

KOMPRESI CITRA DIGITAL BERBASIS WAVELET: TINJAUAN PSNR DAN LAJU BIT

Rismon H Sianipar, Sri Muliani WJ

Teknik Elektro Universitas Mataram

ABSTRAK: Kompresi citra digital telah diimplementasikan menggunakan wavelet Daubechies dan diuji berdasarkan parameter laju bit dan PSNR. Kinerja tiga jenis wavelet Daubechies db2, db3 dan db4 dibandingkan untuk mengkompresi beberapa citra uji: citra Lenna, citra Daubechies dan citra Fingerprint. Hasil empirik menunjukkan bahwa wavelet ini mampu mengkompresi sedikitnya sampai 2/5 kapasitas semula. Wavelet db4, yang memiliki derajat kehalusan tertinggi, membuktikan bahwa dia mampu menjadi algoritma kompresi yang sangat memuaskan dan menghasilkan laju bit yang lebih rendah dari wavelet lainnya. Parameter PSNR menunjukkan bahwa wavelet db4 menjadi yang terbaik kecuali untuk citra uji Daubechies.

Kata kunci: Kompresi citra digital, Wawelet.

ABSTRACT: Digital image compression has been implemented using wavelet Daubechies and evaluated based on both bit rates and PSNR (peak signal to noise ratio) parameters. Three wavelet Daubechies db2, db3 and db4 were compared to compress test images: Lenna image, Daubechies image and Fingerprint image. The empiric result showed that wavelets were capable of compressing digital image at least 2/5 times raw images. Wavelet db4 whose the highest degree of smoothness, proved that it could be a most powerful compression algorithm and gave a lower bit rate than the others. PSNR parameter showed that wavelet db4 is the winner except for compressing Daubechies image.

Keywords: Digital image compression, Wawelet.

1. PENDAHULUAN

Sejumlah ide tentang wavelet telah ada sejak awal abad 20, tapi perkembangan secara berarti dicapai pada tahun 80-an. Disamping paper oleh Frazier dan Jawerth (1985), wavelet juga populer di sebuah "French School" di Perancis yang diketuai oleh J. Morlet, A. Grossmann dan Y. Meyer. Wavelet atau "Ondlettes" dalam bahasa Perancis digunakan pada tahun 80-an oleh seorang *geophysicist*, sebagai sarana untuk mengolah sinyal seismik. Kesuksesan numeris terapan ini dilakukan oleh A. Grossmann dan J. Morlet. Pada tahun 1985, Y. Meyer, seorang penganalisa sinyal harmonik, menunjukkan hubungan kuat antara wavelet dengan operator integral.

Ingrid Daubechies mulai terlibat sejak 1986 temtama membuat interaksi antara analisis sinyal dengan aspek matematik yang menyangkut dilasi dan translasi. Stephane Mallat melengkapi wacana ini menghubungkan wavelet dengan analisis resolusi banyak. Penemuan besar terjadi

pada 1988 ketika Daubechies menciptakan keluarga wavelet yang ortonormal dan *compact support*, hasil ini tak lain diinspirasi oleh penemuan Meyer dan Mallat dalam bidang analisis resolusi-banyak.

Salah satu terapan wavelet adalah kompresi citra. Kompresi citra merupakan hal penting dalam terapan-terapan seperti transmisi data dan penyimpanan dalam basis data. Tujuannya adalah mengurangi kapasitas penyimpanan tanpa menghilangkan kualitas citra secara signifikan. Karakteristik dari kebanyakan citra adalah korelasi yang erat (*highly correlated*) antara satu piksel dengan piksel tetangganya.

Kompresi dilakukan dengan pengalih-ragaman data atau memproyeksikan citra terhadap pustaka fungsi basis kemudian melakukan *thresholding*. Karena sifat alam dari citra dan mekanisme persepsi telinga manusia maka wavelet hams mampu mengatasi kondisi nonstasioner dan hams terlokalisasi dengan baik pada domain mang dan domain frekuensi. Meskipun standard

intemasional untuk kompresi citra diam (*still image*) telah ada yang disebut JPEG (*joint picture experts group*) [5], yang ditetapkan oleh ISO (*International Organization for Standardisation*), kinerja pengkode tersebut menurunkan kualitas citra karena berbasis DCT (*discrete cosine transform*) yang terblok. Dalam pengkode berbasis DCT, citra masukan dibagi menjadi blok-blok dan korelasi tiap pinggir blok diabaikan sehingga mengakibatkan artefak pemblok yang sangat mengganggu dan kelihatan. Alih ragam wavelet bisa mengatasi hal ini karena dilakukan tanpa pemblok. Pengkodean berbasis wavelet memberikan perbaikan berarti pada kualitas gambar meskipun pada skala rasio kompresi yang lebih tinggi. Hal tersebut karena sifat pemaketan energi dari alih-ragam wavelet. Energi yang dimaksud dalam pengolahan citra adalah kuadrat nilai-nilai piksel.

2. ALIH RAGAM WAVELET

Alih ragam wavelet diskret (DWT, *discrete wavelet transform*) atas suatu fungsi $f(x)$ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$DWT(f)(j, k) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi(2^j x - k) dx \quad (1)$$

dimana $j, k \in \mathbf{Z}$. Teori analisis resolusi-banyak menyatakan bahwa terdapat $\{ a_k, k \in \mathbf{Z} \}$ sehingga:

$$\Phi(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} a_k \Phi(2x - k) \quad (2)$$

dan

$$\psi(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} (-1)^k a_{-k+1} \Phi(2x - k) \quad (3)$$

selanjutnya $\Phi(x)$ dan $\psi(x)$ akan disebut sebagai fungsi penskala dan fungsi wavelet. Algoritma Mallat merelasikan teori wavelet dengan teori tapis.

$$\begin{aligned} c_{j,k} &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) 2^{j/2} \Phi(2^j x - k) dx \quad (4) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) 2^{j/2} \left(\sum_{n \in \mathbf{Z}} a_n \Phi(2^j x - k - n) \right) dx \\ &= \sum_{n \in \mathbf{Z}} a_n \int_{-\infty}^{\infty} f(x) 2^{j/2} \Phi(2^j x - k - n) dx \\ &= \sum_{n \in \mathbf{Z}} a_n 2^{-j/2} c_{j+1, 2k+n} \\ &= \sum_{n \in \mathbf{Z}} h_0_n c_{j+1, 2k+n} = \sum_{n \in \mathbf{Z}} h_0_{n-2k} c_{j+1, n} \end{aligned}$$

dengan cara yang sama akan diperoleh :

$$d_{j,k} = \sum_{n \in \mathbf{Z}} g_0_{n-2k} c_{j+1, n} \quad (5)$$

dimana h_0_n dan g_0_n adalah tapis *lowpass* dan tapis *highpass*. $c_{j,i}$ dan $d_{j,i}$ disebut dengan koefisien aproksimasi dan koefisien detil. Pada kasus ini, Daubechies sendiri telah menetapkan nilai-nilai koefisien tapis h_0_n dan g_0_n atas beberapa jenis wavelet Daubechies. Koefisien h_0_n dari beberapa jenis wavelet Daubechies (db2, db3, dan db4) ditabulasikan dalam Tabel 1, sedangkan koefisien tapis g_0_n dapat dicari dari persamaan di bawah ini:

$$g_0_n = (-1)^n h_0_{-n+1} \quad (6)$$

Wavelet Daubechies merupakan basis ortonormal, yaitu jika:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(x) \Phi(x - k) dx = \delta_{0,k}, \forall k \in \mathbf{Z} \quad (7)$$

suatu wavelet ortogonal dikatakan wavelet Daubechies ortogonal derajat N jika *vanishing moments* dari fungsi penskala (x) berderajat N.

$$Mom_p = \int_{-\infty}^{\infty} x^p \Phi(x) dx = \delta_{0,p} \text{ untuk } p=0, \dots, N \quad (8)$$

Derajat *vanishing moments* (tingkat kehalusan) ini merupakan parameter untuk menyatakan kemampuan mengaproksimasi suatu sinyal. Semakin besar jumlah *vanishing moments* suatu fungsi basis, maka akan semakin kecil galat aproksimasi yang akan terjadi. Hal inilah yang merupakan sifat kunci dari wavelet Daubechies yang merupakan perbaikan dari wavelet Haar [4].

3. PENGHITUNGAN THRESHOLD (KUANTISASI), PSNR DAN LAJU BIT

Sifat utama yang bisa dikenali dari alih ragam wavelet dalam kompresi citra diam adalah terjadinya distorsi minimum pada citra terekonstruksi meskipun dilakukan penghilangan koefisien-koefisien alih ragam yang mendekati nol. Padahal, alih-ragam wavelet atas citra akan menghasilkan sejumlah besar subbidang citra yang memiliki magnitudo sangat kecil. Dengan menetapkan *threshold* non negatif, elemen-elemen subbidang citra yang bemiilai sangat

kecil dapat dinolkan sehingga dapat menghasilkan matriks sangat jarang [2]. Matriks sangat jarang ini lebih mudah untuk ditransmisikan dan disimpan, bahkan citra hasil rekonstruksi dengan thresholding (kuantisasi) ini bisa memberikan hasil yang dapat diterima secara visual oleh mata.

Teknik *thresholding* tak-seragam yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk meminimumkan distorsi yang terjadi pada citra terekonstruksi. Nilai *threshold* dihitung pada setiap subbidang citra secara terpisah untuk mencari rerata (μ) dan standard deviasi (σ). Jika σ lebih besar dari μ , ditetapkan nilai *threshold* ($2*\mu$) dan sebaliknya akan ditetapkan ($\mu - \sigma$).

Dalam kasus kompresi tidak sempurna (*lossy compression*), citra terekonstruksi adalah pendekatan dari citra asli. Meskipun banyak parameter untuk mengkuantifikasi kualitas citra, PSNR (*peak signal to noise ratio*) dianggap merupakan salah satu parameter yang sangat umum untuk melakukannya:

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{\sigma_e^2} \quad (9)$$

dimana σ adalah galat terkuadrat rerata (MSE) yang diberikan oleh:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{MN} \sum_{t=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{t,j} - \hat{x}_{t,j})^2 \quad (10)$$

dimana $x[.]$ adalah citra asli dengan dimensi $M \times N$ dan $\hat{x}[.]$ adalah citra terekonstruksi. PSNR yang lebih besar akan menghasilkan kualitas citra yang lebih baik.

Laju bit adalah parameter untuk membandingkan elemen-elemen tak nol dari citra terkuantisasi dengan elemen-elemen tak nol pada citra asli. Tentu saja, dengan menurunnya parameter ini, kemampuan wavelet sebagai pengkompresi citra akan semakin lebih baik. Persamaan parameter ini dapat dituliskan dengan:

$$\text{Laju Bit} = \left\{ \frac{(\text{jlh_Piks} - \text{jlh_Piks_Nol}) \times 8}{\text{jlh_Piks}} \right\} \text{ bpp} \quad (11)$$

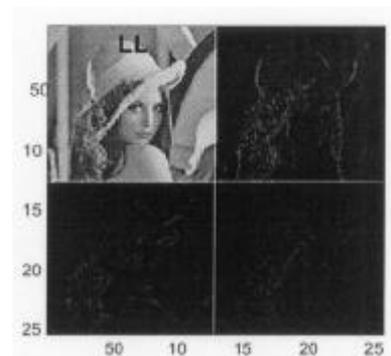
dimana jlh_Piks_Nol adalah jumlah total piksel pada citra dan jumlah piksel yang bernilai nol pada citra terkuantisasi.

4. RANCANGAN IMPLEMENTASI

4.1 Proses Dekomposisi

Proses ini sama artinya dengan pengalih ragam wavelet 2 dimensi atas suatu citra. Dekomposisi dapat dilakukan berulang kali pada setiap subbidang citra. Pada subbagian ini akan diilustrasikan secara implementatif dekomposisi citra Lenna.

Gambar 1 merupakan dekomposisi citra asli satu kali. Label yang diberikan pada setiap subbidang citra merupakan urutan penggunaan tapis pada tiap baris dan kolom secara bertahap. Misalnya subbidang citra dengan label LH menyatakan penerapan tapis *lowpass* L pada baris dan penggunaan tapis *highpass* H pada kolom citra asli. Demikian juga dengan subbidang citra dengan label HL. Ini menunjukkan bahwa tapis *highpass* H dan tapis *lowpass* L dipakai untuk mengkonvolusi baris dan kolom citra asli berturut-turut.

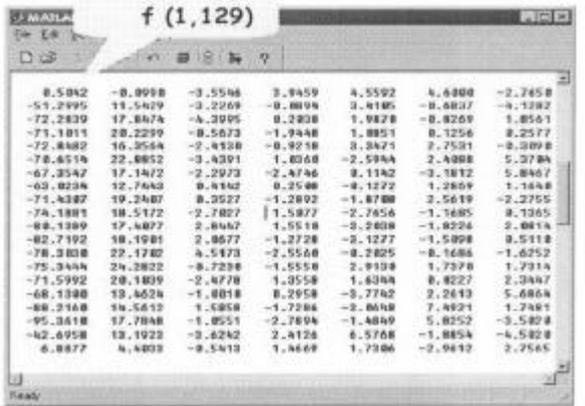


Gambar 1. Subbidang Citra Dekomposisi Satu Kali Menggunakan db4

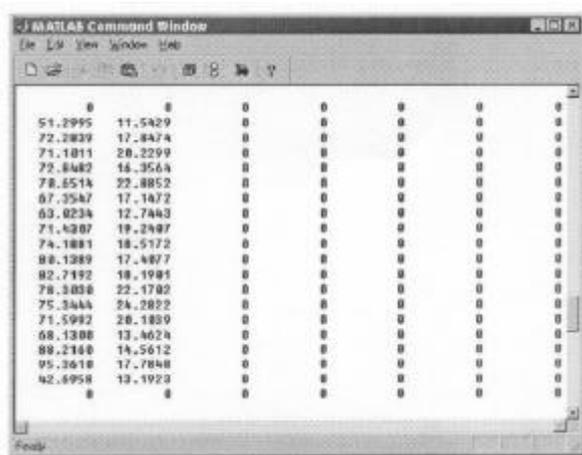
4.2 Proses Kuantisasi

Jika Gambar 1 diperhatikan, akan terlihat jelas warna hitam mendominasi subbidang citra LH, HL dan HH. Dalam citra skala abu-abu, warna hitam berkaitan dengan nilai yang mendekati atau sama dengan nol sedangkan warna putih berkaitan dengan nilai yang mendekati atau sama dengan nilai tertinggi (255). Perlu diketahui bahwa dalam pengolahan citra digital, koefisien-koefisien subbidang citra yang bernilai negatif akan diabsolutkan dan koefisien-koefisien yang bernilai di atas 255 akan bernilai tetap 255. Dengan pendekatan ini dapat ditarik pernyataan bahwa koefisien-koefisien pada subbidang citra LH, HL dan HH didominasi dengan nilai-nilai yang hampir atau sama

dengan nol. Berikut ini adalah penggalan koefisien-koefisien subbidang citra LH dan hasil kuantisasinya untuk memperkuat pernyataan diatas.



Gambar 2. Penggalan Koefisien-Koefisien Bidang LL



Gambar 3. Penggalan Koefisien-Koefisien Bidang LL Terkuantisasi 4

4.3 Proses Rekonstruksi

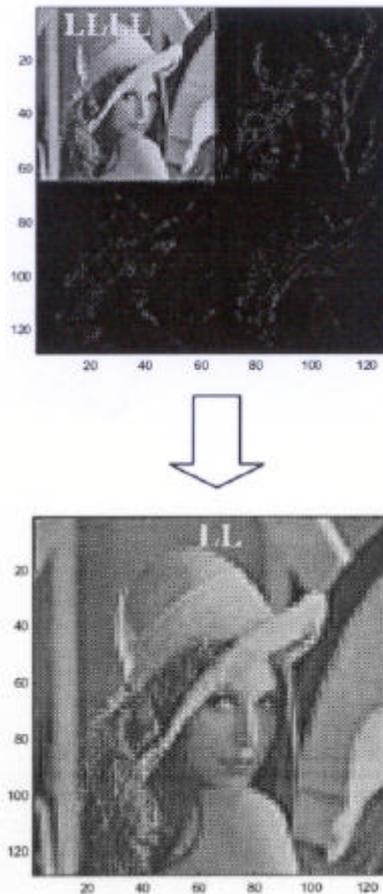
Rekonstruksi merupakan proses kebalikan dari dekomposisi. Rekonstruksi melibatkan operator *upsampling* dan konvolusi. Kolom dan baris citra terkuantisasi di *upsampling* dan dikonvolusi secara bertahap. Jika kedalaman dekomposisi dua, maka dapat diberikan pernyataan dan tahapan-tahapan dalam merekonstruksi suatu citra sebagai berikut:

- Masing-masing kolom dan baris dari subbidang citra LLLL, LLLH, LLHL dan LLHH terkuantisasi *diupsampling* dan dikonvolusi secara bergantian untuk menghasilkan subbidang citra LL.
- Masing-masing kolom dan baris dari subbidang citra LHLL, LHLH, LHHL dan LHHH terkuantisasi *diupsampling*

dan dikonvolusi secara bergantian untuk menghasilkan subbidang citra LH.

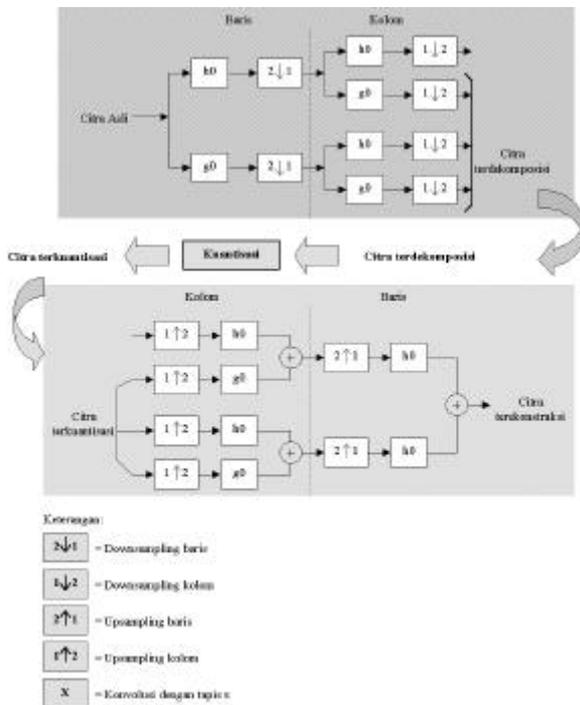
- Masing-masing kolom dan baris dari subbidang citra HLLL, HLLH, HLHL dan HLHH terkuantisasi *diupsampling* dan dikonvolusi secara bergantian untuk menghasilkan subbidang citra HL.
- Masing-masing kolom dan baris dari subbidang citra HHLL, HHLH, HHHL dan HHHH terkuantisasi *diupsampling* dan dikonvolusi secara bergantian untuk menghasilkan subbidang citra HH.
- Masing-masing kolom dan baris dari subbidang citra LL, LH, HL dan HH terkuantisasi *diupsampling* dan dikonvolusi secara bergantian untuk menghasilkan subbidang citra terekonstruksi.

Ilustrasi rekonstruksi subbidang citra LL dari subbidang citra LLLL, LLLH, LLHL dan LLHH terkuantisasi dengan *threshold* 20 dapat disajikan di bawah ini.



Gambar 4. Rekonstruksi Subbidang Citra LL Dari Subbidang Citra LLLL, LLLH, LLHL dan LLHH Terkuantisasi Dengan *Threshold* 20

Berikut ini akan disajikan juga keseluruhan ketiga tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu: dekomposisi, kuantisasi, dan rekonstruksi.



Gambar 5. Tahapan-Tahapan Penelitian

Tabel 1. Koefisien-koefisien tapis *lowpass* h_{0n}

Tapis	Koefisien-koefisien h_{0n}							
db2	0,68301	1,18301	0,31699	-0,18301				
db3	0,47046	1,14111	0,650365	-0,190934	-0,1208322	0,0498174		
db4	0,325803	1,0109457	0,8922001	-0,039575	-0,264507	0,0436163	0,0465036	0,0014987

5. HASIL

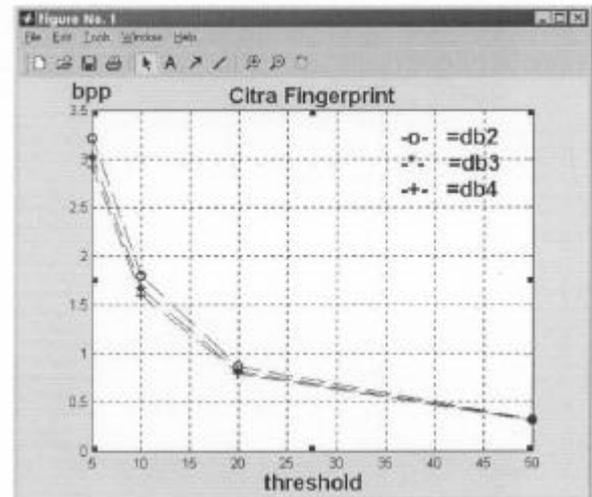
Laju bit adalah parameter matematik yang bisa mengkuantifikasi kinerja kompresi. Parameter ini memiliki satuan bpp (bit per piksel). Misalnya, suatu citra asli memiliki ukuran 256 x 256 piksel dengan representasi 8 bit maka kapasitasnya adalah 256 x 256 x 8 bit = 524288 bit = 65536 byte atau sekitar 65 kilo byte. Jika parameter ini menunjukkan angka 2,5 bpp maka hal ini menyatakan bahwa citra terkuantisasi akan memiliki kapasitas sebesar 256 x 256 x 2,5 = 163840 bit = 20480 byte atau sekitar 20 kilo byte.

Melalui pembuktian secara empirik di atas, maka parameter ini sangat layak untuk menguji kinerja kompresi wavelet. Grafik

laju bit vs nilai *threshold* akan disajikan sebagai pembuktian dan ukuran kinerja kompresi. Hasil-hasil empirik yang diperoleh juga ditabulasikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter persentase koefisien nol vs nilai *threshold* pada kedalaman dekomposisi tiga

Persentase koefisien nol (npp) vs nilai <i>threshold</i>			
No.	Citra Lenna	Citra Daubechies	Citra Fingerprint
<i>Threshold 5</i>			
db2	2,4949	1,0923	3,2132
db3	2,3052	1,0552	3,0201
db4	2,2375	1,0704	2,9113
<i>Threshold 10</i>			
db2	1,5303	0,5403	1,7928
db3	1,4183	0,5319	1,6618
db4	1,3741	0,5221	1,5859
<i>Threshold 20</i>			
Db2	0,8772	0,2936	0,8669
Db3	0,8248	0,2864	0,8150
Db4	0,8037	0,2838	0,7897
<i>Threshold 50</i>			
Db2	0,3633	0,1647	0,3175
Db3	0,3663	0,1608	0,3144
Db4	0,3468	0,1602	0,3119



Gambar 6. Hubungan Persentase Koefisien Nol vs Nilai *Threshold* Atas Citra Fingerprint Menggunakan db2, db3 dan db4 Pada Kedalaman Dekomposisi Tiga

Baik dari hasil empirik pada Tabel 2 maupun grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa db4 memiliki keunggulan yang lebih dari jenis wavelet Daubechies yang lain. Hal ini terbukti dari kemampuannya untuk menghasilkan persentase koefisien nol (laju bit) yang lebih rendah yaitu sekitar 0,1602

bpp untuk citra Daubechies artinya kapasitas hasil kompresi db4 terhadap citra uji menjadi sebesar $0,1602 \times 256 \times 256 = 10498,8672$ atau 1312,3584 byte atau berkisar 1,3 kilo byte dari 65 kilo byte. Dapat pula diperhatikan bahwa laju bit yang palingjelek diperoleh adalah 3,2132 bpp untuk citra Fingerprint artinya kapasitas hasil kompresi db2 terhadap citra uji menjadi sebesar $3,2132 \times 256 \times 256 = 210580,2752$ atau 26322,5344 byte atau berkisar 26 kilo byte dari 65 kilo byte.

Hasil-hasil di atas sekaligus membuktikan dua hal yaitu pertama, wavelet sebagai alih ragam mampu mengkompresi sinyal 2 dimensi dengan hasil kompresi paling sedikit 2/5 kali kapasitas semula. Kedua, tingkat kehalusan terbukti memiliki pengaruh yang cukup signifikan dimana dengan makin bertambahnya tingkat kehalusan maka laju bit yang dihasilkan akan semakin rendah.

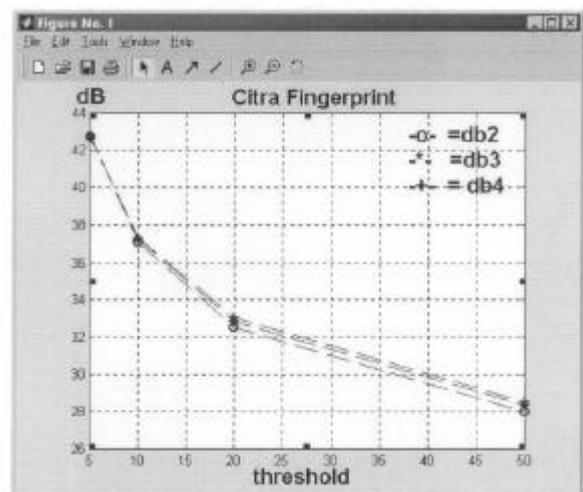
PSNR merupakan parameter yang paling umum digunakan pada seluruh bidang kompresi data. Parameter ini dipahami sebagai tingkat kemiripan antara citra terekonstruksi dengan citra asli. PSNR memanfaatkan persamaan galat terkuadrat rerata (*mean squared error*). Jika galat antara citra terekonstruksi dengan citra asli semakin kecil maka sebaliknya PSNR akan bertambah besar.

Tabel 3. Parameter PSNR vs nilai *threshold* pada kedalaman dekomposisi tiga

PSNR (db) vs nilai <i>threshold</i>			
No.	Citra Lenna	Citra Daubechies	Citra Fingerprint
<i>Threshold 5</i>			
db2	43,4810	44,5810	42,7247
db3	43,7259	44,6230	42,6784
db4	43,7815	44,0916	42,6508
<i>Threshold 10</i>			
db2	38,4830	40,5510	37,0769
db3	38,8397	40,7292	37,2235
db4	38,9564	40,4034	37,2996
<i>Threshold 20</i>			
db2	33,9783	37,3812	32,5464
db3	34,3393	37,5016	32,8535
db4	34,4903	37,4517	33,0651
<i>Threshold 50</i>			
db2	28,5666	33,7651	27,9993
db3	28,9487	33,9561	28,3630
db4	29,0446	33,8684	28,5400

Pada hasil empirik yang ditabulasikan dalam Tabel 3 di atas dapat diperhatikan bahwa db4 sebagai jenis wavelet Daubechies yang mengandung tingkat kehalusan paling tinggi ternyata mampu lebih unggul dari jenis wavelet lain. Namun pada citra Daubechies, db4 memiliki PSNR yang lebih rendah dari db3.

Sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa PSNR menyatakan tingkat kemiripan antara citra terekonstruksi dengan citra asli dan mengacu pada hasil yang telah diperoleh maka dapat dikatakan bahwa db4 lebih baik dalam mengkompresi citra Lenna dan Fingerprint daripada citra Daubechies. Menurut parameter ini, tingkat kehalusan belum tentu memberikan PSNR yang lebih besar karena tidak berlaku untuk semua citra digital.



Gambar 7. Hubungan PSNR vs Nilai *threshold* Atas Citra Fingerprint Menggunakan db2, db3 dan db4 Pada Kedalaman Dekomposisi Tiga

6. KESIMPULAN

Implementasi kompresi citra digital menggunakan wavelet Daubechies db2, db3 dan db4 telah dilakukan. Hasil empirik yang diperoleh menunjukkan bahwa wavelet mampu mengkompresi citra digital menjadi paling sedikit 2/5 kali kapasitas semula. Wavelet db4 yang memiliki tingkat kehalusan paling tinggi terbukti mampu memiliki laju bit yang paling rendah untuk semua citra uji. Laju bit semakin rendah dikaitkan dengan tingkat kompresi yang

semakin tinggi. Parameter PSNR menunjukkan bahwa wavelet db4 memberikan hasil yang lebih baik kecuali untuk citra Daubechies. Makin tinggi PSNR makin kecil pula galat antara citra terekonstruksi dengan citra asli. Sekali lagi, parameter ini membuktikan bahwa wavelet cukup tangguh untuk mengompresi data.

DAFTAR PUSTAKA

1. Athanassios N. Skodras, Charilaos A. Christopoulos, and Touradj Ebrahimi., JPEG2000: The Upcoming Still Image Compression Standard. In *11th Portuguese Conference on Pattern Recognition (RECPAOOD)*, hal. 359-366, Mei 2000, Porto, Portugal.
2. Claudia Schremmer, 2001, Empirical Evaluation of Boundary Policies for Wavelet-Based Image Coding. Technical Report TR 7-2001, Dept. for Mathematics and Computer Science, Universitas Mannheim, Germany.
3. Claudia Schremmer, Christoph Kuhmunch, and Wolfgang Effelsberg., Layered Wavelet Coding for Video. In *International Packet Video Workshop (PV)*, Kyongju, Mei 2001, Korea. Korean Institute of Communication Science (KICS).
4. Jelena Kovajcevi'c and Martin Vetterli., 1995, Nonseparable Two- and Three-Dimensional Wavelets. *IEEE Transactions on SignalProcessing*, hal. 1269-1273,.
5. ,....., JPEG 2000 Image Coding System., 2000, International Telecommunication Union, Final Committee Draft Version 1.0 FCD15444-1 edition.
6. Sianipar, R.H, Sabar Nababan., Dekomposisi Standard Menuju Pengkodean Citra Diam Berbasis Wavelet: Kajian Terhadap JPEG-2000, Proceeding Seminar IES 2002 ITS Surabaya.
7. Sianipar, R.H, Sjamsjiar R., Kompresi Citra *Ultrasound* Menggunakan *Space-Frequency Segmentation* (SFS) Berbasis Wavelet., Proceeding Seminar IES 2002 ITS Surabaya.
8. Stephane Mallat. A., Compact Multiresolution Representation: The Wavelet Model. *IEEE Computer Society Workshop on Computer Vision (WCV)*, 87:2-7, 1987.

LAMPIRAN

Berikut ini adalah tiga citra uji yang digunakan dalam penelitian ini :



(a). Lenna 256x256



(b). Daubechies 256x256



(c). Fingerprint 512x512

Gambar 8. Beberapa Citra Uji