

KOMPRESI CITRA MENGGUNAKAN METODE WAVELET EMBEDDED ZERO THREE OF COEFFICIENT WAVELET (EZW)

Dwi Hermansyah

Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika-S1, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro Semarang
Jl. Imam Bonjol No. 207, Jl. Nakula No. 5-11, Semarang, Kode Pos. 50131, Telp. (024) 3517261
Email : dwikawul@gmail.com, sekertariat@dinus.ac.id

Abstrak

Citra 2D atau image merupakan perkembangan ilmu informasi yang telah menjadi kebutuhan bagi stakeholder yang berguna untuk melakukan aktifitas interaksi manusia komputer seperti sebagai content editing multimedia seperti editing video, data satelit, data medis, dan lain-lain. Namun dalam aktifitas interaksi manusia dengan komputer terdapat permasalahan akan interaksi tersebut, yaitu semakin besar kapasitas ukuran (memory) file citra 2D atau image menyebabkan proses interaksi yang berlangsung menjadi terhambat seperti dalam proses transfer file atau pengiriman data file citra 2D atau image. Pada penelitian ini akan mengimplementasikan kompresi citra digital yang merupakan sub hirarki pengolahan citra digital atau image processing. Sedangkan metode kompresi citra yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah menggunakan metode Embedded Zerotree of Wavelet Coefficient (EZW) karena algoritmaini dapat mengkompresi gambar dengan bit dari suatu property yang dihasilkan dari tingkat kepentingannya untuk memperoleh kualitas gambar terbaik dari suatu bit rate yang menggunakan model embedded. Sehingga kemampuan dari teknik kompresi citra dengan metode EZW dapat diketahui dengan cara mengodekan citra (encode) sehingga diperoleh citra dengan representasi kebutuhan memori yang minimum.

Kata Kunci: Kompresi Citra EZW, Metode EZW

Abstract

Image is informatics science development that has been such necessity for stakeholder, which is important to do some human-computer interaction activities like a content for multimedia editing. Multimedia editing activities are includes a variety such as video editing, satellite data, medical data, etc. However, there are things several problem in human-computer interaction, for example the course of transferring file process. This research will implementation the compression on image digital, which is the sub. Hierarchy of digital image processin. While, the method of compression image that will be explained in this final task is using EZW (Embedded Zerothree Coefficient of Wavelet) method because the algorithm of the method can compress image with the bit from a property the resulted from a level of interest to obtain the best image quality from a model-embedded bit rate. So that, ability from thenic of image compression using EZW (Embedded Zerothree Coefficient of Wavelet) method can be determined by encoding, and the result of this method can be obtained the best image quality with a minimum memory representation.

Keywords: Compression Image EZW, Method EZW

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kompresi citra menggunakan metode EZW (Embedded Zerotree

Wavelet) dan DWT (Discrete Wavelet Transform) diperoleh kesimpulan bahwa proses kompresi pada citra RGB dengan jenis wavelet dan level dekomposisi yang berbeda-beda,

didapatkan citra hasil kompresi dengan kualitas layak (*reason-able*), karena dari semua citra kompresi yang dihasilkan mempunyai PSNR lebih dari 40 dB, level dekomposisi berbanding terbalik dengan waktu kompresi, jenis wavelet dan format citra yang berbeda menghasilkan CR, PSNR dan waktu yang berbeda [5].

Metode kompresi citra yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah menggunakan metode *Embedded Zerotree of Wavelet Coefficient* (EZW) karena algoritma ini dapat mengkompresi gambar dengan bit dari suatu *property* tersebut dihasilkan dari tingkat kepentingannya untuk memperoleh suatu *bit rate* dengan menggunakan model *embedded*. Algoritma EZW merupakan algoritma kompresi *image* yang efektif dan efisien. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana memperoleh untuk suatu *bit rate* pada suatu *image*. Masalah dapat diselesaikan dengan menggunakan model *embedded* basis *wavelet* karena citra natural secara umum mempunyai *spectrum low pass*, sehingga rata-rata koefisien *wavelet* akan lebih kecil di *higher subband* daripada *lower subband* dan koefisien *wavelet* yang besar lebih penting daripada koefisien *wavelet* yang kecil. Koefisien *wavelet* terdiri dari dua jenis, yaitu *dominant list* dan *subdominant list*.

1.2 Rumusan Masalah

Menampilkan sebuah kompresi citra dengan menggunakan metode EZW kedalam untuk sebuah proses *encoding* yang nantinya dapat mengurangi pemnyimpanan data tanpa menghilangkan piksel pada citra awal. Dan proses *decoder* untuk mengembalikan atau rekrontuksi citra sehingga nilai piksel citra awal kembali seperti semula setelah proses *encoding* selesai.

1.3 Batasan Masalah

Citra awal yang digunakan adalah format citra 2D dengan ekstensi (.BMP), Kompresi citra yang digunakan atau diuji mempunyai resolusi atau kualitas piksel (512x512) dan (256x256). Proses kompresi citra mengurangi kapasitas memori citra, namun tidak mempengaruhi ukuran piksel citra.

1.4 Tujuan Masalah

Mengetahui kemampuan dari teknik kompresi citra dengan metode EZW dapat diketahui dengan cara mengodekan citra (*encoder*) sehingga diperoleh citra dengan representasi untuk kebutuhan memori yang minimum dan melakukan rekrontuksi (*decoder*) untuk mengembalikan *bit rate* citra seperti semula setelah mendapatkan hasil kompresi citra dari *encoder*. Citra terkompresi disimpan dalam file dengan format JPEG (*Joint Photographic Expert Group*).

1.5 Manfaat Masalah

Dengan menggunakan kompresi citra dengan metode EZW, dapat memudahkan kegiatan interaksi manusia komputer seperti memudahkan proses *transfer file*, mempercepat proses *rendering* video bila menggunakan foto sebagai bahan *content video*, menghemat kapasitas *memory* dalam dokumentasi foto Fotografer, arsip rekam medis di rumah sakit, atau data satelit untuk prakiraan keadaan cuaca untuk BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika).

2. METODE

2.1 Metode Wavelet

Sebuah gelombang (*wave*) biasanya didefinisikan sebagai sebuah fungsiosilasi dari waktu (*space*), misalnya gelombang sinusoidal. Sebuah *wavelet* merupakan gelombang singkat (*small wave*), yang energinya terkonsentrasi pada suatu selang waktu

untuk memberikan kemampuan analisis transien, ketidakstasioneran, atau fenomena berubah terhadap waktu (*time-varying*).

Wavelet dapat digunakan sebagai alat bantu matematis untuk melakukan dekomposisi suatu sinyal, seperti audio dan citra, menjadi komponen-komponen frekuensi yang berbeda, sehingga masing-masing komponen tersebut dapat dipelajari dengan menggunakan skala resolusi yang sesuai. Karena itu, wavelet dikenal sebagai alat untuk melakukan analisis berdasarkan skala. Setelah pemilihan *mother wavelet*, tahap selanjutnya adalah membentuk basis wavelet yang akan digunakan untuk mengtransformasikan sinyal.

Suatu basis dapat dibentuk dengan mengubah nilai translasi dan dilatasi dari *mother wavelet*-nya. Upaya untuk mempersentasikan suatu sinyal dengan menggunakan basis wavelet ini disebut transformasi wavelet, dalam perhitungan koefisien yaitu konvolusi dari sinyal dengan salah satu tipe fungsi wavelet. Operasi terhadap hanya dapat dilakukan dengan menggunakan koefisien-koefisien wavelet yang berhubungan.

Wavelet merupakan sebuah fungsi variable real x , diberi notasi Ψ , dalam ruang fungsi $L^2(R)$. Fungsi ini dihasilkan oleh parameter dilatasi dan translasi yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\Psi_{a,b}(x) = a^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right); a > 0, b \in R$$

$$\Psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \Psi(2^j x - k); j, k \in Z$$

Keterangan :

- a = Parameter dilatasi
- b = Parameter translasi
- R = Mengkondisikan nilai a dan b dalam *integer*

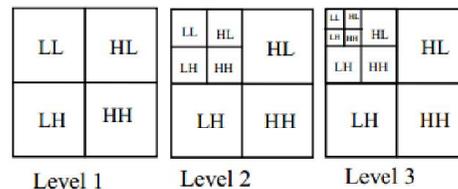
2^j = Parameter dilatasi (parameter frekuensi atau skala)

k = Parameter waktu atau lokasi ruang

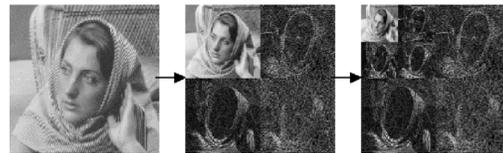
Z = Mengkondisikan nilai j dan k dalam nilai integer

2.2 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform (DWT) merupakan dekomposisi citra pada frekuensi *subband* citra tersebut. Komponen *subband* transformasi *wavelet* dihasilkan dengan cara penurunan level dekomposisi. Implementasi DWT dapat dilakukan dengan cara melewati sinyal melalui sebuah *level low pass filter* (LPF) dan *level high pass filter* (HPF) dan melakukan down sampling pada keluaran masing-masing filter. DWT selain menggunakan fungsi wavelet, juga menggunakan fungsi skala untuk penghalusan citra (*image smoothing*).



Gambar 1 : Ilustrasi Proses dekomposisi Citra



Gambar 2 : Dekomposisi Wavelet Level-3

$$A_n = [H_x * [H_y * A_{n-1}]_{2,1}]_{1,2}$$

$$D_{n1} = [H_x * [G_y * A_{n-1}]_{2,1}]_{1,2}$$

$$D_{n2} = [G_x * [H_y * A_{n-1}]_{2,1}]_{1,2}$$

$$D_{n3} = [G_x * [G_y * A_{n-1}]_{2,1}]_{1,2}$$

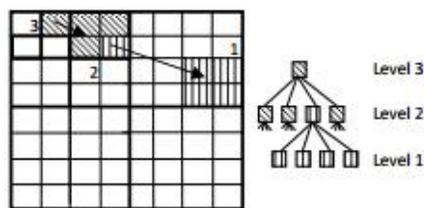
4.1

Keterangan :

1. Tanda * merupakan operasi konvolusi. Tanda merupakan sub-sampling sepanjang baris, dan adalah sub-sampling sepanjang kolom.
2. A_n adalah citra pendekatan hasil dekomposisi *wavelet* pada level-n yang didapatkan melalui proses *low-pass filter* pada baris dan kolom citra input (A_0 adalah citra asli).
3. D_n adalah citra detil pada level-n yang didapatkan melalui proses *low-pass filter* dan *high-pass filter* pada baris dan kolom dimana $D_{n,1}$ merupakan citra detil horizontal, $D_{n,2}$ adalah citra detil vertical, $D_{n,3}$ adalah citra detil diagonal.
4. H dan G adalah *low-pass filter* dan *high-pass filter*.

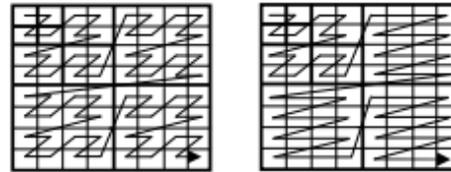
2.3 Embedded Zerotree Of Wavelet Coefficient (EZW)

DWT menghasilkan struktur sub-bidang hirarki, yaitu koefisien pada setiap sub-bidang dan pada setiap tingkatan dapat dihubungkan dengan satu set koefisien-koefisien di tingkat lebih rendah pada sub-bidang yang sesuai. Suatu koefisien pada tingkat yang lebih tinggi dinamakan induk dari semua koefisien di orientasi ruang yang sama pada tingkat yang lebih rendah (anakan). Hubungan induk-anakan didalam hirarki DWT ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3 : Hubungan Antar Induk-anakan

Penelusuran koefisien-koefisien dilakukan sedemikian hingga tidak ada anak diteliti sebelum induknya. Penelusuran koefisien dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *ruster scan* dan *morton scan*.

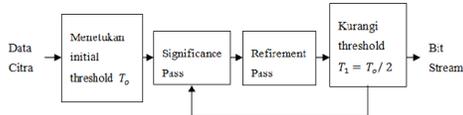


Gambar 4 : Morton Scan Dan Raster Scan

Embedded Zerotree Wavelet (EZW) merupakan suatu algoritma kompresi citra yang simple, sangat efektif, memiliki sifat dimana bit-bit dalam bit stream diurutkan menurut kepentingannya serta menghasilkan kode yang *fully embedded*. EZW menggunakan dua langkah dalam pengkodean citra, yaitu *dominant pass* dan *subordinate pass*. Citra diteliti dan menghasilkan suatu simbol untuk setiap koefisien. Simbol 'P' diberikan, jika koefisien lebih besar dari ambang, jika koefisien lebih kecil dari minus ambang, maka diberi simbol 'N'. Koefisien yang lain diberi simbol 'T' jika merupakan induk dan nilai mutlak dari koefisien anakan lebih besar dari ambang, jika lebih kecil dari ambang, maka diberi simbol 'Z'. Koefisien dengan simbol 'P' dan 'N' pada citra diganti dengan nol atau *. *Dominant pass* menghasilkan *significan_map* yang berisi kumpulan simbol-simbol citra dan *subordinate_list* terdiri dari dua baris. Baris pertama berisi nilai koefisien citra dengan simbol 'P' dan 'N'. Baris kedua berisi 3/2 ambang pada setiap putaran.

Refinement pass merupakan proses pengkodean *subordinate_list* yang menghasilkan *refinement* yang berisi 0 atau 1 untuk tiap langkah

subordinat_list. *Refirement* bernilai 1 jika nilai subordinat_ist baris pertama lebih besar dari baris kedua untuk masing-masing data, kemudian nilai subordinat_list baris kedua dikurangi dengan $\frac{1}{4}$ ambang, selain itu *refirement* bernilai 0 masing-masing data dengan nilai subordinat_list baris kedua ditambah dengan $\frac{1}{4}$ ambang.



Gambar 5 : Diagram blok algoritma EZW

Proses berulang ketahap *dominant pass*, dengan nilai ambang separuh dari nilai ambang lama dan Subordinat_list selalu menyambung dengan data baru. Pengulangan berakhir ketika nilai minimum ambang terpenuhi, atau ambang sama dengan satu.

Pengkodean balik EZW menggunakan skema penulisan yang sama. Penulisan antar sub-bidang sama seperti proses pengkodean. Simbol ‘P’ pada significant_map berarti penempatan $\frac{3}{2}$ ambang pada kolom dan baris tertentu, simbol ‘N’ berarti penempatan minus $\frac{3}{2}$ ambang, dan 0 untuk simbol ‘Z’ dan ‘T’. Angka 1 pada refirement berarti menjumlahkan $\frac{1}{4}$ ambang pada baris dan kolom tertentu, dan mengurangi $\frac{1}{4}$ ambang jika angkanya 0 [5].

Menurut sumber lain pula algoritma EZW adalah algoritma kompresi citra yang sederhana, tetapi sangat efektif, memiliki properti yang menciptakan bits dalam *bit stream* dalam urutan kepentingan bits, menghasilkan *fully embedded code*. *Embedded code* tersebut menampilkan sekuen dari keputusan binary yang membedakan sebuah gambar dengan gambar “ null ”. Dengan menggunakan algoritma *emdedded coding*, sebuah encoder dapat menghentikan kegiatan

encoding setiap saat, maka target *rate* dan target *distortion matrix* dapat ditemukan dengan sempurna. Juga dengan bitstream yang ditentukan, decoder juga dapat menghentikan kegiatan decoder setiap saat dalam *bit stream* dan menghasilkan gambar yang sama persis dengan gambar yang akan di encode pada bit rate yang sesuai dengan bit stream yang terpotong. Tambahan lagi untuk memproduksi fully embedded bit stream, EZW secara konsisten memproduksi hasil kompresi yang bersaing dengan algoritma kompresi yang terkena dalam uji gambar standar. Juga performa ini dapat dicapai dengan teknik yang sama sekali tidak membutuhkan latihan, tidak ada table atau *codebook* yang ditentukan sebelumnya dan tidak membutuhkan pengetahuan tentang asal gambar.

Dalam algoritma EZW terdapat struktur proses yang didasari empat konsep kunci yaitu :

1. *Discrete Wavelet Transform (DWT)*.
2. Prediksi kekurangan dari informasi penting dengan mengeksploitasi kesamaan sifat dalam gambar.
3. *Entropy Coded Successive Approximation Quantization*.
4. “*Universal*” *Lossless Data Compression* yang dicapai melalui coding aritmatika adaptif.

2.4 Metode Huffman

Metode *Huffman* merupakan salah satu teknik pemampatan secara statistic yang melibatkan frekuensi tingkat kemunculan data untuk menentukan *codeword* yang mewakili data tersebut. Semakin tinggi frekuensi kemunculan sebuah data maka panjang *codeword* yang dihasilkan semakin pendek [11].

2.5 Metode Pemampatan Citra JPEG

Dasar metode *Joint Photographic Experts Group (JPEG)*

adalah pemampatan citra dengan penurunan kualitas (lossy) menggunakan *Discrete Cosine Transform* (DCT). Langkah-langkah dalam metode pemampatan JPEG ini antara lain :

1. Diskretisasi citra dilakukan dengan membagi ukuran matriks citra menjadi 8x8 piksel, kemudian ditransformasi dengan DCT dengan mengambil pasangan titik dari domain spasial dan mengubahnya menjadi sebuah representasi identik dalam domain frekuensi.
2. Kuantisasi matriks DCT yang bertujuan untuk mengurangi jumlah bit yang dibutuhkan untuk menyimpan nilai bilangan bulat dengan mengurangi presisi dari nilai tersebut. Faktor kualitas digunakan untuk menentukan jarak perbedaan antara dua *band* yang berdampingan pada tingkat kuantisasi yang sama.
3. Pengkodean untuk memampatkan nilai nol muncul berurutan dengan nilai nol yang muncul berurutan dengan *Run Length-Encoding* (RLE).
4. Pemampatan lebih lanjut dengan *Huffman Coding* [11].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Threshold

Dilakukan penelitian atau pengujian nilai *threshold* yang akan digunakan. Proses pemilihan dilakukan dengan menguji 2 buah citra yaitu 1 citra warna dan 1 citra *grayscale* yang memiliki dimensi yang sama yaitu 128x128 *pixel*. Ke dua citra tersebut dikompresikan dengan metode EZW dalam variasi *threshold* 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100. Hasil uji citra yang telah dikompresikan dengan variasi *threshold* tersebut menunjukkan bahwa ada nilai yang sama pada ukuran citra yang telah termampatkan yaitu

pada kelompok *threshold* 8-9, 10-20, 30-40, 50-60, 70-80, 90-100. Berdasarkan hasil tersebut dipilih nilai *threshold* dari masing-masing kelompok yaitu *threshold* dengan nilai 8,10,30,50,80,100. Enam *threshold* ini yang akan digunakan sebagai *threshold* acuan dalam pengujian kompresi pada citra awal yang diuji.

3.2 Analisis Implementasi Kompresi Citra EZW

1. Transformasi Citra (*Encoding*)

Gambar yang akan dikompresi pada awalnya, melakukan proses *Encoder* yang bertujuan pengkodean citra. Awal dari proses transformasi citra ini, bertujuan untuk melakukan proses dekomposisi 3-level *wavelet* menggunakan basis *wavelet*, basis *wavelet* merupakan model yang berbeda-beda dari keluarga *wavelet* yang memiliki kualitas sesuai dengan kriteria yang dimiliki bisa digunakan sebagai proses diskretisasi menghasilkan piksel dari citra dua dimensi atau citra gambar (*image*), proses Dekomposisi dan *decoding* basis *wavelet* untuk kompresi citra gambar terdapat pada gambar di *Lampiran-3*. Basis *wavelet* ini akan membentuk 3 level subband dan sekaligus menggunakan metode DWT (*Discrete Wavelet Transform*) pada citra yang di *input*. guna menghasilkan *value* matrik yang didapatkan dari piksel citra gambar dari 3 level *subband* dari basis *wavelet* tersebut.

DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dilakukan dengan menerapkan konvolusi *low-pass filter* (H) untuk mendapatkan sinyal global dan *high-pass filter* (G) untuk mendapatkan sinyal detil. Karena citra yang di-*input* berada pada bidang dua dimensi, sehingga satu kali proses DWT (*Discrete Wavelet Transform*) akan menghasilkan satu citra global

dan citra detil. Proses transformasi ini disebut dengan dekomposisi *wavelet*, sedangkan hasil dari dekomposisi wavelet disebut dengan koefisien DWT (*Discrete Wavelet Transform*). Operasi konvolusi dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$H * A[i] = \sum_{k=0}^n H [i].A[2.i + k]$$

$$G * A[i] = \sum_{k=0}^n G [i].A[2.i + k]$$

Setiap dekomposisi *wavelet* sebanyak n-level akan menyebabkan tinggi dan lebar sub citra pada level tersebut menjadi 2^{-n} dari tinggi dan lebar citra aslinya. Dengan demikian, jika ukuran citra input adalah 512x512 maka ukuran koefisien DWT (*Discrete Wavelet Transform*) pada 2-level dekomposisinya adalah 64x64. Misalkan dengan contoh citra awal dengan nama wajah.bmp yang merupakan citra *grayscale* dengan ukuran 256 x 256 piksel.

Gambar 4.8 menunjukkan contoh hasil proses DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dalam bentuk citra global (LL) *wavelet level-3*. Pada gambar 4.9 terdapat contoh atau sampel matrik ukuran 8x8, yang memiliki nilai kuantisasi koefisien sebagai data acuan untuk seluruh proses substansi *encoding* dan *decoding* kompresi citra EZW [17].

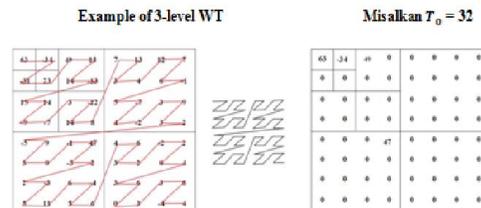


Gambar 7 : Dekomposisi Wavelet Level-3

63	-24	49	19	7	19	11	7	LL3	HL3	HL2	HL1
-31	23	14	-13	3	4	6	-1	LH3	HH3		
15	14	3	-12	5	-7	3	9	LH2	HH2		
-9	-7	14	5	4	-2	3	2				
-5	9	-1	47	4	6	-2	2	LH1	HH1		
3	0	-2	2	0	5	0	4				
2	-2	6	-4	4	6	3	6				
5	11	5	6	0	3	-4	4				

Gambar 8 : Koefisien Matrik (Kiri) 8x8 dari Level-3 Dekomposisi 8x8 (Kanan)

Selanjutnya dilakukan tahap *morton scan* yang merupakan metode dalam EZW kompresi yang berguna untuk mencari nilai terbesar *magnitude* pada hasil transformasi citra. Sekaligus menentukan nilai *null*, yang ditentukan jika nilai *magnitude* dibawah nilai *threshold* (τ_0). Nilai *threshold* merupakan nilai setengah dari *magnitude* terbesar, pada citra inputan $\tau_0 = \text{magnitude}/2$. Namun pada implementasi ini *threshold* diinput secara manual sesuai keinginan user, yang berguna untuk mengetahui perbandingan kualitas piksel dengan *threshold* yang diberikan.



Gambar 9 : 3-level WT Morton Scan of an 8x8 Image

Proses dekomposisi ini dilakukan sebanyak tingkat pemfilteran, yang menggunakan jenis wavelet induk *Biorthogonal.3* Perbedaan wavelet ini menentukan bagaimana per-skalaan sinyal dan bagaimana *wavelet* didefinisikan. Setelah mendapatkan hasil transformasi citra dari dekomposisi dan *morton* dari citra, metode EZW melakukan proses pengkodean citra atau *encoder* yaitu *Dominant Pass* dan *Refirement Pass*.

2. Proses Kuantisasi EZW

a. Level Dominant Pass

Tugas *Dominant Pass* atau yang disebut juga dengan *Significant Pass* mempunyai fungsi untuk meneliti citra untuk menghasilkan suatu simbol untuk setiap koefisien. Proses *Dominant Pass* terjadi proses untuk melakukan *morton scan* dari setiap nilai koefisien hasil proses dekomposisi 3-level dengan metode DWT (*Discrete Wavelete Transform*) sebelumnya. *Dominant Pass* selanjutnya akan melakukan, proses memberikan simbol terhadap setiap nilai koefisien dari proses dekomposisi. Dengan memberikan logika acuan yaitu :

1. Simbol *Positive Significant* 'P' diberikan jika koefisien lebih besar dari *threshold*.
2. Jika koefisien lebih kecil dari minus *threshold* maka diberi simbol *Negative Significant* 'N'.
3. Simbol *Isolated Zero* 'Z' diberikan untuk koefisien dengan nilai minus lebih kecil dari *threshold*.
4. Diberikan Simbol *Zerotree Root* 'T' jika nilai koefisien yang positif kurang dari *threshold*.

Tabel 1 : Level 1 Dominant Pass

Comment	Subband	Coefficient Value	Symbol	Reconstruction Value
(1)	LL3	63	P	48
	HL3	-34	N	-48
(2)	LH3	-31	Z	0
	HH3	23	T	0
(4)	HL1	49	P	48
	HL1	10	T	0
	HL1	14	T	0
	HL1	-13	Z	0
(5)	LH2	15	T	0
	LH2	14	T	0
	LH2	-9	Z	0
	LH2	-7	Z	0
(6)	HL1	7	T	0
	HL1	13	T	0
	HL1	3	T	0
	HL1	4	T	0
(7)	LH1	-1	Z	0
	LH1	47	P	48
	LH1	-3	Z	0
	LH1	2	T	0

b. Level Subordinate Pass

Subordinate Pass yang disebut juga *Refinement Pass* melakukan proses penyimbolan dari nilai koefisien sesuai *subband* atau sub citra yang ada, untuk mendapatkan 2 nilai koordinat baru yaitu *Dominant List* dan *Subordinate List*.

1. *Dominant List* : koefisien dalam koordinat tidak ditemukan significant, maka akan diberi nilai zero '0'.
2. *Subordinate List* : Besaran koefisien yang ditemukan nilai *significant*-nya, dan akan diproses pada proses *Subordinate Pass*.

Dominant List Berisi Pointer Yang Bernilai '0' semua

			0	0	0	0	0
0	0						
	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Subordinate List

63

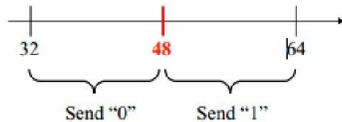
34

49

47

Gambar 10 :Hasil Kuantisasi Level-1 Dominant List

Subordinte Pass : mencari nilai kuantisasi dari nilai koefisien tertinggi yang telah terseleksi pada *Subordinate List* dengan nilai *threshold*, dan menentukan nilai *stream bite* pada seluruh nilai elemen *Subordinate List*. Nilai ini juga merupakan nilai perubahan balik untuk nilai rekrontuksi citra nantinya.



Gambar 11 : Subordinate Pass Proses 2

Semua tahap tersebut dari melakukan level dekomposisi DWT untuk transformasi citranya yang berguna menampilkan nilai citra dengan level sub citra atau *subband – Morton Scan* untuk menentukan nilai koefisien dari acuan *threshold* masukan atau *input – Dominant Pass* untuk menentukan *symbol* dari nilai koefisien – Hingga *Subordinate Pass* yang merupakan proses perubahan nilai koefisien citra ke nilai biner atau *bite stream* yang akan diubah dengan metode *Huffman* untuk menampilkan hasil proses kompresi citra EZW,

dengan cara pengkodean simbol-simbol kuantisasi EZW ke dalam *bit-bit* yang merepresentasikannya. Proses ini juga bisa disebut proses *encoder* gambar untuk citra *grayscale*, Sedangkan proses untuk *encoder* citra warna atau RGB saat proses *Subordinate pass* dan *Dominant Pass selesai*, fungsi *encoder* citra warna tersebut akan melakukan perulangan 3 kali pada tahap EZW *Subordinate pass* dan *Dominant Pass*. Karena menyesuaikan *Chroma Subsampling* yang terdiri dari 3 komponen yaitu Y(*luminance*), U (*CBlue*), V (*CRed*).

c. Proses Pengkodean *Huffman*

Metode *Huffman* digunakan untuk melakukan proses *encoding* untuk melakukan proses *encoding* yang diperlukan untuk mengkompres data citra dari sebuah citra digital yang dinyatakan dalam bentuk matrik 2D, dimana elemen matriks yang disebut piksel dan nilai dari elemen matriknya menyatakan intensitas atau warna. Implementasi dalam kompresi citra EZW ini, metode *Huffman* digunakan sebagai metode spesifik untuk memilih representasi untuk masing-masing simbol, dan menghasilkan kode prefik, yang mengekspresikan simbol yang paling pendek. Sandi prefik adalah himpunan yang berisi kode biner, dimana pada kode prefik ini tidak ada kode biner yang menjadi awal bagi kode biner yang lain. Data citra yang dimaksud adalah data dari sebuah citra dari proses EZW yaitu *Significance Map* (hasil dari *Dominant Pass* yang berisi kumpulan simbol-simbol citra dan *subordinat list* yang terdiri dari 2 baris) dan *Subordinate Pass*.

Proses ini awalnya membaca simbol P, N, Z, T pada *Dominant Pass* sebagai karakter dan hasil nilai *bitstream* pada level terakhir hasil proses *Subordinate Pass*. Hasil *bitstream* tentu merupakan bilangan biner ('0' dan '1'), setelah

memasukkan hasil *Dominant Pass* menggunakan metode *Huffman*. Simbol-simbol P,N,Z,T dari *Dominant pass* akan diubah kedalam metode *Huffman* ke nilai biner yang sudah ditentukan, misalkan :

Simbol P hasil *encoding* adalah 1110
Simbol N hasil *encoding* adalah 110
Simbol Z hasil *encoding* adalah 10
Simbol T hasil *encoding* adalah 0

Menyisipkan separator dalam hasil *stream bit* '1111' dan menambahkan penanda akhir *stream bit* '11111', yang berguna untuk menemukan dan menggantikan *Subordinate Pass string* simbol *Subordinate Pass* hasil *encoding* dengan *string* simbol yang telah diubah menggunakan metode *Huffman*.

Pada implementasi kompresi citra EZW, metode *huffman* menggunakan bilangan biner yang berpacu pada bahasa ASCII (*America Standard Code for Information Interchange*) to *Huffman Coding*, dimana ASCII code terdiri dari 8 bits per character, maka $8 \text{ bits} * 196 \text{ characters} = 1568 \text{ bits}$. 1568 bits akan menjadi fungsi global yang akan dipanggil untuk mengubah hasil *Subordinate Pass* yang digolongkan dan disimbolkan oleh proses *Dominant Pass* kedalam bilangan biner atau *stream bit*.

Sedangkan untuk proses *decoding Huffman* sendiri hanya bertolak balik dengan proses *encoding* nya, proses *decoding* sendiri dimulai dengan membaca ulang *stream bit* dari setiap biner yang sebelumnya dihasilkan dari *encoding Huffman*. Dengan cara membuat *statement* untuk membaca atau mendeteksi separator '1111' yang telah dibuat pada *encoding Huffman* dan membaca kembali *string* simbol dari proses *Dominant Pass*, dan merubah biner dari *encoding Huffman* ke biner yang

diperoleh proses *encoding Subordinate pass*. Baru setelah itu biner dari proses *Subordinate Pass* diubah kedalam bentuk desimal untuk mengembalikan atau mendapatkan hasil kuantisasi koefisien dari hasil *encoding level* dekomposisi wavelet dan DWT (*Discrete Wavelet Transform*).

d. Proses Rekrontuksi

Decoder atau proses rekrontuksi citra metode EZW ini membutuhkan *threshold*, mengetahui ukuran citra awal atau inputan, skala dekomposisi *subband* dari basis wavelet pada DWT (*Discrete Wavelet Transform*), *significance map*, *refinement pass* (hasil proses *subordinate pass*) dan *encoding bit stream* (hasil *stream bit encoding huffman*). Yang semua itu bisa didapat dari proses *encoding* sebelumnya, tahap awal rekrontuksi atau *decoder* adalah melakukan *decompress file* yang merupakan perhitungan *encoding* menjadi simbol file, dan menciptakan semua ukuran *subbands* yang ditentukan berdasarkan skala dekomposisi *subband* dan mengembalikan ukuran gambar asli.

Berikut gambar basis 4 skala yang digunakan sebagai sampel untuk menunjukkan hasil metode. Gambar berikut menerapkan *bottom up* untuk mencari hasil rekrontuksi akhir gambar dengan EZW *decoder*. Prosedur dalam *decoder* menggunakan hasil dari *encoding* sebelumnya dimana menggunakan inputan citra yang sama. **Sebagai catatan** nilai koefisien yang terdapat pada matrik *image* jika **bewarna merah** berarti terjadi perubahan nilai koefisien dari level sebelumnya, sedangkan nilai koefisien yang **bewarna biru** menandakan nilai koefisien yang baru karena *threshold* yang berubah pada *level* dekomposisi yang berbeda.

Dominant pass 1 : Threshold $T_0 = 32$,
 dan hasil kuantisasi $1.5 \times T_0 = 48$.

Hasil simbol output :

P(63), N(-34), Z(-31), T(23), P(49),
 T(10), T(14), Z(-13), T(15), T(14),
 Z(-9), Z(-7), T(7), T(13), T(3), T(4),
 Z(-1), P(47), Z(-3), T(2).

Nilai koefisien yang didapatkan dari
 Dominant Pass adalah P(63), N(-34),
 P(49), P(47).

63	-34	49	13	7	13	12	7
-31	23	14	-13	3	4	6	-1
15	14	3	-12	5	-7	3	9
-9	-7	14	8	4	-2	3	2
-5	9	-1	47	4	6	-2	2
3	0	-3	2	0	8	0	4
2	-3	6	-4	4	6	3	6
5	11	5	6	0	3	-4	4

Gambar 12 : Coefficient Value Original Image level -1

48	-48	48	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	48	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 13 : Citra Dengan Nilai Kuantisasi = 48 (level-1)

Nilai kuantitas rekrontuksi adalah 48, dan nilai *coefficient significant* adalah 63, -34, 49, 47 . Perbedaan *magnitude* pada elemen dan nilai rekrontuksi terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2 : Original dan Rekrontuksi Nilai Dengan Threshold = 32 Dan Nilai Kuantisasi =48

Coefficient Magnitude	Different between elements and quantization	Reconstructed Magnitude	Symbol
63	63-48 = 15	48+8=56	1
-34	34-48=-14	48-8=-40	0
49	49-48=1	48+8=56	1
47	47-48=-1	48-8=40	0

Kalkulasi nilai rekrontuksi :
 Koreksi dilakukan pada $\pm T_0/4 = \pm 8$.

Jika perbedaan di antara *magnitude* dalam element dan nilai kuantisasi adalah + positif maka menambahkan nilai (8) dengan nilai kuantisasi (48). Sebaliknya jika negatif maka nilai kuantisasi dikurangi dengan nilai 8. Sekarang sesuai rekrontuksi nilai untuk *significant coefficient* (nilai hasil *Dominant Pass*) 63,-34,49,47 masing-masing menjadi 56,-40,56,40.

56	-40	56	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	40	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 14 : Nilai Hasil Rekrontuksi Level 1

Subordinate Pass 1: 4 symbol itu merupakan generasi yang sesuai dengan hasil *Significant Coefficient* dari hasil *Dominant Pass* : 63, -34, 49, 47 pada *Subordinate List*.

Matrik berikut menunjukkan telah terjadi substansi oleh keseluruhan koefisien matrik dengan melaukan level-4 rekrontuksi :

63	-34	49	13	7	13	13	7
-30	23	14	-13	0	5	6	0
15	14	0	-12	5	7	0	9
-9	7	14	9	5	0	0	0
5	9	0	47	5	6	0	0
0	0	0	0	0	7	0	5
0	0	6	-5	5	6	0	6
5	11	5	6	0	0	-5	5

Gambar 15 : Hasil Akhir Rekrontuksi Gambar Dengan Semua Nilai Decoder

63	-34	49	13	7	13	12	7
-31	23	14	-13	3	4	6	-1
15	14	3	-12	5	-7	3	9
-9	-7	14	8	4	-2	3	2
-5	9	-1	47	4	6	-2	2
3	0	-3	2	0	8	0	4
2	-3	6	-4	4	6	3	6
5	11	5	6	0	3	-4	4

63	-34	49	13	7	13	13	7
-31	23	14	-13	3	5	6	-1
15	14	0	-12	5	-7	3	9
-9	7	14	9	5	-1	3	2
-5	9	-1	47	5	6	-2	2
3	0	-3	2	0	7	0	5
2	-3	6	-5	4	6	3	6
5	11	5	6	0	3	-5	5

Gambar 16 : Perbandingan nilai koefisien antara level dekomposisi awal citra (kiri) dan hasil akhir rekrontuksi (kanan)

Melakukan analisis hasil dengan menghitung *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{M-1} (f(i,j) - f1(1,j))^2}{M * K}$$

$$MSE = 1/MK$$

$$\sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^K (f(i,j) - f1(1,j))^2$$

$$MSE = \frac{1}{64} (63 - 63 + (-34 + 34) + 49 - 49 + 13 - 13 + 7 - 7 + 13 - 13 + 12 - 13 + 7 - 7 + (-31 + 31) + 23 - 23 + 14 - 14 + 13 - 13 + 3 - 3 + 4 - 5 + 6 - 6 + (-1 + 1) + 15 - 15 + 14 - 14 + 3 - 3 + (-12 + 12) + 5 - 5 + (-7 + 7) + 3 - 3 + 9 - 9 + (-9 + 9) + (-7 + 7) + 14 - 14 + 8 - 9 + 4 - 5 + (2 | 2) | 3 | 3 | 2 | 2 | (5 | 5) | 0 | 0 | (-1 + 1) + 47 - 47 + 4 - 5 + 0 - 0 + (-2 + 2) + 2 - 2 + 3 - 3 + 0 - 0 + (-3 + 3) + 2 - 2 + 0 - 0 + 8 - 8 + 0 - 0 + 4 - 4 + 2 - 2 + (-3 + 3) + 6 - 6 + (-4 + 5) + 4 - 4 + 6 - 6 + 3 - 3 + 6 - 6 + 5 - 5 + 11 - 11 + 5 - 5 + 6 - 6 + 0 - 0 + 3 - 3 (-4 + 4) + 4 - 4)$$

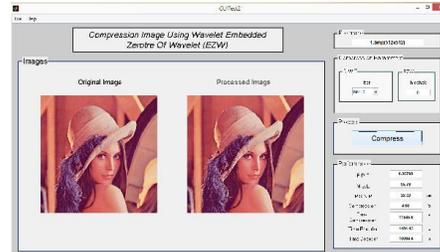
$$= \frac{1}{64} - 6^2 = \frac{36}{64} = 0.5625$$

$$PSNR = 20 \times \log \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right)$$

$$PSNR = 20 \times \log \left(\frac{255}{\sqrt{0.5625}} \right) = 50.629 \text{ dB}$$

Nilai MSE yang semakin rendah akan semakin baik, sedangkan semakin besar nilai PSNR, semakin bagus kualitas kompresi.

3.3 Hasil Implementasi



Gambar 17 : Interface Hasil Implementasi MATLAB Kompresi Citra EZW

3.4 Hasil Kompresi



Keterangan Citra Awal :
Nama Gambar : Lena
warna.BMP
Kapasitas (SI) : 786.486 bytes

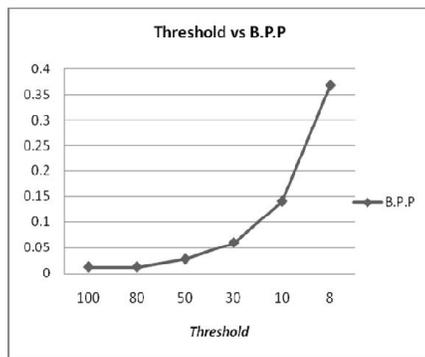
Gambar 18 : Sampel Citra Awal RGB Atau Warna 512x512



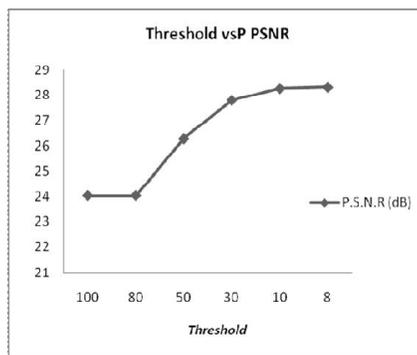
Gambar 19 : Hasil Citra Warna 512x512 Yang Telah Dikompresi Dengan Metode EZW

Tabel 3 :Hasil Performance Implementasi Kompresi Citra EZW Pada Citra Grayscale Ukuran 512x512 Untuk Th 100-8

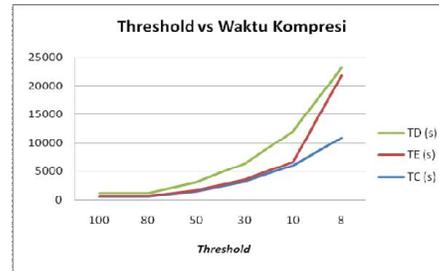
Threshold	B.P.P	M.S.E	P.S.N.R (dB)	CR (%)	TC (s)	TE (s)	TD (s)	S2 (bytes)
100	0.01205	235.74	24.05	0.15	615.933	91.7189	524.214	14.019
80	0.01205	255.74	24.05	0.15	628.865	97.5274	531.338	14.019
50	0.02722	153.62	26.27	0.34	1556.87	197.076	1359.79	23.322
30	0.05963	108.21	27.79	0.74	3184.84	346.602	2838.24	30.292
10	0.14032	96.94	28.27	1.75	6015.81	678.019	5337.8	36.005
8	0.36798	95.76	28.32	4.6	10938.5	1366.12	9572.42	40.702



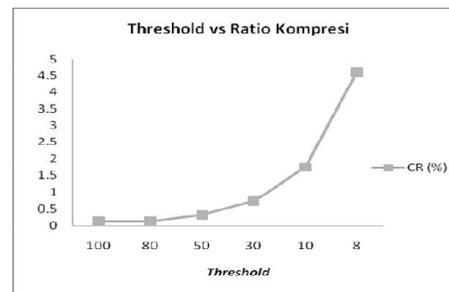
Gambar 20 : Perbandingan Threshold Dengan B.P.P Untuk Hasil Kompresi Citra Warna 512x512



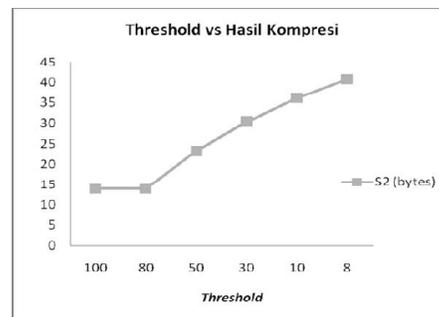
Gambar 21 : Perbandingan Threshold dengan PSNR Untuk Hasil Kompresi Citra Warna 512x512



Gambar 22 : Perbandingan Threshold Dengan Waktu Kompresi Untuk Hasil Kompresi Citra Warna 512x512



Gambar 23 : Perbandingan Threshold Dengan Ratio Kompresi Untuk Hasil Kompresi Citra Warna 512x512



Gambar 24 : Perbandingan Threshold Dengan Hasil Kompresi Citra Warna 512x512

3.4 Pembahasan

Hasil kompresi citra EZW untuk citra *grayscale* ukuran 256 x 256 dan 512x512, begitu juga dengan citra warna ukuran 256x256 beserta ukuran 512x512. Berdasarkan implemmentasi dan hasil data *performance* dari kompresi citra menggunakan metode EZW, menghasilkan nilai perbandingan yang tampak. Yaitu dimana masukkan *threshold* mempengaruhi tingkat

kualitas *performance* dari implementasi kompresi citra EZW, yang dapat diketahui dari semakin kecil *threshold* yang diberikan saat kompresi, maka *performance* dari nilai BPP, PSNR, Rasio Kompresi, Waktu Kompresi, Waktu *Encoding*, Waktu *Decoder* dan hasil kualitas citra yang dihasilkan semakin meningkat.

Namun pengaruh *threshold* jika nilai yang diberikan semakin kecil, ternyata memberikan dampak yang menyebabkan proses waktu kompresi citra EZW menjadi semakin lama. Karena dengan nilai *threshold* yang kecil menyebabkan semakin banyak piksel dari citra awal yang akan kemungkinan dikalkulasi saat proses *dominant pass* dan *subordinate pass*, apalagi sub-proses tersebut dikerjakan pada dua tahap kompresi citra yaitu *encoding* dan *decoder*.

Perbedaan basis *wavelet* ternyata menghasilkan hasil rasio kompresi yang berbeda antara basis *wavelet Haar* dengan basis *wavelet Biorthogonal 1.3*. Hasil uji coba kompresi EZW menggunakan basis *wavelet Haar* menghasilkan rasio kompresi dan PSNR yang cenderung konsisten atau tidak ada perbedaan yang signifikan, pada penelitian menggunakan citra awal untuk proses kompresi yang berukuran sama [5].

Kompresi citra DCT (*Discrete Cosine Transform*) yang merupakan jenis kompresi citra yang merupakan kategori kompresi citra yang sama dengan metode kompresi citra EZW yaitu kategori *lossy compression*. Menyatakan dalam hasil penelitian metode kompresi DCT (*Discrete Cosine Transform*) dengan sampel percobaan substansi yang sama dengan kompresi citra EZW yaitu blok kompresi 8x8. Menunjukkan kualitas citra terbaik yang dihasilkan dengan metode kompresi citra DCT (*Discrete Cosine Transform*) berdasarkan tingkat *error* dari hasil citra kompresi yang ditunjukkan blok

kompresi 8x8 menghasilkan nilai PSNR sebesar 11.1849 dB [18]. Sedangkan nilai PSNR dari kompresi citra EZW yang ditunjukkan secara substansi level dekomposisi 8x8 menghasilkan PSNR sebesar 50.629 dB, *statement* analisis perbandingan tersebut membuktikan kompresi citra EZW memiliki hasil kualitas kompresi citra yang lebih baik dibandingkan dengan kompresi citra DCT (*Discrete Cosine Transform*).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Pengujian data citra awal untuk proses implementasi kompresi citra EZW, data citra awal yang digunakan ber-format (.BMP). Format data ini didapatkan dari hasil konversi aplikasi CorelDraw X6 atau perangkat lunak editing citra 2D yang lainnya.
2. Kompresi citra menggunakan metode EZW sesuai hasil substansi dan hasil implementasinya, dapat digolongkan sebagai jenis kompresi citra *lossy compression*. Karena kompresi citra yang dihasilkan *decoder* dari citra yang terkompresi sama dengan citra aslinya, kompresi citra dimana hasil dekomposisi dari citra aslinya karena ada informasi yang hilang tetapi masih bisa ditolerir oleh persepsi mata, mata tidak dapat membedakan perubahan kecil pada gambar yang dikompresi oleh metode tersebut. Yaitu perubahan hasil vektor kuantisasi koefisien dari dekomposisi level antara citra awal dengan citra hasil *decoder* EZW, meskipun perubahan kuantisasi koefisien yang ditunjukkan *decoder* dan citra asli tidak signifikan.
3. Perbedaan citra awal sebagai data citra inputan kompresi, citra awal ukuran 512x512 dan 256x256 baik

citra awal grayscale dan warna RGB. Mempunyai karakteristik hasil *performance* dari hasil implementasi yang berbeda yaitu, waktu hasil kompresi citra ukuran resolusi 256x256 memiliki waktu kompresi yang lebih cepat dari pada hasil kompresi citra yang memiliki resolusi 512x512. Tetapi hasil PSNR, Rasio kompresi yang dihasilkan citra kompresi ukuran resolusi 512x512 lebih baik atau besar dari pada kompresi citra ukuran 256x256.

4. Kompresi citra EZW menghasilkan perbandingan hasil kompresi antara citra awal dan hasil citra kompresi yang tampak. Dimana dari hasil pengujian atau implementasi yang dihasilkan memiliki perbedaan yang besar oleh citra awal dengan hasil kompresi citra EZW, yaitu citra hasil kompresi EZW memiliki kebutuhan kapasitas memori yang lebih kecil atau lebih minimum dari pada data citra awal. Sehingga kompresi citra EZW membuktikan telah berhasil untuk mengurangi redundansi data yang terdapat dalam citra sehingga dapat disimpan atau ditransmisikan secara efisien. Maka hal ini menunjukkan metode EZW memenuhi kriteria yang sesuai untuk implementasi kompresi citra.
5. Kompresi citra menggunakan metode EZW memiliki jangka waktu kompresi yang buruk ketika *threshold* yang diberikkan semakin kecil dengan data citra awal yang berukuran resolusi yang semakin besar. Terutama saat proses citra awal warna RGB proses atau waktu kompresi citra yang dibutuhkan semakin lama, bisa dilihat dari hasil implementasi waktu kompresi citra EZW yang paling lama yaitu 8859.04 detik.

4.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian untuk pengujian kompresi citra dengan ukuran citra awal yang lebih bervariasi dan lebih besar.
2. Pengembangan lebih lanjut dalam kompresi citra EZW dapat difokuskan untuk meningkatkan jangka waktu kompresi agar waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi citra lebih cepat atau efisien. Misal dengan menambahkan atau mengkombinasi metode EZW dengan metode kompresi citra yang lebih baru seperti metode SPHIT (*Set Partition In Hierarchical Tree*).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutojo, T. Edii Mulyanto, Vincent Suharto, Oky Dwi Nuryanti dan Wijanarto, (2009) *Teori Pengolahan Citra Digital*. Andy. Yogyakarta
- [2] Hermawati, *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2013
- [3] Madenda Sarifuddin, L. Hayet dan I. Bayu. (2014) *Kompresi Citra Berwarna Menggunakan Metode Pohon Biner Huffman*
- [4] M. Denni. (2014) *Analisis Perbandingan Algoritma Huffman Dengan Algoritma (Lempel-ZIP-Welch) Pada Kompresi Gambar Menggunakan Metode Exponensial*.
- [5] Khairil Anwar. (2011). *Kompresi Citra Medis Menggunakan Discrete Wavelet Transform (DCT) Dan Embedded Zerotree Wavelet (EZW)*. UNDIP. Semarang
- [6] Purnomo M.H dan Muntasa A. (2010). *Konsep Pengolahan Citra Digital dan Ekstraksi Fitur*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [7] Chung-Ming Kuo, Nai-Chung Yang, Chin-Shan Liu, Jing-Yan Li, Yan Chen. (2010). *Global Image Enhancement in DCT Domain*. IEEE, pp. 521-525

- [8] Erwin Fajar Hia. (2006). *Kompresi Citra Berbasis Wavelet Menggunakan EZW Dan Trees (SPHIT)*, Bandung: Telkom University
- [9] Putra, Drama. (2010). *Pengolahan Citra Digital*. Andi. Yogyakarta.
- [10] J. M. Shapiro. (1993). *Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficient*”, IEEE Trans. On Signal Processing, Vol. 41, No. 12, pp.3445 – 3446
- [11] Andi Rusmia Sofari. (2011). *Pemampatan Citra Menggunakan Embedded Zeotree Wavelet*, Bogor: Institut Pertanian Bogor
- [12] Khairul Ula. (2012). *Implementasi Image Watermaking Untuk Citra Berwarna Dengan Metode DCT-2D*, Semarang : Udinus
- [13] Elly Warni. (2009). *Penentuan Morfologi Darah Merah (Eritrosit) Berbasis Pengolahan Citra Dan Jaringan Syaraf*, Unhas.
- [14] Erik Iman Heri Ujianto, Sri Hartati. (2010). *Ikhtisar Kompresi Citra*, Yogyakarta : UTY.
- [15] Abner Natanel R. 2011. *Pengurangan Noise Pada Citra Menggunakan Optimal Wavelet Slection Dengan Kriteria Linear Minimum Mean Square (LMMSE)*, Bandung, : UKM.
- [16] 2010. *BABII Pengolahan Citra Digital*, Sumatera Utara : USU.
- [17] J.M.Shapiro. (1993). *Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients*. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No. 12 (1993),p. 3445-3462.
- [18] Tearani Printa Nadia. *Peningkatan Kompresi Citra Digital Menggunakan Discrete Cosine Trasform Dimension (DCT-2D)*. IEEE.