

ANALISA KINERJA TRANSMISI CITRA DIGITAL DILINGKUNGAN KANAL FADING

Baharuddin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

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.

Kata kunci: 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].

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].

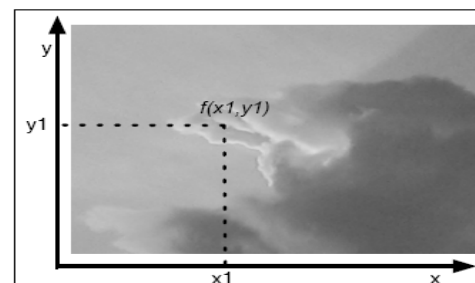
Namun dalam pengiriman suatu data atau informasi, terdapat gangguan yang berasal dari luar sistem seperti *multipath fading*, *noise*, dan *intersymbol interference* (ISI). Ini juga terjadi pada pengiriman data berupa citra. Dalam sistem komunikasi, *multipath fading* merupakan gangguan yang dinilai 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 digital dapat didefinisikan sebagai fungsi dua variabel, $f(x,y)$, dimana x dan y adalah koordinat spasial dan nilai $f(x,y)$ adalah intensitas citra pada koordinat tersebut, hal tersebut diilustrasikan pada Gambar 1.[3]



Gambar 1. Citra Digital[3].

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]

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) \dots & f(0,M) \\ f(1,0) & f(1,1) \dots & f(1,M) \\ \vdots & \vdots & \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) \dots & f(N-1,M-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Jadi, citra yang berukuran N x M mempunyai NM buah *pixel*. Misalkan *pixel* pertama pada koordinat (0,0) mempunyai nilai intensitas 0 yang berarti warna *pixel* tersebut hitam, *pixel* kedua pada koordinat (0,1) mempunyai intensitas 134 yang berarti warnanya antara hitam dan putih, dan seterusnya. 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.DISCRETE WAVELET TRANSFORMATION (DWT).

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 satu 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 :

$$s = \frac{1}{2^j} \tag{3}$$

$$t = \frac{k}{2^j} \tag{4}$$

Maka transformasi wavelet diskrit dapat dirumuskan :

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

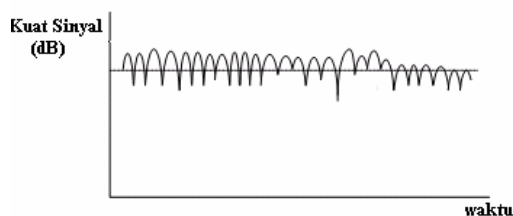
Akhir proses dari transformasi adalah mengembalikan sinyal informasi pada koefisien yang dapat dimanipulasi, disimpan, dan ditransmisikan, dan dapat digunakan untuk membentuk sinyal informasi kembali. Pembentukan kembali sinyal informasi harus mendekati sinyal yang diinginkan. Transformasi *wavelet* 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]

Fading dapat didefinisikan sebagai perubahan fase, polarisasi, dan atau *level* dari suatu sinyal terhadap waktu. Berdasarkan karakteristiknya *fading* dapat dibedakan atas :

- *Fast fading*



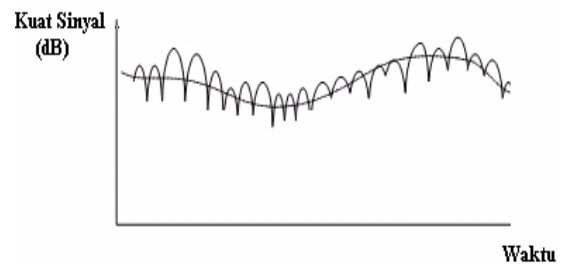
Gambar 2 Sinyal Fast Fading

Terjadi jika *impulse response* pada kanal berubah dengan cepat dibandingkan kecepatan transmisi sinyal *baseband*. Sinyal *fast fading* ditunjukkan pada Gambar 2.

Fast fading sering disebut *multipath fading*. Penyebab utama dari *fading* ini karena adanya lintasan ganda/ jamak (*multipath*) akibat sinyal yang dikirimkan dipantulkan oleh benda-benda seperti rumah, gedung, kendaraan, pohon dan

benda-benda lain dari pemancar ke penerima. Tipe *fading* ini merupakan tipe yang paling umum terjadi.

- *Slow fading*
Terjadi jika *impulse response* mengalami perubahan pada tingkat yang lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan transmisi sinyal *baseband*. *Slow fading* adalah rata-rata sinyal *fading* yang juga disebut dengan *local mean* atau *shadowing*. Sinyal *Slow fading* dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3 *Slow fading*

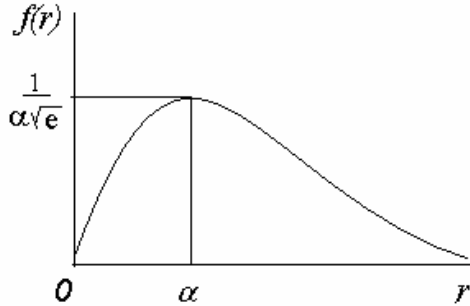
- Frekuensi selective fading*.
Sebuah kanal akan menimbulkan frekuensi *selective fading* pada sinyal terima jika memiliki penguatan yang konstan dan respon fasa linier yang melewati perioda bit. Akibat dari frekuensi *selective fading* adalah sinyal terima akan mengalami penggandaan (*multiple*), redaman (*atenuasi*) serta penundaan (*delay*). Hal inilah yang menyebabkan sinyal yang diterima mengalami distorsi.
- Flat fading*
Pada *flat fading*, karakteristik spektral sinyal yang ditransmisikan dipertahankan oleh penerima, namun kekuatan sinyal mengalami perubahan terhadap waktu sehingga menimbulkan *multipath*. *Impulse response* kanal *flat fading* dapat diaproksimasikan dengan menggunakan fungsi delta sederhana.

4.1 Distribusi *Rayleigh fading*

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].

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

dimana : α = tegangan rata-rata
 α^2 = daya rata-rata



Gambar 4 Grafik PDF Distribusi Rayleigh^[12]

Pada Gambar 4 ditunjukkan grafik *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi *Rayleigh*.

Adanya *fading* akan mengganggu sinyal yang masuk ke masing masing kanal, dimana yang terjadi adalah perkalian antara *envelope fading* dengan sinyal yang ditransmisikan. Selain itu adanya *noise* juga akan menambah kerusakan yang dialami oleh sinyal, serta kemungkinan kesalah pendeteksian bit atau simbol pada kanal penerima akan semakin besar.

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 .

5. PEAK SIGNAL TO NOISE RATIO (PSNR)

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

6. PERHITUNGAN *PROBABILITY OF ERROR* (P_e)

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]:

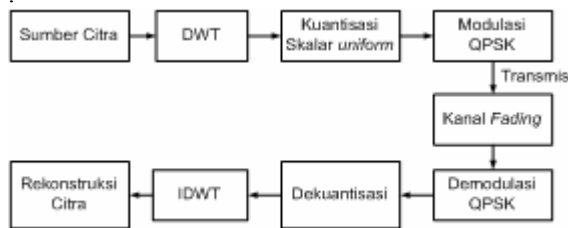
$$P_e = \frac{n}{N} \quad (14)$$

Dimana:

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

7. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem transmisi citra pada kanal *Fading* dapat dilihat pada blok diagram dibawah ini :



Gambar 5. Perancangan Sistem Transmisi 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 QPSK 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 termulasi *passband* membutuhkan komputasi yang besar. Sinyal *baseband* ini bernilai kompleks. Bentuk persamaan sinyal *baseband* adalah:

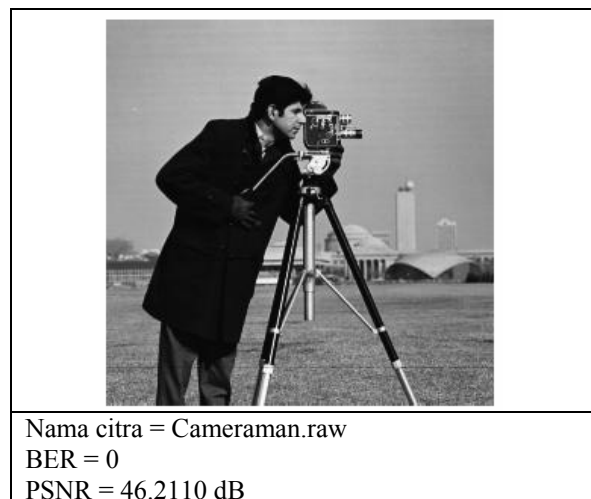
$$x_{bb}(t) = x_I(t) + jx_Q(t) \quad (15)$$

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.

8. 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. Sebagai pembandingan, ditampilkan hasil transmisi citra digital tanpa *fading* pada Gambar 4.2, dimana pada saat transmisi diasumsikan citra tidak mengalami gangguan.



Gambar 6. input citra asli

Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal *fading*



SNR = 2 dB
 Jumlah bit *error* = 57999
 BER = 0.1102
 PSNR = 4.9144 dB

Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal *fading*



SNR = 14 dB
 Jumlah bit *error* = 710
 BER = 0.0014
 PSNR = 24.3058 dB

Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal *fading*



SNR = 16 dB
 Jumlah bit *error* = 127
 BER = 2.4223e-004
 PSNR = 30.7374 dB

Citra Rekonstruksi hasil transmisi pada kanal *fading*



SNR = 20 dB
 Jumlah bit *error* = 3
 BER = 5.7220e-006
 PSNR = 45.9396 dB

Gambar 7 citra hasil rekonstruksi pada kanal *fading*

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

SNR (dB)	Jumlah bit <i>error</i>	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.

9. KESIMPULAN DAN SARAN

9.1 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.

9.2 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.etsd.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

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