisa hasil

Hasil penelitian kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal *Rayleigh fading* yang dilakukan dengan pengujian dengan rate dan modulasi yang berbeda pada masing – masing antenna penerima. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan BER sebagai fungsi dari SNR_{dB}.

7.1 Pengujian dan Analisa Hasil kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal Rayleigh fading dengan rate $\frac{1}{2}$ modulasi 4 QAM, 8 QAM dan 16 QAM

Pada pengujian kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal Rayleigh fading dilakukan dengan modulasi yang berbeda - beda sehingga didapatkan Bit Error Rate (BER) sebagai fungsi SNR_{dB}.

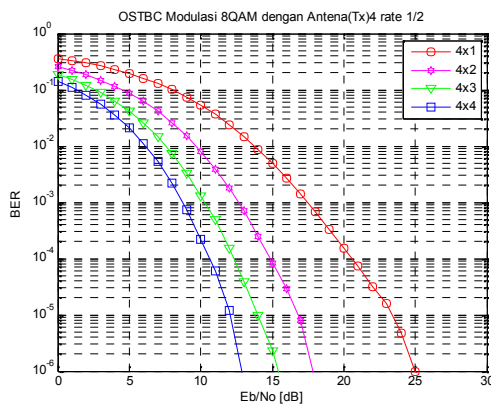
Berikut ini adalah grafik hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) dengan jumlah antenna penerima berbeda pada kanal *rayleigh fading*, untuk modulasi 4 QAM sesuai dengan gambar 5, untuk modulasi 8 QAM sesuai dengan gambar 6 dan untuk 16 QAM sesuai dengan gambar 7.



Gambar 5. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) modulasi 4 QAM kanal *rayleigh fading*.

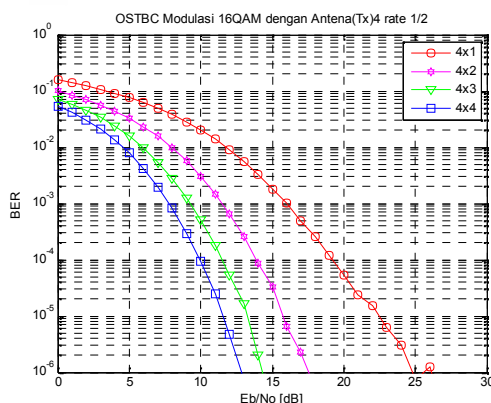
Berdasarkan gambar 5 hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{1}{2}$ modulasi 4 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 18 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR 13 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 11 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR

± 9 dB. Semakin banyak jumlah antenna maka nilai BER semakin kecil.



Gambar 6. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) modulasi 8 QAM kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 6 simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{1}{2}$ modulasi 16 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR ± 17.5 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR ± 13.5 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 10 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR ± 8 dB.

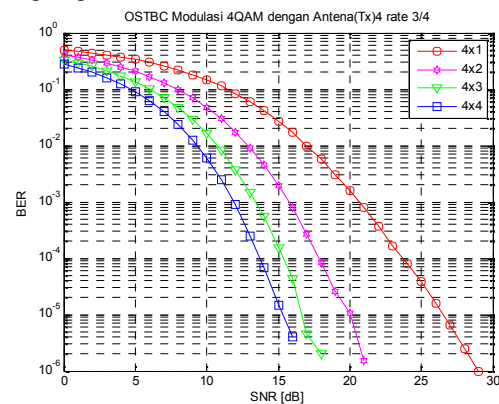


Gambar 7. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) modulasi 16 QAM kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 7 hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{1}{2}$ modulasi 4 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 16 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR 12.5 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 9 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR ± 7 dB.

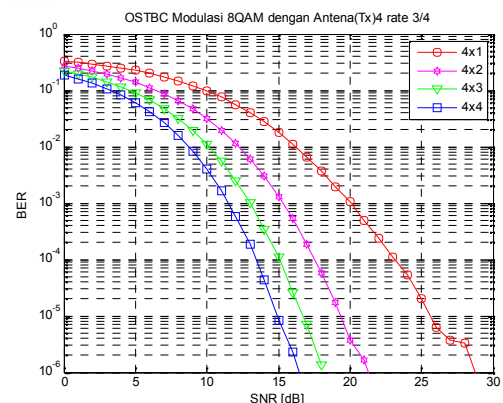
7.2 Pengujian dan Analisa Hasil kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal Rayleigh fading dengan rate $\frac{3}{4}$ modulasi 4 QAM, 8 QAM dan 16 QAM.

Berikut ini adalah grafik hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) dengan jumlah antenna penerima berbeda pada kanal *rayleigh fading*, untuk modulasi 4 QAM sesuai dengan gambar 8, untuk modulasi 8 QAM sesuai dengan gambar 9 dan untuk 16 QAM sesuai dengan gambar 10.



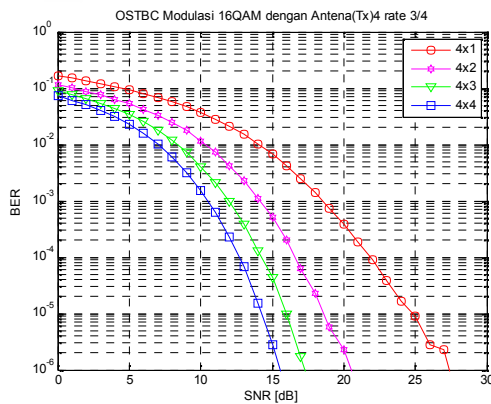
Gambar 8. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 4 QAM kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 8 hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 4 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 21 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR ± 16 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 13 dB dan untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR ± 12.5 dB.



Gambar 9. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 8 QAM kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 9 hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 8 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 20 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR ± 15 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 13 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR ± 12 dB.

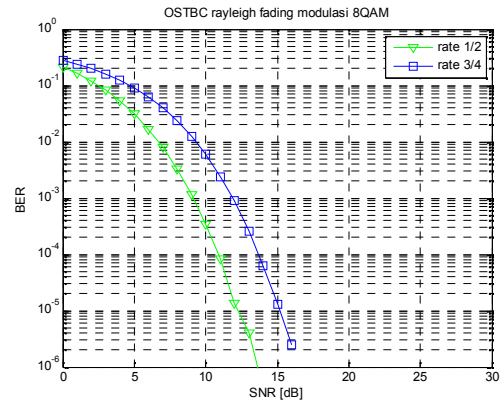


Gambar 10. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 16 QAM kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 10 hasil simulasi kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate $\frac{3}{4}$ modulasi 8 QAM pada kanal *rayleigh fading* dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 18 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR ± 14 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR ± 12.5 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR ± 11 dB.

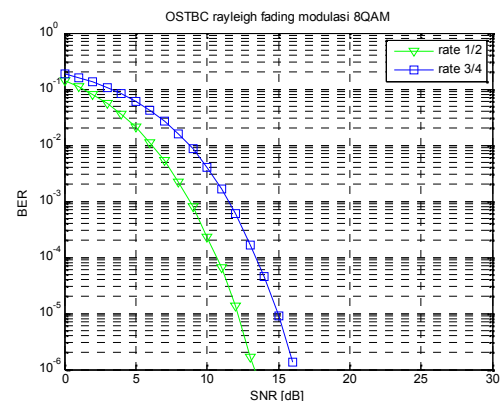
7.3 Analisa Hasil kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal Rayleigh fading dengan rate berbeda modulasi 4 QAM, 8 QAM dan 16 QAM.

Berikut ini yaitu pengujian kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate berbeda modulasi 4 QAM, 8 QAM dan 16 QAM dengan antenna penerima sama melalui kanal *Rayleigh fading*.



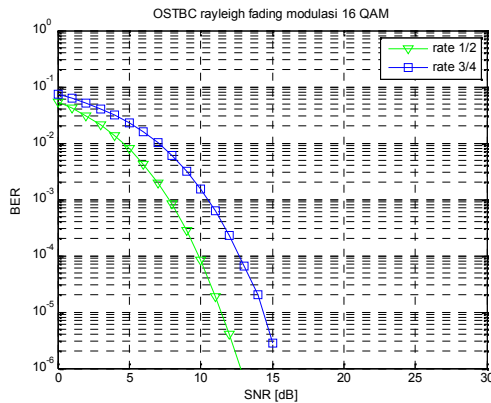
Gambar 11. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate berbeda dengan antenna sama modulasi 4 QAM kanal *rayleigh fading*.

Untuk rate $\frac{1}{2}$ mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 9 dB sedangkan untuk rate $\frac{3}{4}$ pada SNR 13 dB sehingga dapat dikatakan bahwa nilai BER untuk rate $\frac{1}{2}$ lebih baik dari pada rate $\frac{3}{4}$.



Gambar 12. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate berbeda dengan antenna sama modulasi 8 QAM kanal *rayleigh fading*.

Untuk rate $\frac{1}{2}$ mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 8.5 dB sedangkan untuk rate $\frac{3}{4}$ pada SNR 12 dB sehingga dapat dikatakan bahwa nilai BER untuk rate $\frac{1}{2}$ lebih baik dari pada rate $\frac{3}{4}$.

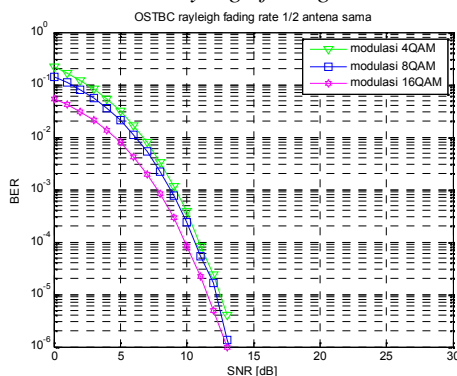


Gambar 13 Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) rate berbeda dengan antenna sama modulasi 16 QAM kanal *rayleigh fading*.

Untuk $rate \frac{1}{2}$ mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 7.5 dB sedangkan untuk $rate \frac{3}{4}$ pada SNR 11 dB sehingga dapat dikatakan bahwa nilai BER untuk $rate \frac{1}{2}$ lebih baik dari pada $rate \frac{3}{4}$.

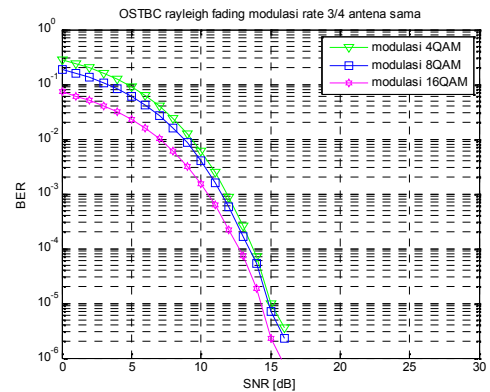
7.4 Analisa Hasil kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) melalui kanal Rayleigh fading dengan rate dan antenna sama modulasi 4 QAM, 8 QAM dan 16 QAM.

Berikut ini yaitu pengujian kinerja dari OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{1}{2}$ dan $rate \frac{3}{4}$ dengan antenna sama modulasi berbeda melalui kanal *Rayleigh fading*.



Gambar 14. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{1}{2}$ dengan jumlah antenna penerima sama modulasi berbeda pada kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 4.10 dengan $rate \frac{3}{4}$ untuk modulasi 4 QAM mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 9 dB sedangkan untuk modulasi 8 QAM pada SNR 8.5 dB dan untuk modulasi 16 QAM pada SNR 8 dB , sehingga dapat dikatakan bahwa untuk $rate \frac{3}{4}$ modulasi 16 QAM lebih baik 1 dB dari pada 8 QAM dan lebih baik 1.5 dB dari pada 4 QAM.



Gambar 15. Hasil Simulasi Kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{3}{4}$ dengan jumlah antenna penerima sama modulasi berbeda pada kanal *rayleigh fading*.

Berdasarkan gambar 4.11 dengan $rate \frac{3}{4}$ untuk modulasi 4 QAM mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 12.5 dB sedangkan untuk modulasi 8 QAM pada SNR 12 dB dan untuk modulasi 16 QAM pada SNR 11 dB , sehingga dapat dikatakan bahwa untuk $rate \frac{3}{4}$ modulasi 16 QAM lebih baik 1 dB dari pada 8 QAM dan lebih baik 1.5 dB dari pada 4 QAM.

8 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa pada bab 4 maka kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{1}{2}$ dan $rate \frac{3}{4}$ 4 antenna modulasi MQAM untuk mendapatkan Bit Error Rate (BER) sebagai fungsi dari SNR, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Untuk OSTBC $rate \frac{1}{2}$ modulasi 4 QAM 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 18 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR 13 dB . Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR $\pm 11 \text{ dB}$ dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR $\pm 9 \text{ dB}$.
- Untuk OSTBC $rate \frac{1}{2}$ modulasi 8 QAM dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antenna penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR $\pm 17.5 \text{ dB}$ sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antenna penerima pada SNR $\pm 13.5 \text{ dB}$. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antenna penerima pada SNR $\pm 10 \text{ dB}$ dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antenna penerima pada SNR $\pm 8 \text{ dB}$.

- Untuk OSTBC $rate \frac{1}{2}$ modulasi 16 QAM dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antena penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 16 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antena penerima pada SNR 12.5 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antena penerima pada SNR ± 9 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antena penerima pada SNR ± 7 dB.
- Untuk OSTBC $rate \frac{3}{4}$ modulasi 4 QAM dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antena penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 21 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antena penerima pada SNR ± 16 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antena penerima pada SNR ± 13 dB dan untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antena penerima pada SNR ± 12.5 dB.
- Untuk OSTBC $rate \frac{3}{4}$ modulasi 8 QAM dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antena penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 20 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antena penerima pada SNR ± 15 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antena penerima pada SNR ± 13 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antena penerima pada SNR ± 12 dB.
- Untuk OSTBC $rate \frac{3}{4}$ modulasi 8 QAM dengan jumlah 4 antenna pemancar 1 antena penerima mendapatkan BER 10^{-3} pada SNR 18 dB sedangkan untuk jumlah 4 antenna pemancar 2 antena penerima pada SNR ± 14 dB. Untuk jumlah 4 antenna pemancar 3 antena penerima pada SNR ± 12.5 dB dan Untuk jumlah 4 antenna pemancar 4 antena penerima pada SNR ± 11 dB.
- Modulasi 16 QAM lebih baik dari pada 8 QAM dan 4 QAM.
- Bahwa semakin banyak jumlah antenna penerima maka nilai probabilitas bit error semakin baik.
- OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{1}{2}$ lebih baik kinerjanya dari pada $rate \frac{3}{4}$. Dimana nilai probabilitas bit error untuk $rate \frac{1}{2}$ lebih baik dari pada nilai probabilitas bit error untuk $rate \frac{3}{4}$.
- Teknik modulasi 4 QAM lebih kebal terhadap derau, akan tetapi memiliki kapasitas data paling sedikit bila dibandingkan teknik modulasi 8 QAM naupun 16 QAM.
- Teknik modulasi 16 QAM memiliki kapasitas data yang paling banyak akan tetapi sensitif terhadap derau.
- Semakin tinggi level modulasi MQAM maka sinyal yang dikirim akan lebih cepat sampai pada penerima dengan kata lain waktu yang dibutuhkan untuk pentransmisi data semakin sedikit.
- Sehingga hal ini dapat dikatakan bahwa kinerja OSTBC (*Orthogonal Space Time Block Coding*) $rate \frac{1}{2}$ dan $rate \frac{3}{4}$ modulasi MQAM mampu mengatasi pengaruh *fading*.

9. Daftar Pustaka

- [1] Biljana Badic, "Space Time Block Code For Multiple Antenna Sytem", eingereicht an der Technischen Universit`at Wien Fakult`at f`ur Elektrotechnik und Informationstechnik, November 2005.
- [2] Siavash M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE JOURNAL ON SELECT AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 16, NO. 8, OCTOBER 1998.
- [3] Imawan Avicena "kanal Rayleigh Fading Pada Komunikasi CDMA", Jurusan Teknik, Elektro Fakultas Teknik Universitas lampung, September 2009.
- [4] Vahid Yarokh, Hamid Jafarkhani, A. Robert Calderbank, "Space Time Block Coding For Wireless Communication : Performance Result", IEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL.17, NO. 3, MARC 1999.
- [5] Vahid Yarokh, Hamid Jafarkhani, A. Robert Calderbank, "Space Time Block Codes From Orthogonal Design", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 45, NO. 5, JULY 1999
- [6] Aries Pratiarso, "Modulasi Digital 2006", PPT Teknik Modulasi, EEPIS-ITS Surabay, 2006