

# Peningkatan Kompresi Citra Digital Menggunakan *Discrete Cosine Transform – 2 Dimension (DCT – 2D)*

Nadia Printa Tearani, *Member, IEEE*

**Abstract**— Digital image compression is a data compression application that aims to reduce the redundancy of data so that the image can be stored and transmitted efficiently. There are two techniques in compression, namely lossless compression and lossy compression. In this research uses a compression technique with lossy compression using discrete cosine transform – 2 dimension (DCT-2D) method on the digital image size is limited to 512x512 piksel bitmap image. The do a comparison percentage of the size of the compressed image based on 2x2 compression block, 4x4 compression block, and 8x8 compression. Based on the research, digital image compression algorithm using DCT-2D based compression blocks produce the best compression results percent more efficient to store based the compression of the size on the 8x8 compression block is 60.55%, the the compression block 2x2 is 48.09%, and compression block 4x4 is 50.94%. The best image quality of image compression on 2x2 blocks, where the image is still looks good by the human visual, the the best PSNR value is indicated by 8x8 compression block is 11.1849 dB. It proves that the percentage size image compression best results, do not determine the quality of the compressed image is the best image quality.

**Index Terms**— Compression, Lossy Compression, Discrete Cosine Transform, Block Compression, PSNR

## I. PENDAHULUAN

Pengolahan citra merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kualitas citra sehingga mudah diinterpretasi oleh manusia maupun mesin. Beberapa *field research* terkait dengan pengolahan data citra, antara lain grafika komputer (*computer grafik*), pengolahan citra (*image processing*), dan pengenalan pola (*pattern recognition* atau *image interpretation*). Pengolahan citra dilakukan dengan mentransformasikan citra menjadi citra lain yang mempunyai kualitas lebih baik yang operasinya meliputi perbaikan kualitas citra (*image enhancement*), pemugaran citra (*image restoration*), pemampatan citra (*image compression*), segmentasi citra (*image segmentation*), analisis citra (*image analysis*), dan rekonstruksi citra [1]. Secara umum teknik pengolahan citra dikelompokkan ke dalam dua domain, yaitu domain spasial dan domain spectrum. Teknik pemrosesan domain spasial didasarkan pada manipulasi piksel dalam citra secara langsung, sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama dalam memproses tetapi tidak tahan terhadap serangan. Sedangkan pada domain frekuensi didasarkan pada manipulasi terhadap transformasi *fourier* pada suatu citra, sehingga membutuhkan beberapa tahap pemrosesan, namun tahan terhadap serangan. Salah satu metode domain frekuensi citra adalah *discrete cosine transform (DCT)*.

Kompresi citra digital merupakan upaya untuk melakukan transformasi terhadap data atau simbol penyusunan citra

digital menjadi data atau simbol lain, tanpa menimbulkan perubahan yang signifikan atas citra digital tersebut bagi mata manusia yang mengamatinya. Tujuannya adalah untuk mengurangi redudansi dari data-data yang terdapat dalam citra sehingga dapat disimpan atau ditransmisikan secara efisien. Teknik kompresi dibedakan menjadi dua, yaitu *lossless compression* dan *lossy compression* [2].

*Lossless compression* yaitu teknik yang memproses data asli menjadi bentuk yang lebih ringkas tanpa hilangnya informasi, biasanya digunakan pada aplikasi biomedis. *Lossy compression* yaitu teknik mendapatkan data yang lebih ringkas dengan melalui suatu proses penghampiran (aproksimasi) dari data asli dengan tingkat *error* yang dapat diterima. Teknik ini mengubah detail dan warna pada file citra menjadi lebih sederhana tanpa terlihat perbedaan yang mencolok dalam pandangan manusia, sehingga ukurannya menjadi lebih kecil. Biasanya digunakan pada citra foto atau *image* lain yang tidak terlalu memerlukan detail citra, dimana kehilangan *bit rate* foto tidak berpengaruh pada citra [2]. Teknik yang termasuk dalam *lossy compression* yaitu *discrete cosine transform (DCT)*.

*Discrete cosine transform* adalah sebuah fungsi dua arah yang memetakan himpunan N buah bilangan *real* menjadi himpunan N buah bilangan *real*. *Discrete cosine transform (DCT)* adalah teknik kompresi digital kedalam format JPEG. Pada kompresi JPEG, DCT menerima masukan berupa matriks citra berukuran 8x8, yang kemudian mengubahnya menjadi matriks frekuensi dengan ukuran sama. Sifat dari DCT adalah mengubah informasi citra yang signifikan dikonsentrasikan hanya kepada beberapa koefisien DCT. *Discrete cosine transform* adalah sebuah skema *lossy compression* dimana NxN blok ditransformasikan dari domain spasial ke domain DCT [3].

Kelebihan kompresi data menggunakan DCT adalah walaupun gambar di kompresi dengan *lossy compression*, tidak akan menimbulkan kecurigaan karena metode ini terjadi di domain frekuensi di dalam *image*, bukan pada domain spasial, sehingga tidak akan ada perubahan yang terlihat pada *cover* gambar, dan juga kokoh terhadap manipulasi *stego-object*. Sedangkan kekurangannya adalah dalam pembuatan data dengan metode DCT diketahui, dan juga implementasi algoritma yang panjang dan membutuhkan banyak perhitungan [4]. DCT biasanya digunakan pada citra foto atau citra lain yang tidak terlalu memerlukan detail citra, dimana kehilangan *bit rate* foto tidak berpengaruh pada citra.

Berdasarkan uraian diatas, kelebihan yang dimiliki DCT pada proses kompresi citra, maka pada penelitian ini menganalisa kemampuan *discrete cosine transform* DCT pada proses kompresi citra menggunakan blok 2x2, blok 4x4, dan blok 8x8 untuk mengetahui efisiensi ukuran citra sehingga dapat diketahui hasil kompresi terbaik.

## II. DISCRETE COSINE TRANSFORM

DCT adalah sebuah teknik untuk mengubah sinyal kedalam komponen frekuensi dasar. Keunggulan DCT walaupun *image* di kompresi dengan *lossy compression* tidak akan menimbulkan kecurigaan karena metode ini terjadi di domain frekuensi di dalam *image*, bukan pada domain spasial sehingga tidak akan ada perubahan yang terlihat pada *image*. Sedangkan kekurangannya, DCT tidak tahan terhadap perubahan suatu objek dikarenakan pesan mudah dihapus karena lokasi penyisipan data dan pembuatan data dengan metode DCT diketahui.

### A. Discrete Cosine Transform – 1 Dimension

DCT dari sederet bilangan *real*  $d(x)$ ,  $x=0, \dots, n-1$ , dirumuskan sebagai [5]:

Barisan  $d(x)$  diperoleh lagi dari transformasinya  $d(u)$  dengan menggunakan *Inverse Discrete Cosine Transform* (IDCT), dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$d(X) = \sqrt{\frac{2}{n}} \sum_{x=0}^{n-1} d(u) C(u) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) \quad (1)$$

Keterangan :  $U = 0, \dots, n-1$   
Dimana  $C(u) = 2^{-1/2}$  untuk  $u = 0$   
1 untuk lainnya

Barisan  $d(x)$  diperoleh lagi dari transformasinya  $d(u)$  dengan menggunakan *Inverse Discrete Cosine Transform* (IDCT), dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$d(X) = \sqrt{\frac{2}{n}} \sum_{x=0}^{n-1} d(u) C(u) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) \quad (2)$$

Keterangan :  $U = 0, \dots, n-1$   
Dimana  $C(u) = 2^{-1/2}$  untuk  $u = 0$   
1 untuk lainnya

Persamaan di atas menyatakan  $d$  sebagai kombinasi linier dari basis vector. Koefisien adalah elemen transformasi  $d$ ,

yang mencerminkan banyaknya setiap frekuensi di dalam masukkan  $d$  [5].

### B. Discrete Cosine Transform – 2 Dimension

DCT-2D merupakan perbandingan dari DCT-1D, maka transformasi diskrit dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan. Dalam algoritma JPEG, sampel gambar  $I(i, j)$  dibagi menjadi blok 8x8. Setiap blok ditransformasi menjadi 8x8 matriks koefisien DCT. Definisi matematis dari masing-masing blok koefisien didefinisikan sebagai [8]:

$$d_{u,v} = \frac{C_u C_v}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 I_{i,j} \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right) \quad (3)$$

Dan *output* dari *invers* DCT (IDCT) adalah :

$$I_{i,j} = \frac{C_u C_v}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 d_{u,v} \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right) \quad (4)$$

Dimana  $C_w$  didefinisikan sebagai

$$C_w = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{if } w = 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, matriks koefisien dari blok *output* DCT disusun sebagai bentuk zig-zag.

$$R = \begin{bmatrix} d_{0,0} & d_{0,1} & d_{0,2} & d_{0,3} & d_{0,4} & d_{0,5} & d_{0,6} & d_{0,7} \\ d_{1,0} & d_{1,1} & d_{1,2} & d_{1,3} & d_{1,4} & d_{1,5} & d_{1,6} & d_{1,7} \\ d_{2,0} & d_{2,1} & d_{2,2} & d_{2,3} & d_{2,4} & d_{2,5} & d_{2,6} & d_{2,7} \\ d_{3,0} & d_{3,1} & d_{3,2} & d_{3,3} & d_{3,4} & d_{3,5} & d_{3,6} & d_{3,7} \\ d_{4,0} & d_{4,1} & d_{4,2} & d_{4,3} & d_{4,4} & d_{4,5} & d_{4,6} & d_{4,7} \\ d_{5,0} & d_{5,1} & d_{5,2} & d_{5,3} & d_{5,4} & d_{5,5} & d_{5,6} & d_{5,7} \\ d_{6,0} & d_{6,1} & d_{6,2} & d_{6,3} & d_{6,4} & d_{6,5} & d_{6,6} & d_{6,7} \\ d_{7,0} & d_{7,1} & d_{7,2} & d_{7,3} & d_{7,4} & d_{7,5} & d_{7,6} & d_{7,7} \end{bmatrix}$$

Gambar 1 : Matriks koefisien DCT 8x8 [8]

### C. PSNR

*Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) digunakan untuk mengukur kualitas citra, selain menggunakan *human visual*. Parameter PSNR menunjukkan perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut, diukur dalam satuan decibel (dB) [3]. Pada penelitian ini, PSNR digunakan untuk mengetahui kualitas citra hasil kompresi.

Untuk menentukan nilai dari PSNR, terlebih dahulu harus diketahui nilai rata-rata kuadrat dari *error* yaitu menggunakan MSE (*Mean Significant error*). Semakin besar parameter PSNR berarti semakin mirip dengan citra asli, sedangkan nilai MSE akan semakin kecil. Rumus dari PSNR dan MSE terdapat pada persamaan berikut :

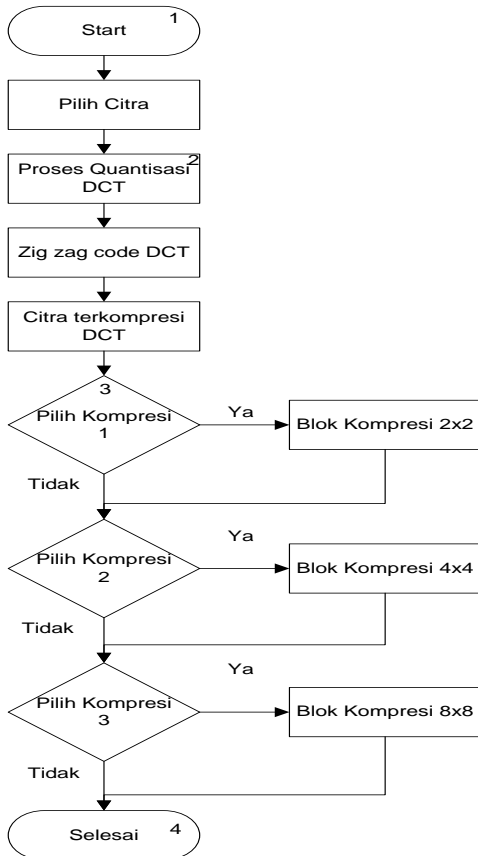
$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n |w_{ij} - w'_{ij}|^2 \quad (6) \quad (7)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log \left( \frac{MAX_i^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (7)$$

Notasi  $MAX_i$  menunjukkan nilai maksimum piksel,  $m$  dan  $n$  adalah panjang dan lebar citra (dalam piksel),  $(ij)$  menunjukkan koordinat masing-masing piksel,  $w$  sebagai nilai intensitas *cover image*, dan  $w'$  adalah nilai intensitas citra hasil kompresi.

### III. IMPLEMENTASI

Berikut adalah tahapan percobaan yang dilakukan :



Gambar 2 : Diagram alir sistem kompresi keseluruhan

#### 1. Start

Pada tahap ini, yang pertama kali dilakukan adalah dengan menjalankan program yang telah dibuat pada matlab. Setelah itu dilakukan proses *input* citra yang pertama dari pengguna adalah arsip citra yang terdapat dalam program dan dipilih oleh pengguna. Pada sistem ini, citra yang dilakukan uji coba adalah berupa 30 sampel yaitu 6 citra berwarna dan 24 citra *ct-scan* dengan 3 citra berukuran 768 KB dan 27 citra berukuran 1000 KB berformat *bitmap* dengan ukuran piksel 512x512. Gambar yang digunakan dalam penelitian ini, didapatkan dari sumber *internet* [www.petitcolas.net/fabien/watermarking/image\\_database/](http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/image_database/), [www.radiologyinfo.org](http://www.radiologyinfo.org) dan [www.ziehm.com](http://www.ziehm.com).

#### 2. Discrete Cosine Transform (DCT)

Pada tahap ini, dilakukan proses kompresi menggunakan metode *discrete cosine transform* (DCT), dengan pertama melakukan proses kuantisasi DCT, yang bertujuan mengurangi jumlah intensitas warna, sehingga dapat mengurangi jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasi citra mengecilkan ukuran, kemudian didapatkan *output* 64 koefisien, dimana terdiri dari koefisien Dc dan Ac yang diurutkan berdasarkan proses kuantisasi dengan metode zig-zag code untuk mendapatkan citra terkompresi DCT.

Proses perhitungan metode DCT diperoleh dari matriks *transform* dari blok matriks dari sebuah gambar, dimana setelah dilakukan proses *input* citra, selanjutnya piksel citra akan terbaca yang kemudian dimasukkan rumus  $A_j = C_i \cos \frac{(2j+1)iz}{2N}$ , dimana  $C_i = \sqrt{\frac{1}{N}}$  ( $i=0$ ),  $C_i = \sqrt{\frac{2}{N}}$  ( $i > 0$ ) untuk perhitungan matriks A (matriks *transform*), yaitu piksel citra asli dimasukkan kedalam rumus  $A_{ij}$ . Proses perhitungan metode DCT selanjutnya diperoleh dari A' (matriks *transpose*) yaitu perubahan kolom menjadi baris dan baris menjadi kolom dimana *forward* DCT dari X diperoleh dari  $Y = A * X * A'$  dan  $Y' = X * A$  dimana Y adalah matriks koefisien DCT.

#### 3. Pilih Kompresi

Pada tahap ini dilakukan pemilihan terhadap proses kompresi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan koefisien dari blok 2x2, blok 4x4, maupun blok 8x8. Setelah dilakukan kompresi terhadap blok-blok kompresi citra, kemudian akan didapatkan citra keluaran yang dihasilkan dari kompresi menggunakan metode yang dipakai.

Proses perhitungan koefisien DCT diperoleh dari  $Y = Y' * A'$  dan koefisien IDCT diperoleh dari  $X' = A' * Y$ , kemudian X diperoleh dari  $X = X' * A$ .

#### 4. Tahap Akhir

Proses terakhir dimana didapatkan citra keluaran yang tersimpan dalam format *\*.jpg*. Dari hasil tersebut dalam dilihat ukuran citra berdasarkan blok-blok yang telah di uji cobakan agar dapat melakukan analisis terhadap efisiensi ukuran citra hasil kompresi terbaik.

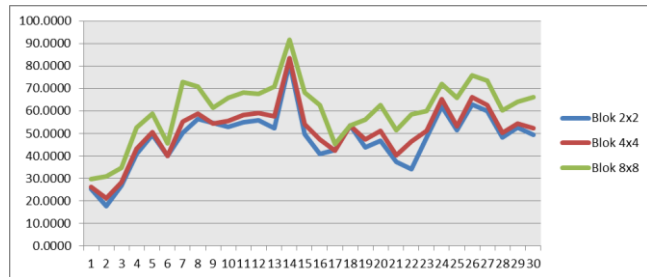
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data citra yang digunakan berupa 30 sampel citra, terdiri dari 6 citra berwarna dan 24 citra *ct-scan* dengan 3 citra berukuran 768 KB dan 27 citra berukuran 1000 KB, ukuran piksel 512x512 berformat *\*.bmp* yang berasal dari *download* pada sumber *internet*.

#### 1. Prosentase Citra Kompresi

Hasil uji coba proses kompresi DCT menunjukkan perubahan ukuran yang berbeda pada citra hasil kompresi dengan membagi citra berdasarkan blok-blok kompresi, yaitu blok kompresi 2x2, blok kompresi 4x4, dan blok kompresi 8x8. Hasil kompresi berdasarkan blok tersebut akan dilihat *prosentase* rata-rata dari setiap blok berdasarkan 30 sampel citra uji untuk dilakukan analisis dan efisiensi terhadap hasil citra terbaik. Dari hasil uji coba ini akan digunakan untuk menarik kesimpulan pada penelitian ini.

Berikut adalah grafik hasil uji coba dari citra yang dilakukan kompresi menggunakan metode DCT :



Gambar 3 : Grafik hasil citra kompresi DCT

Hasil uji coba terhadap proses kompresi menggunakan metode *discrete cosine transform* (DCT) pada file bertipe \*.bmp berdimensi 512x512 ditunjukkan pada Gambar 3. Prosentase rata-rata pada setiap blok yaitu, pada blok kompresi 2x2 rata-ratanya adalah 48.09%, blok kompresi 4x4 rata-ratanya adalah 50.93% , dan blok kompresi 8x8 rata-ratanya adalah 60.55%.

Prosentase ukuran terbaik untuk dapat disimpan maupun ditransmisikan ditunjukkan oleh kompresi DCT berdasarkan hasil uji coba terhadap 30 sampel citra berdasarkan blok-blok kompresi citra, yaitu pada blok kompresi 8x8.

## 2. Kualitas Citra Kompresi

Dari hasil uji coba terhadap blok-blok kompresi citra menggunakan metode DCT, didapatkan citra keluaran berdasarkan kompresi yang telah dilakukan uji coba terhadap blok-blok kompresi citra, dimana hasil dari kompresi tersebut dapat dibedakan kualitas citra dengan membandingkan secara *visual* manusia yang dilihat secara langsung.

Dibawah ini adalah salah satu citra hasil kompresi berdasarkan blok-blok kompresi citra:

Tabel 1 : Hasil Uji Coba Kualitas Citra Kompresi Menggunakan Metode DCT

Citra Masukan (BMP)	Citra Kompresi (JPG)		
	Blok 2x2	Blok 4x4	Blok 8x8
Baboon			
Dental	29.4 KB	21.5 KB	17.1 KB

Dari hasil uji coba terhadap kualitas citra seperti pada Tabel 1, terlihat kualitas citra yang paling baik adalah pada blok kompresi 2x2, dimana pada gambar berwarna maupun gambar hasil *ct-scan* citra masih terlihat baik oleh pandangan manusia secara langsung, dibanding dengan citra hasil blok kompresi 4x4 dan 8x8 yang terlihat perubahan warna citra menjadi lebih kabur. Dari kualitas citra hasil kompresi, terlihat pada blok kompresi 8x8 adalah kualitas citra yang paling buruk, dimana perubahan warna yang terjadi terlihat jelas oleh *visual* manusia.

Kekurangan pada pengujian menggunakan *human visual* adalah mata manusia sering menipu, sehingga apa yang terlihat oleh mata manusia, tidak berarti kualitas gambar merupakan kualitas baik. Oleh karena itu, diperlukan cara lain untuk mengetahui kualitas citra tersebut.

## 3. Nilai PSNR Citra Kompresi

Kualitas citra ditentukan juga menggunakan nilai *error* pada citra hasil kompresi. Dalam hal ini menggunakan PSNR, dimana semakin tinggi nilai PSNR, kualitas citra semakin bagus.

Tabel 2 : Nilai PSNR Metode DCT

No	Nilai PSNR (dB)		
	Blok 2x2	Blok 4x4	Blok 8x8
1	10.8651	10.8773	10.9398
2	11.3360	11.3876	11.5128
3	12.5850	12.6154	12.7907
4	11.1013	11.1104	11.1650
5	12.4661	12.4771	12.5619
6	12.4658	12.4797	12.6088
7	11.6122	11.6141	11.6256
8	8.2964	8.2984	8.3109
9	7.0234	7.0270	7.0463

10	7.2877	7.2901	7.3004
11	7.4923	7.4930	7.4976
12	8.7565	8.7572	8.7635
13	12.9761	12.9795	12.9975
14	14.1686	14.1697	14.1776
15	14.3282	14.3376	14.3826
16	11.6009	11.6069	11.6382
17	13.3682	13.3678	13.4269
18	13.4567	13.4574	13.5318
19	10.7450	10.7545	10.7630
20	11.6817	11.6866	11.7116
21	11.5460	11.5661	11.6533
22	11.7024	11.7224	11.7553
23	10.6211	10.6249	10.6492
24	14.3199	14.3318	14.3913
25	12.6917	12.6935	12.7098
26	9.8347	9.8369	9.8479
27	6.4227	6.4252	6.4312
28	12.9429	12.9508	12.9980
29	13.0311	13.0356	13.0629
30	7.2871	7.2881	7.2964
Rata - rata (dB)	<b>11.1338</b>	<b>11.1421</b>	<b>11.1849</b>

Dari hasil uji coba menggunakan nilai PSNR untuk mengetahui tingkat *error* pada citra, terlihat nilai PSNR yang paling tinggi terdapat pada blok kompresi 8x8 yaitu sebesar 11.1849 dB, ini membuktikan bahwa kualitas citra terbaik adalah pada blok kompresi 8x8. Sedangkan PSNR paling kecil yang berarti kualitas citra terlihat kurang baik adalah pada blok kompresi 2x2 yaitu 11.1338 dB, dan nilai PSNR blok 4x4 adalah 11.1421 dB.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Citra hasil kompresi tidak terlihat adanya perbedaan kualitas yang mencolok meskipun terjadi perubahan ukuran file yang signifikan. Hal ini disebabkan karena teknik kompresi yang digunakan (DCT) termasuk dalam kategori *lossy compression*.
2. Blok DCT yang digunakan dalam penelitian ini adalah blok kompresi 2 x 2, blok kompresi 4 x 4, dan blok kompresi 8 x 8. Dari percobaan sampel untuk ketiga blok yang digunakan menunjukkan bahwa blok yang paling optimal untuk efisiensi penyimpanan adalah

blok 8 x 8 dengan rata-rata efisiensi sebesar 60.55% dibanding dengan *raw data*.

3. Kualitas citra berdasarkan *human visual* yang paling baik terlihat pada hasil kompresi citra menggunakan blok kompresi 2x2, dimana perubahan kualitas citra hasil kompresi masih dapat diterima secara baik oleh *visual* manusia.
4. Kualitas citra terbaik berdasarkan tingkat *error* dari citra hasil kompresi ditunjukkan pada blok kompresi 8x8 dengan nilai PSNR sebesar 11.1849 dB, dibanding dengan blok kompresi 2x2 sebesar 11.1338 dB dan blok kompresi 4x4 sebesar 11.1421 dB. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran prosentase terbaik dari citra hasil kompresi yang digunakan untuk penyimpanan maupun transmisi citra tidak menentukan kualitas citra hasil kompresi tersebut merupakan citra terbaik.

## REFERENCES

x

- [1] Hermawati, *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2013.
- [2] Yeni Herdiyeni, *Kompresi Citra*. Bogor: Departemen Ilmu Komputer IPB, 2007.
- [3] Erwin Yudi Hidayat and Erika Devi Udayanti, "Hybrid Watermarking Citra Digital Menggunakan Teknik DWT-DCT SVD," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*, Semarang, 2011.
- [4] F A Nugroho, "Kompresi Data Menggunakan Discrete Cosine Transform," Universitas Sumatera Utara, Sumatera, 2011.
- [5] Shofiyah, "Studi Perbandingan Kompresi Menggunakan Metode Discrete Cosine Transform (DCT) dan Discrete Wavelet Transform (DWT) pada Citra Digital," Skripsi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2010.
- [6] XiHong ZHOU, "Research on DCT-based Image Compression Quality," *IEEE*, pp. 1490-1494, 2011.
- [7] M H Purnomo and A Muntasa, *Konsep Pengolahan Citra Digital dan Ekstraksi Fitur*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [8] Chung-Ming Kuo, Nai-Chung Yang, Chih-Shan Liu, Jing-Yan Li, and Fu-Yan Chen, "Global Image Enhancement in DCT Domain," *IEEE*, pp. 521-525, 2010.
- [9] Juma'in and Yuliana Melita, "Kompresi Gambar atau Citra Menggunakan Discretecosine Transform ," *Jurnal Teknik*, vol. 3, no. 2, pp. 437-442, 2011.

x