

ANALISA KINERJA SISTEM TRANSMIT DIVERSITY DALAM MENTRANSMISIKAN DATA CITRA DIGITAL PADA KANAL RAYLEIGH DAN RICIAN FADING

I G. A. K. Diafari Djuni H., I Putu Gede Aswin Hendra S

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: igakdiafari@ee.unud.ac.id

Abstrak

Pengiriman data atau informasi saat ini tidak lagi hanya dalam bentuk teks, tetapi juga dapat berupa gambar (citra). Citra sebagai suatu komponen multimedia memegang peranan penting dalam sistem komunikasi khususnya informasi *visual*. Dalam proses pengiriman informasi sering mengalami gangguan salah satunya adalah *fading*. Untuk mengurangi efek dari *fading* dapat dilakukan dengan teknik diversitas atau sering disebut *diversity*. Analisa dilakukan dengan memperhatikan kinerja sistem *transmit diversity* dalam mentransmisikan data berupa citra digital pada kanal *Rayleigh* dan *Rician fading*. Selain itu juga dilakukan perbandingan kinerja sistem *transmit diversity* 2 pemancar dan 2 penerima dengan SISO, serta variasi antenna 1 pemancar 2 penerima dan 2 pemancar 1 penerima. Parameter jaringan yang diujikan adalah parameter SNR, BER, dan PSNR dimana dalam penelitian menggunakan perangkat lunak Matlab. Dari hasil analisa diperoleh bahwa jika di tinjau berdasarkan perbandingan nilai BER dan SNR maka sistem *transmit diversity* 2Tx 2Rx memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan teknik SISO maupun dengan sistem dengan 1Tx 2Rx dan 2Tx 1Rx. Sedangkan dari kondisi kanal yang digunakan, maka sistem *transmit diversity* 2Tx 2Rx pada kanal *Rician* dengan $K=15$ dB memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan *Rayleigh* dan *Rician fading* dengan $K=-35$ dB. Untuk nilai PSNR, sistem *transmit diversity* 2Tx 2Rx menghasilkan citra digital yang terekonstruksi dengan kategori *excellent* saat SNR=15 dB

Kata Kunci : Citra Digital, *Transmit Diversity*, *Rayleigh* dan *Rician Fading*

1. PENDAHULUAN

Keinginan untuk mendapatkan informasi bukan dalam bentuk teks saja, tetapi bentuk informasi yang lain seperti gambar (citra), suara(audio) dan video. Dengan perkembangan perangkat teknologi multimedia memungkinkan keempat bentuk informasi disajikan secara bersamaan. Citra merupakan informasi yang memegang peranan sangat penting dalam sistem komunikasi yang bersifat visual.

Dalam proses pengiriman suatu data atau informasi dapat terjadi gangguan yang berasal dari luar sistem salah satunya *fading*. *Fading* adalah gangguan yang disebabkan karena adanya pantulan, hamburan ataupun redaman sinyal yang dikirimkan akibat adanya benda-benda seperti rumah, gedung, pohon, kendaraan dan benda-benda lainnya antara pemancar dan penerima. Untuk menjelaskan bentuk selubung sinyal pada kanal *fading* digunakan *Rayleigh Fading* dan *Rice Fading*. *Fading* dapat menyebabkan adanya penurunan kualitas maupun kinerja dari suatu sistem komunikasi.

Meningkatkan kinerja maupun mengurangi efek *fading* pada sistem komunikasi merupakan suatu keharusan dalam pelayanan telekomunikasi, salah satunya dapat dilakukan dengan teknik diversitas atau sering disebut *diversity*. Prinsip kerja diversitas adalah menyediakan beberapa replika dari informasi yang sama melalui kanal *fading* yang berbeda

sehingga kemungkinan terjadinya *fading* dapat di minimalisasi. Dalam penerapannya teknik diversitas dapat dilakukan dengan dua teknik yaitu diversitas pemancar (*transmit diversity*) dan diversitas penerima (*receive diversity*). Kedua teknik tersebut dapat meningkatkan kinerja dari sistem komunikasi tetapi pada diversitas penerima memiliki beberapa kendala diantaranya dimana untuk downlink (*dari base station ke user*) sangat sulit untuk menempatkan lebih dari dua antena pada alat portabel user yang kecil. Sistem *transmit diversity*, dapat menggunakan modulasi M-ary QAM dengan cara mengubah sinyal informasi yang berupa bit-bit dalam bentuk simbol. Jumlah bit dalam simbol tergantung M-ary yang digunakan. Semakin tinggi tingkatan QAM yang digunakan maka semakin banyak bit yang dapat dimuat dalam satu simbol. Dalam penelitian ini akan dianalisis mengenai pengaruh pengiriman informasi berupa citra digital dalam teknik *transmit diversity* pada sistem komunikasi nirkabel dengan karakteristik kanal *fading* yang terdistribusi secara *Rayleigh* dan *Rician* dibandingkan dengan teknik yang konvensional (SISO).

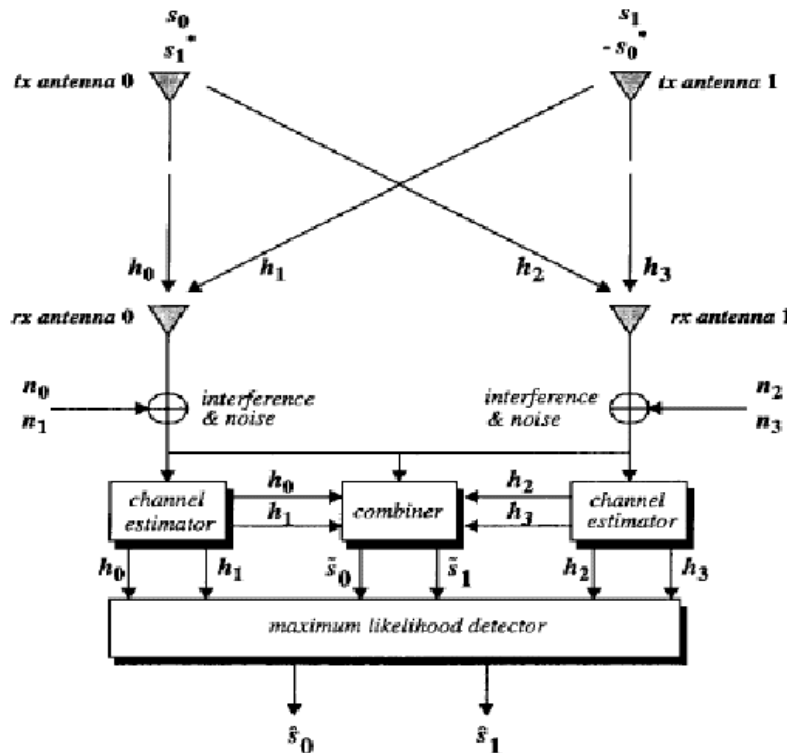
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem *transmit diversity* dua pemancar dengan dua penerima

Penggunaan antena jamak pada pemancar dan penerima digunakan untuk memperbaiki kualitas

sinyal yang diterima. Pada kasus tertentu, hal ini memungkinkan untuk menyediakan sebuah jenis diversitas $2M$, dengan dua antenna pengirim dan dua M penerima. Sistem ini disebut juga STBC (*Space Time Block Codes*) karena mengkombinasikan diversitas spasial dan temporal. Gambar di bawah memperlihatkan suatu ilustrasi sebuah kasus khusus

dua antenna pengirim (*transmit*) dan dua antenna penerima (*receive*) [1].



Gambar 1. Skema baru dengan dua antenna pengirim dan dua antenna penerima

Tabel 1. Notasi kanal

	rx antenna 0	rx antenna 1
tx antenna 1	h_0	h_2
tx antenna 2	h_1	h_3

Tabel 2. Notasi sinyal yang diterima

	rx antenna 0	rx antenna 1
Time t	r_0	r_2
Time t + T	r_1	r_3

Tabel 1 memaparkan kanal diantara antenna pengirim dan penerima., dan tabel 2 memaparkan notasi untuk sinyal yang diterima pada dua antenna penerima. Pada sistem diversitas pemancar, sinyal yang diterima receiver merupakan penjumlahan dari sinyal yang diterima oleh masing-masing antenna. Sinyal yang diterima dalam dua interval symbol yang berdekatan dengan notasi yang diperlihatkan dalam tabel 2.

$$\begin{aligned}
 r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\
 r_1 &= -h_0 s_1 + h_1 s_0 + n_1 \\
 r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\
 r_3 &= -h_2 s_1 + h_3 s_0 + n_3
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana $n_0, n_1, n_2,$ dan n_3 adalah variabel acak kompleks yang memperlihatkan noise thermal dan interferens receiver.

Combiner pada gambar 1 dibuat mengikuti dua sinyal yang selanjutnya dikirim ke *maximum likelihood detector*. Aturan combiner adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\
 \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^*
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Dengan mensubtitusi persamaan yang tepat maka:

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^* \\
 \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_1 + h_1^* n_0 - h_0 n_1^* + h_3^* n_2 - h_2 n_3^*
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Kombinasi sinyal dikirim ke *Maximum Likelihood detector*. Untuk sinyal s_0 digunakan kriteria keputusan seperti persamaan dibawah ini:

$$\left(\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} - 1\right) |s_i|^2 + d^2 \left(\tilde{s}_0 \cdot s_i \right) \leq \left(\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} - 1\right) |s_k|^2 + d^2 \left(\tilde{s}_0 \cdot s_k \right) \quad (4)$$

Untuk sinyal s_i , pilih s_i jika:

$$\left(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1\right) |s_i|^2 + d^2 \left(\tilde{s}_1 \cdot s_i \right) \leq \left(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1\right) |s_k|^2 + d^2 \left(\tilde{s}_1 \cdot s_k \right) \quad (5)$$

2.2 Kanal Fading

Kanal Fading dipengaruhi oleh dua karakteristik fading yaitu fading dalam skala luas dan skala kecil, Fading skala besar diasumsikan dalam proses yang lambat dan biasanya dimodelkan secara statistik dengan log normal. Fading dalam skala kecil juga disebut sebagai Rayleigh dan *Rician* Fading, karena sebagian besar selubung sinyal yang diterima adalah lintasan pantul dan dapat digambarkan dengan fungsi kerapatan probabilitas (PDF) *Rayleigh* dan *Rician*. [2]

Amplitudo sinyal yang mengalami fading dapat dimodelkan dengan distribusi *Rayleigh* dan *Rician* tergantung dari ada atau tidak nya komponen sinyal specular. Fading bisa disebut *Rayleigh*, bila lintasan propagasi Line Of Sight (LOS) tidak dominan, sedangkan *Rician*, lintasan propagasi LOS nya lebih didominasi. Amplitudo sinyal fadin pada waktu sesaat ke- i dinyatakan dengan:

$$r_i = \sqrt{(x_i + \beta)^2 + y_i^2} \quad (6)$$

Dimana β adalah amplitudo komponen specular dan x_i , y_i adalah proses acak gaussian dengan rata-rata 0 dan varian σ_0^2 . Perbandingan antara komponen specular dengan energi yang hilang dinyatakan sebagai factor *Rician*,

$$K = \frac{\beta^2}{2\sigma_0^2} \quad (7)$$

Kondisi terbaik dan terburuk dari kanal fading *Rician* dinyatakan dengan nilai $K = \infty$ dan $K = 0$ yang dikatakan sebagai kanal Gaussian dan *Rayleigh* Probability Density Function (PDF) Rice dinyatakan dengan persamaan:

$$f_{rice}(r) = \frac{r}{\sigma_0^2} \exp\left[-(r^2 + \beta^2)/2\sigma_0^2\right] I_0\left[\frac{r\beta}{\sigma_0^2}\right] \quad r \geq 0 \quad (8)$$

Dimana $I_0[\cdot]$ adalah fungsi Bessel orde ke nol dari jenis pertama. Bila tidak ada lintasan propagasi yang dominan maka $K = 0$ dan $I_0[\cdot] = 1$, sehingga menjadi Probabilitas Density Function *Rayleigh* dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{Rayleigh}(r) = \frac{r}{\sigma_0^2} \exp\left[-(r^2)/2\sigma_0^2\right] \quad r \geq 0 \quad (9)$$

2.3 Citra digital

Citra sebagai suatu fungsi real dan dapat diproses dengan komputerisasi, maka suatu citra harus direpresentasikan secara numerik kedalam nilai-nilai diskrit. Citra yang diperoleh dari hasil pengolahan ke dalam nilai-nilai diskrit yang disebut citra digital. Proses digitalisasi citra ada dua jenis yaitu : [5]

- Digitalisasi spasial (x,y) yang sering disebut juga sebagai sampling. Sampling adalah proses untuk menentukan warna pada pixel tertentu pada citra. Pada proses sampling ditentukan warna rata-rata dari gambar analog yang kemudian dibulatkan kedalam bilangan bulat.
- Digitalisasi intensitas $f(x,y)$ sering disebut juga sebagai kuantisasi. Kuantisasi merupakan pengelompokan warna rata-rata yang dapat direlasikan dalam bentuk level warna tertentu.

2.4 PSNR

Kualitas citra dapat diukur dengan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). PSNR ditentukan dengan menentukan nilai rata-rata kuadrat dari kesalahan (MSE – *Mean Square Error*) terlebih dahulu. MSE (*Mean Square Error*) merupakan kesalahan rata-rata dari 2 *image* (citra) yang dibandingkan. Persamaan MSE adalah sebagai berikut [6]

$$MSE = \frac{1}{3mn} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j)_i - K(i, j)_i]^2 \quad (10)$$

dimana :

MSE = Nilai Mean Square Error dari citra

m = panjang citra tersebut (pixel)

n = lebar citra tersebut (pixel)

(i,j) = koordinat masing-masing pixel

I = derajat keabuan citra asli pada koordinat i,j

K = nilai derajat keabuan citra rekonstruksi pada koordinat i,j

Nilai PSNR dihitung dari kuadrat nilai maksimum sinyal dibagi dengan MSE nilai PSNR dalam desibel dapat dihitung dengan persamaan [6]

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_1^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (11)$$

dimana :

PSNR = nilai PSNR citra (dB)

MAX₁ = nilai maksimum pixel

MSE = nilai MSE citra

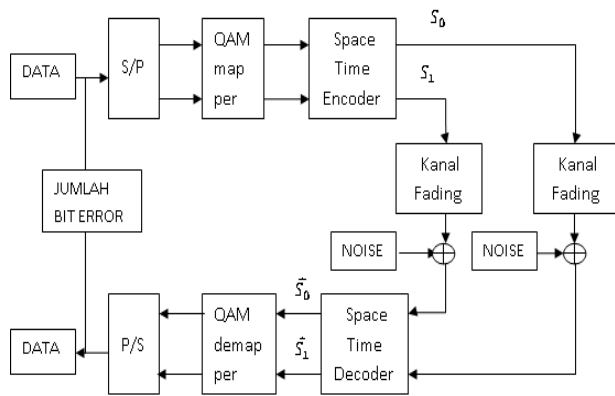
Citra digital dapat dibagi dalam 5 kategori seperti ditunjukkan dalam tabel 3 [6]

Tabel 3. Kategori PSNR

No.	Nilai PSNR	Kategori
1	60	Excellent, no noise apparent
2	50	Good, a small amount of noise but picture quality good
3	40	Reasonable, fine grain or snow
4	30	Lost in the picture, some fine detail
5	20	Poor picture with a great deal of

3. PEMODELAN SISTEM

Penelitian ini akan mensimulasikan sistem diversitas pemancar (transmit diversity) melalui kanal Fading, bentuk pemodelan sistem dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Model Sistem Transmit Diversity 2x2

Berdasarkan gambar 2 dapat dijelaskan blok diagram sistem sebagai berikut:

1. Data

Data yang digunakan adalah citra digital yang sudah terkompresi JPEG dengan resolusi 120x120 pixel. Setelah Citra tersebut ditampilkan dalam bentuk matriks desimal, selanjutnya di konversi ke binary bit 1 dan 0.



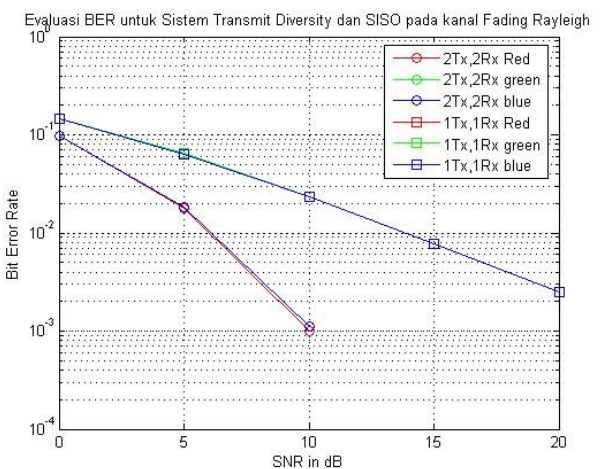
Gambar 3. Citra digital dengan resolusi 120x120

- Serial to Paralel dan Paralel to Serial
Mengubah deretan bit dalam bentuk paralel di sisi pemancar dan bentuk serial di sisi penerima.
- QAM mapper dan demapper
Modulasi QAM yang digunakan M-ary QAM dengan tingkat modulasi 4-QAM. Fungsi QAM adalah untuk mengubah deretan bit menjadi bentuk deretan symbol **1-i, 1+i, -1+i dan -1-i**
- Space Time Encoder
Deretan simbol yang akan dikirim, dikodekan terlebih dahulu berdasarkan waktu dan deretan antena yang ada di pemancar.
- Space Time Decoder
Terdiri dari bagian combiner dan maximum likelihood detector
- Penghitung Bit Error Rate (BER)
Membandingkan kesalahan bit yang diterima dengan bit yang dikirim.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Kinerja sistem Diversitas Pemancar dengan sistem SISO





Gambar 4 menunjukkan kinerja sistem Diversitas Pemancar dengan sistem SISO pada kanal Fading Rayleigh



Gambar 4. Evaluasi BER Sistem Transmit Diversity dan SISO pada kanal Fading Rayleigh.

Dari gambar 4 dapat diamati bahwa untuk mencapai nilai BER = 10⁻² diperlukan nilai SNR (dB) pada sistem SISO adalah 14 dB, sedangkan pada sisten Diversitas Pemancar (2Tx, 2Rx) adalah sebesar 6 dB untuk setiap unsur warna citra. Hal ini menunjukkan bahwa dengan nilai error yang sama, teknik Diversitas Pemancar (2Tx, 2Rx) membutuhkan daya yang lebih kecil daripada system SISO, sedangkan untuk nilai SNR = 10 dB didapatkan nilai BER pada sistem SISO rata-rata sebesar 2x10⁻², untuk red, green, dan blue sedangkan pada sistem Diversitas Pemancar (2Tx, 2Rx) adalah sebesar 10⁻³ untuk seluruh unsur warna. Hal ini

menunjukkan bahwa kinerja sistem Diversitas Pemancar dengan konfigurasi dua antenna pengirim dan dua antenna penerima lebih baik daripada sistem SISO dimana dengan daya yang sama sistem Diversitas Pemancar menghasilkan error yang lebih kecil daripada sistem SISO

MIMO 2Tx; 2Rx	SISO 1Tx;1Rx
SNR=5dB, PSNR = 39.3103 dB	SNR=5 dB, PSNR=34.0345 dB
	
SNR=15 dB PSNR=66.7624 dB	SNR=15 dB PSNR=42.4953 dB
	

Gambar 5. Citra digital di bagian penerima pada sistem transmit diversity dan SISO

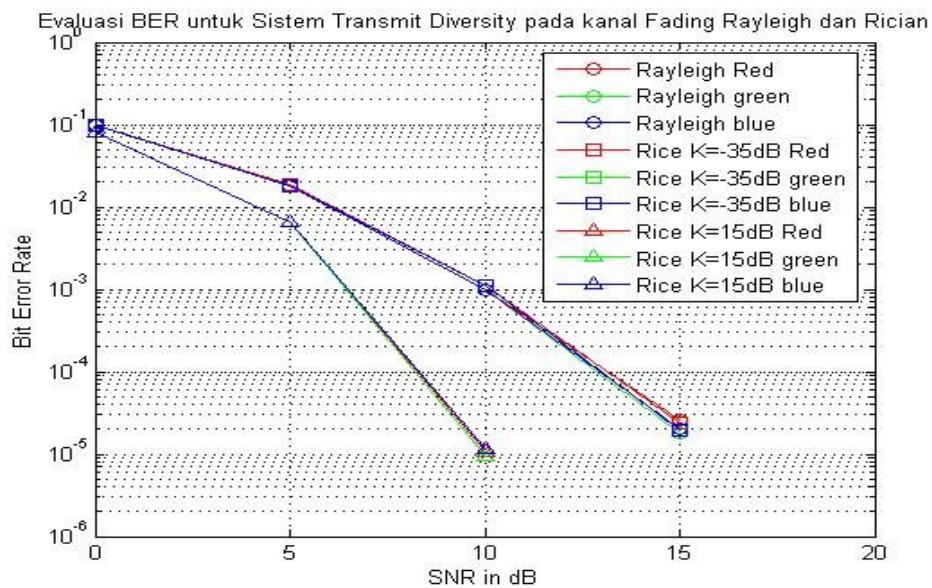
Dari Gambar 5 dapat dilihat nilai PSNR untuk sistem transmit diversity 2Tx 2Rx sebesar 39.3103 dB dan SISO dengan nilai PSNR 34,0345 dB pada

saat nilai SNR nya 5 dB. Dengan penambahan nilai SNR 10 dB, nilai PSNR dari citra digital yang telah direkonstruksi menjadi 66.7642 dB dan termasuk dalam katagori sangat baik bila dibandingkan dengan SISO dengan PSNR 42.4953 dB. Hal ini menunjukkan bahwa citra yang diterima melalui sistem transmit diversity memiliki kualitas yang baik.

4.2 Analisa Kinerja sistem Diversitas Pemancar Pada Kanal Rayleigh dan Rician Fading

Gambar 6 menunjukkan kinerja sistem Diversitas Pemancar dengan dua antenna pemancar dan dua antenna penerima pada kanal Rayleigh dan Rician Fading.

Dari gambar 6 dapat diamati bahwa untuk mendapatkan nilai BER yang sama yaitu sebesar 10^{-2} diperlukan nilai SNR Diversitas Pemancar pada kanal Rician dengan faktor K = 15 dB sebesar 4 dB, kemudian pada kanal Rician dengan faktor K = -35 dB dengan nilai 6 dB, dan kanal Rayleigh dengan nilai SNR 6 dB. Sedangkan pada SNR 10 dB, nilai BER yang terjadi pada kanal Riciandengan K=15 dB sebesar 10^{-5} , Rician dengan nilai K = -35dB dan Rayleigh Fading mendekati nilai BER 10^{-3} pada semua warna red, green dan blue. Ini menunjukkan bahwa kanal Rician dipengaruhi oleh faktor K, semakin besar faktor K maka komponen Line-Of-Sight (LOS) semakin kuat. Untuk kanal Rician Fading dengan nilai K =-35 dB memiliki kondisi yang hampir sama dengan kanal Rayleigh Fading, hal ini terlihat dalam gambar grafik yang berimpit untuk semua nilai SNR serta semua komponen warna dari citra digital.









Gambar 6. Evaluasi BER Sistem Transmit Diversity pada kanal Rayleigh dan Rician Fading

Untuk SNR 5 dB nilai PSNR dalam sistem *transmit diversity* pada kanal *Rayleigh* sebesar 39.2471 dB, *Rician Fading* dengan $K = 15$ dB nilainya 43.3964 dB, dan *Rician Fading* dengan $K = -35$ dB nilainya 39.2663 dB saat nilai SNR nya 5 dB yang ditunjukkan dalam Gambar 7. Dengan penambahan nilai SNR 10 dB, nilai PSNR dari citra digital yang telah direkonstruksi menjadi berturut-turut menjadi 66.7771 dB, 60 dB, dan 65.3001 dB yang termasuk dalam katagori sangat baik. Ini menunjukkan bahwa citra yang diterima melalui kanal *Rayleigh* dan *Rician* dengan $K=15$ dB serta *Rician* dengan $K=-35$ dB pada sistem *transmit*

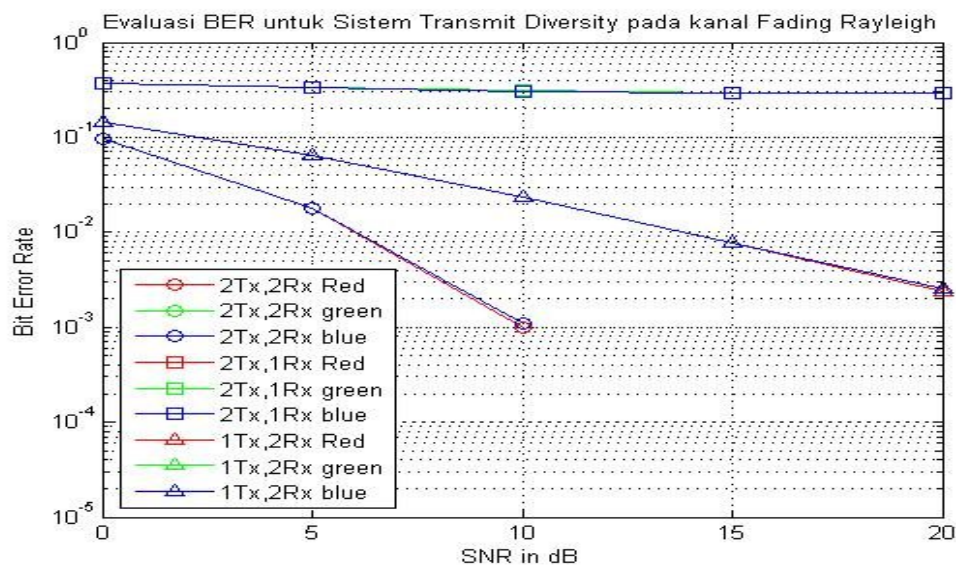
diversity tidak memiliki pengaruh yang signifikan dalam pengiriman citra digital.

4.3 Analisa Kinerja sistem Diversitas Pemancar Pada Kanal Rayleigh Fading

Kinerja sistem Diversitas Pemancar dengan dua antenna pemancar dan dua antenna penerima, dua antenna pemancar dan satu antenna penerima, serta satu antenna pemancar dan dua antenna penerima pada kanal *Rayleigh Fading* dapat dilihat dalam gambar 8.

<i>Rayleigh Fading</i>	<i>Rician Fading</i> K= 15 dB	<i>Rician Fading</i> K= -35 dB
SNR = 5 dB PSNR =39.2471 dB	SNR = 5 dB PSNR =43.3964 dB	SNR = 5 dB PSNR =39.2663 dB
		
SNR =1 5 dB PSNR =66.7771 dB	SNR = 15 dB PSNR =60 dB	SNR = 15 dB PSNR =65.3001 dB
		







Gambar 7. Citra digital di bagian penerima dari sistem transmit diversity pada kanal *Rayleigh* dan *Rician Fading*



Gambar 8. Evaluasi BER Sistem *Transmit Diversity* pada kanal *Rayleigh Fading*

Dari Gambar 8 menunjukkan perbandingan kinerja Sistem Diversitas Pemancar dengan variasi antenna pemancar dan penerima (2Tx 2Rx, 2Tx 1Rx, 1Tx 2Rx) melalui kanal *Rayleigh* dengan menggunakan *mapping* 4-QAM dilihat dari hubungan antara *Bit Error Rate* dengan *Signal to Noise Ratio*. Berdasarkan variasi antenna pemancar dan penerima maka kinerja BER terbaik dicapai pada saat

menggunakan konfigurasi antenna 2 pemancar dan 2 penerima (2Tx, 2Rx) dengan kondisi SNR yang sama yaitu 10 dB. Nilai SNR untuk mencapai BER = 10^{-2} diperlukan nilai SNR yang berbeda. Untuk konfigurasi 2Tx 2Rx diperlukan nilai 6 dB, sedangkan untuk konfigurasi 2Tx 1Rx memerlukan lebih dari nilai 20 dB, dan untuk konfigurasi 1Tx 2RX memerlukan nilai diatas 14 dB.

MIMO (2Tx;2Rx)	SIMO (1Tx;2Rx)	MISO (2Tx;1Rx)
SNR=5dB, PSNR = 39.3103	SNR = 5 dB PSNR = 31.5075	SNR = 5 dB PSNR = 28.8436
		
SNR=15 dB PSNR=66.7624	SNR = 15 dB PSNR = 33.2684	SNR = 15 dB PSNR = 29.0098
		

Gambar 9. Citra digital di bagian penerima dari sistem *transmit diversity* pada kanal *Rayleigh* Fading

Gambar 9 menunjukkan nilai PSNR untuk sistem *transmit diversity* dengan variasi antenna 2 pemancar dan 2 penerima adalah 39.3103dB, untuk variasi antenna 1 pemancar 2 penerima adalah 31.5075dB dan untuk variasi antenna 2 pemancar 1 penerima memiliki nilai PSNR sebesar 28.8436 dB saat nilai SNR yang digunakan 5 dB. Dengan kenaikan SNR menjadi 15 dB, nilai PSNR nya berubah secara berturut-turut, menjadi 66.7624 dB, 33.2684 dB, dan 29.0098 dB. Hal ini menunjukkan bahwa hasil rekonstruksi citra yang melewati sistem *transmit diversity* dengan variasi antenna 2 pemancar dan 2 penerima memiliki kualitas yang lebih baik.

5. SIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perbandingan nilai BER dengan SNR, kinerja *transmit diversity* 2Tx 2Rx pada kanal fading *Rayleigh* untuk input berupa citra digital dengan resolusi 120x120, kinerjanya lebih baik dari sistem SISO, SIMO serta MISO untuk setiap unsur warna citra digital.

2. Untuk kinerja system *transmit diversity* 2Tx 2 Rx pada *Rayleigh* dan *Rician* Fading lebih baik pada saat kondisi kanal *Rician* Fading K =15 dB dibandingkan dengan kanal *Rayleigh* dan *Rician* K=-35 dB
3. Nilai PSNR terbaik didapatkan pada saat menggunakan konfigurasi 2 pemancar dan 2 penerima (2Tx 2Rx) pada kanal *Rayleigh* Fading,
4. Kanal *Rician* dengan K=5dB memiliki PSNR paling baik dibandingkan dengan kanal *Rayleigh* dan *Rician* dengan K=-35 dB, pada sistem *transmit diversity* 2Tx 2 Rx untuk SNR = 5 dB

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamouti, S., A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications, *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, USA, 1998.
- [2] Kostov, N.. Mobile Radio Channel Modeling in Matlab. Department of Radio Engineering, Technical University of Varna, Bulgaria, 2003.

- [3] Proakis, John G. and Salehi, Masoud.. Contemporary Communication system Using MATLAB, PWS, Northeastern University, 2000.
- [4] Rappaport, T. S.. Wireless Communication: Principles and Practice, Pearson Education, Inc, Singapore, 2002.
- [5] Anggaraini, R., Baharuddin.,Analisa Unjuk Kerja *Quadrature Amplitude Modulation* Pada Kanal Fading Untuk Citra Digital . Nov. 2007, Volume 1, No.28, Padang, 2007.
- [6] Priyoyudo, A., Teknik Pembuktian Kepemilikan Citra Digital Dengan Watermarking Pada Domain Wavelet. Semarang: Universitas Diponegoro,2006