

ANALISA UNJUK KERJA *QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION* PADA KANAL FADING UNTUK CITRA DIGITAL

Rina Anggaraini¹⁾, Baharuddin²⁾

Staf Pengajar Politeknik Negeri Padang
Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unand

ABSTRAK

QAM adalah teknik modulasi yang dilakukan dengan cara mengubah amplitudo dan phase sinyal carrier. Teknik modulasi ini memiliki keuntungan bila dibandingkan dengan teknik modulasi PSK dan teknik modulasi ASK. Teknik modulasi QAM membutuhkan lebih sempit bandwidth daripada teknik modulasi PSK dan memiliki nilai Probability of Symbol Error lebih kecil dari pada teknik modulasi ASK. Penelitian yang dilakukan yaitu menganalisa unjuk kerja sistem transmisi citra digital pada lingkungan kanal fading. Pada penelitian ini digunakan file citra grayscale 8 bit sebagai input. Proses yang dilakukan dimulai dari mentransformasikan citra menggunakan transformasi DWT dua dimensi pada level 2. Setelah itu dilakukan kuantisasi skalar uniform. Kemudian dimodulasikan dengan modulasi QPSK. Citra ditransmisikan pada kanal fading yang terdistribusi Rayleigh. Pada penerima, citra didemodulasi, didekuantisasi dan dilakukan invers transformasi, sehingga dihasilkan citra rekonstruksi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada nilai SNR kecil (di bawah 16 dB) didapatkan nilai PSNR citra rekonstruksi yang rendah yaitu kurang dari 30 dB dan nilai BER yang besar. Kemudian pada kondisi nilai SNR tinggi (20 dB atau lebih) citra hasil rekonstruksi menunjukkan hasil yang sangat signifikan baik dengan nilai PSNR diatas 40 dB.

Keywords : QAM, Noise citra, DWT, fading, PSNR, BER

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dibidang komunikasi yang berkembang dengan pesat dari tahun ke tahun, memungkinkan pengiriman data atau informasi tidak lagi hanya dalam bentuk teks, tetapi juga dapat berupa gambar (citra), audio, dan video. Keempat macam data atau informasi ini sering disebut sebagai multimedia[1].

Suatu modulasi adalah proses dimana sinyal informasi diubah menjadi suatu gelombang sinusoid. Sinusoid memiliki tiga tanda yang dapat digunakan untuk membedakannya dari sinusoid lainnya yaitu : amplitudo, frekuensi dan phase. Oleh karena itu modulasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang mana ampitudo, frekuensi dan phase gelombang carrier atau suatu kombinasi dari mereka adalah berbeda-beda dalam penyesuaian dengan informasi yang ditransmisikan. Bentuk umum gelombang carrier, $s(t)$, adalah seperti berikut :

$$S(t) = A(t)\cos[w_0 t + f(t)] \quad (1)$$

Dimana $A(t)$ adalah waktu variasi amplitudo , w_0 adalah frekuensi radian carrier dan $f(t)$ adalah phase. Citra adalah salah satu komponen multimedia yang memegang peranan sangat penting sebagai informasi visual. Citra mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh teks, yaitu citra kaya dengan

informasi[1]. Saat ini penggunaan informasi citra digital digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, seperti pada jaringan internet, layanan Multimedia Message Service (MMS), citra medis, dan kamera keamanan jarak jauh, serta beragam aplikasi lainnya[1].

Namun dalam pengiriman suatu data atau informasi, terdapat gangguan yang berasal dari luar sistem seperti multipath fading, noise, dan intersymbol interference (ISI). Ini juga terjadi pada pengiriman data berupa citra. Dalam sistem komunikasi, multipath fading merupakan gangguan yang dinilai memiliki efek yang signifikan[2].

Multipath Fading adalah gangguan yang disebabkan karena adanya lintasan ganda/ jamak (multipath) akibat sinyal yang dikirimkan dipantulkan oleh benda-benda seperti rumah, gedung, pohon, kendaraan, dan benda-benda lain dari pemancar ke penerima[2]. Multipath Fading menyebabkan sinyal diterima dengan level daya yang berbeda

2. CITRA DIGITAL

Secara harfiah, citra adalah gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (continue) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Sumber cahaya menerangi objek, objek

memantulkan kembali sebagian berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (scanner), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam [1].

Citra merupakan suatu representasi, kemiripan, atau imitasi dari suatu objek atau benda. Image (citra) sebagai salah satu komponen multimedia memegang peranan penting sebagai bentuk informasi visual. Citra mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh data teks, yaitu citra kaya akan informasi. Citra merupakan gambar pada bidang dwimatra. Citra merupakan sebuah sinyal dua dimensi yang merupakan fungsi dua variabel bebas, karena itu citra memiliki sejumlah data[2]. Citra yang dimaksud adalah citra diam. Citra diam adalah citra tunggal yang tidak bergerak.

Citra dapat dipandang sebagai suatu fungsi bernilai real. Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai – nilai diskrit. Representasi citra dari fungsi kontinu menjadi nilai – nilai diskrit disebut digitalisasi. Citra yang dihasilkan inilah yang disebut citra digital (digital image). Pada umumnya citra digital berbentuk empat persegi panjang, dan dimensi ukurannya dinyatakan sebagai tinggi X lebar (atau lebar X panjang). Masing – masing elemen pada citra digital (elemen matriks) disebut image element, picture element atau pixel. Citra digital yang berukuran N x M lazim dinyatakan dengan matriks yang berukuran N baris dan M kolom.[1]. Proses digitalisasi citra ada dua macam .[1]

1. Digitalisasi spasial (x,y), sering disebut sebagai sampling.
2. Digitalisasi intensitas f(x,y), sering disebut sebagai kuantisasi.

Sampling adalah proses untuk menentukan warna pada piksel tertentu pada citra. Pada proses sampling biasanya dicari warna rata – rata dari gambar analog yang kemudian dibulatkan ke dalam angka bulat.

Citra kontinu disampling pada grid – grid yang berbentuk bujursangkar (dalam arah horizontal dan vertikal). Terdapat perbedaan antara koordinat gambar yang disampling dengan koordinat matriks (hasil digitalisasi). Titik asal (0,0) pada gambar dan elemen (0,0) pada matriks tidak sama. Koordinat x dan y pada gambar dimulai dari sudut kiri bawah, sedangkan penomoran pixel pada matriks dimulai dari sudut kiri atas[1].

Dalam proses sampling warna rata – rata yang didapat direlasikan ke level warna tertentu[1]. Contohnya apabila dalam citra hanya terdapat 16 level warna abu-abu, maka nilai rata – rata yang didapat dalam proses sampling harus diasosiasikan ke 16 level tersebut. Proses mengasosiasikan warna rata – rata dengan level warna tertentu disebut dengan kuantisasi.

Citra merupakan dimensi spatial yang berisi informasi warna dan tidak bergantung pada waktu. Citra merupakan sekumpulan titik – titik dari gambar. Titik–titik tersebut menggambarkan posisi koordinat dan mempunyai intensitas yang dapat dinyatakan dengan bilangan. Intensitas ini menunjukkan warna citra.

3. TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT

Transformasi sinyal merupakan representasi bentuk yang lain dari sinyal tersebut. Suatu transformasi sinyal tidaklah merubah informasi yang terkandung dalam sinyal tersebut. Sebelum pemakaian transformasi wavelet berkembang, transformasi fourier telah lebih dulu menjadi metode analisis. Pada analisa fourier, suatu sinyal dipecah menjadi kumpulan dari fungsi sinusoida pada frekuensi yang berbeda – beda. Fungsi dasar pada transformasi fourier adalah sinus dan kosinus. Pada dasarnya transformasi fourier mengubah sinyal dari basis waktu ke basis frekuensi.

Transformasi wavelet adalah suatu metoda yang merubah sinyal berdimensi waktu menjadi koefisien – koefisien yang berdimensi waktu dan frekuensi. Transformasi wavelet mampu mengkombinasikan informasi tentang waktu dan frekuensi suatu sinyal secara simultan. Transformasi wavelet dapat digunakan untuk menganalisis sinyal time – frequency suatu sinyal baik secara global maupun lokal karena adanya parameter skala.

Discrete Wavelet Transformation (DWT) merupakan transformasi yang penting pada aplikasi signal processing yang berdasarkan sinyal diskrit pada waktu. Wavelet merupakan gelombang mini (small wave) yang mempunyai kemampuan mengelompokkan energi sinyal terkonsentrasi pada sekelompok kecil koefisien. Transformasi wavelet adalah teknik dekomposisi sinyal dengan prinsip penskalaan dan pergeseran mother wavelet, sehingga didapatkan nilai konstanta yang mewakili statu nilai waktu dan frekuensi. Perumusan mother wavelet :[3]

$$\Psi_{s, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi \left(\frac{t - \tau}{s} \right) \dots\dots\dots (2)$$

- Dimana : s = parameter penskalaan (dilasi)
- τ = parameter pergeseran (translasi)
- ψ(t) = fungsi mother wavelet

Wavelet induk didilasi (diskalakan) dan ditranslasi (digeser) melalui pemisahan menurut frekuensi menjadi sub – sub bagian[3].

Penskalaan dan pergeseran yang kontinu akan mempersulit dekomposisi sinyal. Oleh karena itu, dilakukan penskalaan dan pergeseran secara diskrit yaitu :

$$s = \frac{1}{2^j} \dots\dots\dots (3)$$

$$t = \frac{k}{2^j} \dots\dots\dots (4)$$

Maka transformasi wavelet diskrit dapat dirumuskan:

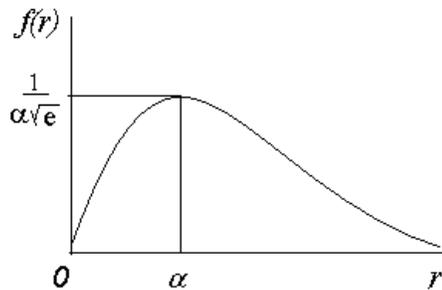
$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (5)$$

Akhir proses dari transformasi adalah mengembalikan sinyal informasi pada koefisien yang dapat dimanipulasi, disimpan, dan ditransmisikan, dan dapat digunakan untuk membentuk sinyal informasi kembali. Pembentukan kembali sinyal informasi harus mendekati sinyal yang diinginkan. Transformasi wavelet dapat menangkap sinyal frekuensi rendah dan tinggi melalui suatu proses yang disebut dengan multiresolution.

4. PEMODELAN KANAL FADING

Dalam komunikasi, sinyal yang ditransmisikan mengalami pantulan dimana-mana, sehingga terdapat berbagai macam jalur yang dilalui sinyal untuk sampai ke penerima (multipath). Hal ini dapat menyebabkan sinyal berinterferensi positif maupun negatif sehingga pada penerima terlihat bahwa sinyal tersebut berfluktuasi. Efek fluktuasi sinyal ini biasa disebut dengan fading.[2].

4.1 Distribusi Rayleigh fading



Gambar 1 Grafik PDF Distribusi Rayleigh^[12]

Pada Gambar 1 ditunjukkan grafik *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi *Rayleigh*.

Fenomena fading yang terjadi dapat dimodelkan secara matematis menggunakan distribusi Rayleigh. Pada kanal wireless, distribusi Rayleigh secara umum dipakai untuk menggambarkan statistik perbedaan waktu dari envelope yang diterima untuk sebuah sinyal fading atau selubung dari satu komponen multipath. Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kepadatan probabilitas (probability density function /PDF) seperti yang ditunjukkan persamaan [12]:

$$f(r) = \begin{cases} \frac{r}{\alpha^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\alpha^2}\right) & (0 \leq r < \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (6)$$

dimana : α = tegangan rata-rata

$$\alpha^2 = \text{daya rata-rata}$$

4.2 Model Matematika Kanal Fading

Asumsikan bahwa sinyal yang ditransmisikan s(t) memiliki persamaan sebagai berikut[13] :

$$S(t) = A \cos 2\pi f_c t \quad (7)$$

Pada kanal yang terkena fading maka sinyal yang diterima dinyatakan dengan[13] :

$$y(t) = A \sum_{i=1}^N a_i \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \quad (8)$$

Dimana :

a_i adalah atenuasi yang dialami pada kanal

θ_i adalah pergeseran fasa pada kanal

a_i dan θ_i merupakan variabel random sehingga persamaan diatas dapat dibuat menjadi[13] :

$$y(t) = A \left\{ \left(\sum_{i=1}^N a_i \cos(\theta_i) \right) \cos(2\pi f_c t) - \left(\sum_{i=1}^N a_i \sin(\theta_i) \right) \sin(2\pi f_c t) \right\} \quad (9)$$

Dengan mengasumsikan $X_1(t)$ dan $X_2(t)$ adalah proses random maka persamaan diatas menjadi [13]:

$$y(t) = A \{ X_1(t) \cos(2\pi f_c t) - X_2(t) \sin(2\pi f_c t) \} \quad (10)$$

Jika nilai N bernilai besar maka $X_1(t)$ dan $X_2(t)$ dapat diaproksimasikan menjadi *gaussian* random variabel dengan rata-rata nol dan varians σ^2 .

4.3. Perancangan Sistem

Input yang digunakan pada simulasi ini yaitu data berupa citra digital. Pada sisi transmitter citra asli ditransformasikan dengan metoda DWT level 2, lalu dilakukan kuantisasi skalar uniform, kemudian dimodulasi dengan modulasi baseband QAM. Sedangkan pada sisi receiver sinyal data yang sudah dipengaruhi noise AWGN didemodulasi, dekuantisasi, lalu dilakukan invers DWT, maka akan didapatkan rekonstruksi citra.

Langkah pertama yaitu, menginputkan citra digital yang masih original (belum mengalami pengolahan/ kompresi). Citra input yang digunakan untuk transmisi adalah citra grayscale. Citra grayscale terdiri dari 8 bit per piksel (bpp). Format citra ini disebut keabuan karena pada umumnya warna yang dipakai adalah hitam sebagai warna minimal dan warna putih sebagai warna maksimalnya, sehingga warna antaranya adalah abu – abu. Pada simulasi ini dipakai 4 buah citra digital grayscale berukuran 256x256 sebagai input.

Langkah kedua yaitu, citra input ditransformasi menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT) dua dimensi dengan level transformasi dua. Pada setiap level, citra didekomposisikan menjadi 4 subcitra yang terdiri dari 1 komponen aproksimasi (subcitra dengan komponen frekuensi terendah) dan 3 komponen detail (3 subcitra dengan komponen

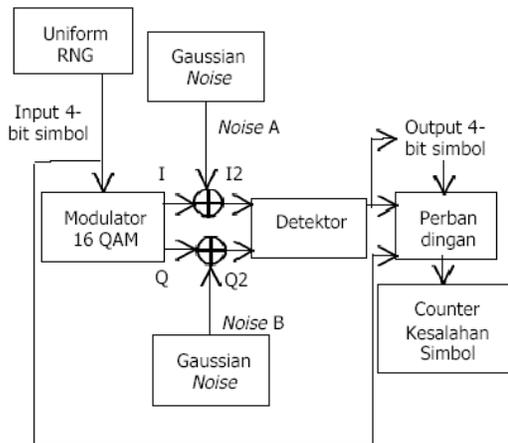
frekuensi tinggi, secara berurutan: subcitra detail vertikal/LH, subcitra detail horizontal/HL, dan subcitra detail diagonal/HH).

Citra yang telah ditransformasi kemudian dikuantisasi. Proses kuantisasi ini bertujuan untuk menentukan berapa besar jumlah bit yang digunakan untuk menyimpan koefisien hasil transformasi. Jenis kuantisasi yang digunakan yaitu kuantisasi skalar uniform dengan bit kuantisasi 8. Tiap level kuantisasi mempunyai step size yang sama (uniform). Keluaran dari hasil kuantisasi dijadikan matrik 1 x 524288 (yang diperoleh dari hasil perkalian ukuran citra dengan 8 bit) yang bernilai biner.

Setelah dikuantisasi, dilakukan teknik modulasi QAM dengan membagi bit – bit keluaran proses kuantisasi menjadi dua kanal in-phase dan quadrature. Bit-bit ini diubah ke level ‘-1’ yang mewakili bit ‘1’ dan level ‘+1’ yang mewakili bit ‘0’. Proses modulasi pada simulasi yang dilakukan menggunakan model sinyal baseband karena sinyal termodulasi passband membutuhkan komputasi yang besar. Sinyal baseband ini bernilai kompleks.

Bagian in-phase bernilai real dan quadrature bernilai imajiner. Sinyal baseband digital yang dihasilkan kemudian dikirimkan melalui kanal transmisi.

Pada penerima, diterima sinyal yang mengalami gangguan atau rusak akibat pengaruh fading. Sinyal ini selanjutnya didemodulasi QPSK yang prosesnya merupakan kebalikan dari modulasi. Hasil keluaran demodulasi berupa bit 1 dan 0 yang berikutnya akan didekuantisasi yang bertujuan untuk mengembalikan nilai biner menjadi nilai bulat (integer). Keluaran dari dekuantisasi ini akan didapatkan elemen citra berbentuk matriks. Algoritma proses dekuantisasi ini merupakan kebalikan dari proses kuantisasi. Tahap terakhir pada penerima adalah invers transformasi. Proses invers transformasi menghasilkan citra rekonstruksi.



Gambar 2 Blok Diagram Simulasi QAM

PSNR digunakan untuk mengukur kualitas suatu citra. Nilai PSNR yang disarankan berkisar antara 30

dB sampai dengan 45 dB [14]. Kualitas citra rekonstruksi dapat dihitung dengan persamaan (11) dibawah ini, yaitu :

$$PSNR = 10 * \log \left(\frac{255^2}{\frac{1}{N \cdot L} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^L (I_0(x,y) - I_1(x,y))^2} \right) \quad (11)$$

dimana, N dan L adalah dimensi citra. I_0 adalah intensitas citra *input* asli dan I_1 adalah intensitas citra rekonstruksi [6].

Pada sebagian literatur, penghitungan nilai PSNR dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan nilai rata-rata kuadrat dari kesalahan (MSE - Mean Square Error) [3]. Persamaan MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n \|I(i,j) - K(i,j)\|^2 \quad (12)$$

Dimana :

- MSE = Nilai *Mean Square Error* dari citra tersebut
- m = panjang citra tersebut (dalam piksel)
- n = lebar citra tersebut (dalam piksel)
- (i,j) = koordinat masing-masing piksel
- I = nilai 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 berikut:

$$PSNR = 10 \cdot \log \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (13)$$

Dimana :

- PSNR = nilai PSNR citra (dalam dB)
- MAX_I = nilai maksimum piksel
- MSE = nilai MSE

Dalam simulasi ini perhitungan probability of error adalah dengan cara membandingkan antara urutan bit pada pengirim dengan urutan bit yang dideteksi melalui proses decoding pada sisi penerima. Kemudian jumlah bit yang salah dibagi dengan jumlah bit informasi yang dibangkitkan pada transmitter sesuai dengan persamaan berikut [4][6]:

$$Pe = \frac{n}{N} \quad (14)$$

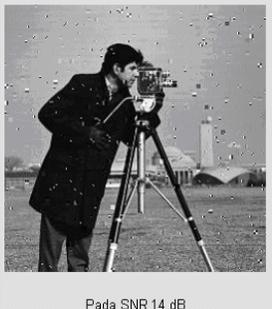
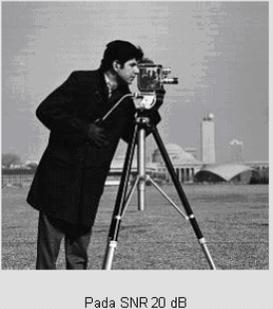
Dimana:

- n = jumlah bit error yang terdeteksi
- N = jumlah bit yang dikirimkan

5. ANALISA HASIL SIMULASI

Dari hasil simulasi yang dilakukan, dievaluasi unjuk kerja sistem transmisi citra digital pada kanal

fading dengan cara menganalisa kualitas citra rekonstruksi menggunakan nilai PSNR dan BER.

Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal <i>fading</i>	Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal <i>fading</i>
 <p>Pada SNR 2dB</p>	 <p>Pada SNR 14 dB</p>
SNR = 2 dB Jumlah bit error = 57999 BER = 0.1102 PSNR = 4.9144 dB	SNR = 14 dB Jumlah bit error = 710 BER = 0.0014 PSNR = 24.3058 dB
Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal <i>fading</i>	Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal <i>fading</i>
 <p>Pada SNR 16 dB</p>	 <p>Pada SNR 20 dB</p>
SNR = 16 dB Jumlah bit error = 127 BER = 2.4223e-004 PSNR = 30.7374 dB	SNR = 20 dB Jumlah bit error = 3 BER = 5.7220e-006 PSNR = 45.9396 dB

Gambar 3 Citra Hasil Rekonstruksi Pada Kanal Fading

Tabel 1 Hasil Simulasi Transmisi Citra Cameraman pada Kanal *Fading*

SNR (dB)	Jumlah bit error	BER	MSE	PSNR (dB)
2	57799	0.1102	2.0972e+004	4.9144
4	48477	0.0925	1.8359e+004	5.4922
6	33349	0.0636	1.3100e+004	6.9582
8	17493	0.0334	7.0049e+003	9.6768
10	7931	0.0151	3.1855e+003	13.0991
12	2850	0.0054	1.1774e+003	17.4215
14	710	0.0014	241.2663	24.3058
16	127	2.4223e-004	54.8708	30.7374
18	20	3.8147e-005	8.1838	39.0012
20	3	5.7220e-006	1.6562	45.9396

Nilai PSNR hasil simulasi yang terlihat pada Tabel 1 dihitung dari kuadrat nilai maksimum sinyal dibagi Mean Square Error (MSE). Nilai maksimum sinyal yang dimaksud disini adalah nilai intensitas maksimum dari piksel-piksel pada citra. Karena yang digunakan adalah citra grayscale, maka nilai intensitas maksimumnya adalah 255. Untuk nilai MSE didapatkan dengan membandingkan nilai intensitas citra input dengan nilai intensitas citra hasil rekonstruksi yang dihitung pada setiap piksel. Hasil perbandingan tersebut kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah piksel citra input. Nilai MSE ini memiliki hubungan berbanding terbalik dengan PSNR. Semakin kecil MSE maka PSNR semakin besar. Grafik hubungan PSNR dan MSE dapat dilihat pada Berikut ini merupakan tabel perbandingan antara nilai SNR (dB), BER, dan PSNR (dB) untuk citra Lena. Nilai SNR yang digunakan mulai dari 1 sampai dengan 12 dB.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa Transmisi citra digital pada kanal yang dipengaruhi oleh fading, dimana pada saat nilai SNR rendah diperoleh unjuk kerja yang buruk dari transmisi citra digital pada kanal fading, dengan nilai BER besar dan PSNR bernilai kecil (di bawah 30dB). Unjuk kerja yang baik didapatkan pada saat SNR bernilai tinggi, di atas 20 dB.

6.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dikembangkan suatu sistem teknik perbaikan untuk memperbaiki kinerja sistem transmisi pada kanal fading. Salah satu teknik perbaikan yang dapat dikembangkan adalah dengan teknik Diversity.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Munir, Rinaldi, 2004. *"Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik"*, Penerbit Informatika, Bandung.
- [2]. Wisnu, 2001. *"Simulasi Transmisi Sinyal Digital pada Kanal AWGN dan Rayleigh Fading"*. ITS, Surabaya.
- [3]. Fajri, 2003, *"Pengolahan Citra Digital"*. <http://www.fajri.freebsd.or.id>.
- [4]. Jani F Mandala, 2003. *"Pemanfaatan Transformasi Wavelet Citra Wajah Sebagai Sistem Keamanan Kunci Kombinasi"* <http://www.ict.ewi.tudelft.nl/pub/marcel/Lim00b.pdf>.
- [5]. Mukherjee, Amar, dan Weifeng Sun. *"Introduction to Wavelet"*
- [6]. Baharuddin, 2005. *"Transmisi Citra Dengan Teknik Diversity Combining Pada Kanal Wireless"*, ITS, Surabaya.
- [7]. Sudhakar, 2005, *"The Discrete Wavelet Transform"*. <http://www.etd.lib.fsu.edu/theses/chapter2.pdf>.
- [8]. Phillips. Dr. W. J., 2003. *"Multiresolution Analysis"*. <http://www.engmath.dal.ca/html>.
- [9]. Image Processing Research Group. 2004. *"Modul Praktikum EL – 4025 Pengolahan Citra Biomedika"*, Departemen Teknik Elektro, ITB, Bandung. <http://www.iprg.ee.itb.ac.id/modul4EL4027.pdf>
- [10]. Jongren, George. 2005. *"Analysis and Simulation of QPSK System"*
- [11]. Modulasi Digital.2005.*Phase Shift Keying*. <http://www.bps.go.id/prakom/publikation/DigMod4.pdf>
- [12]. Taub. Schilling, 1986. *"Principles of Communication Systems"*, McGraw-Hill, New York.
- [13]. Ramasami, Vijaya Chandran, *"Simulation Project"*, EECS 865 Project, EECS Department. University of Kansas. http://www.eepis-its.edu/~tribudi/EECS_865_Ind.pdf
- [14]. Wikipedia, 2005. *"Peak signal-to-noise ratio"*. <http://www.wikipedia.org>

BIODATA

1) Penulis adalah staf pengajar Politeknik Padang. Aktif sebagai Dosen pada tahun 1993. saat ini penulis telah menyelesaikan master pada september 2005. penulis juga aktif dalam kegiatan redaksi jurnal di politeknik negeri Padang. E-mail : Rinaangraini@yahoo.com

2)Penulis adalah staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang. Lulus Program Sarjana pada tahun 1993 pada Bidang Teknik Telekomunikasi dan Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2005 menyelesaikan studi program magister bidang Telekomunikasi Multimedia di ITS Surabaya.

E-mail : baharuddin2006@yahoo.com;
baharuddin@ft.unand.ac.id