

Implementasi *Discrete Wavelet Transform* Pada Aplikasi Kompresi Citra Medis

Tri Ichsan Saputra^{1*}, Fauziah², Nur Hayati³

^{1,2,3} Jurusan Informatika Universitas Nasional

¹ triichsan1@gmail.com, ² fauziah@civitas.unas.ac.id, ³ nurhayati@civitas.unas.ac.id

Abstrak— Penggunaan citra medis untuk diagnosis pasien dalam bidang kedokteran berperan sangat penting, Semakin banyak kebutuhan citra medis, akan membutuhkan ruang penyimpanan yang lebih besar lagi, tujuan penelitian ini yaitu meningkatkan efisiensi penggunaan ruang penyimpanan namun tanpa menghilangkan informasi utama dari citra aslinya. Desain penelitian diterapkan dengan pendekatan agile, metode yang digunakan yaitu *Discrete Wavelet Transform* (DWT) sebab berdasarkan dari penelitian terdahulu, metode DWT dinilai baik dalam kompresi tanpa menghilangkan informasi aslinya, data citra dikumpulkan dengan metode pengumpulan data dan dilakukan analisis data dengan pivot dari Excel. Tahapan dalam kompresi yang dilakukan adalah akuisisi citra, pemilihan jenis DWT, dekomposisi, thresholding, menghasilkan citra hasil kompresi dan dihitung parameter kualitas citranya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada dua jenis citra yaitu BMP dan JPG terhadap tiga jenis wavelet yang terdiri dari Daubechies, Haar dan Symlets dengan 3 level Dekomposisi. Dari total 50 citra BMP yang diuji didapat hasil 100% pada semua jenis wavelet dengan keterangan “Tidak Terkompres”, untuk citra JPG dari total 100 citra didapat hasil dengan keterangan “Terkompres & Jelas” sebesar 100%. Dari hasil pengujian tersebut maka aplikasi yang dirancang tidak sesuai untuk citra jenis BMP.
Kata kunci— kompresi, dekomposisi, transformasi wavelet diskrit, citra medis, matlab.

Abstract— The use of medical images for the diagnosis of patients in the medical field plays a very important role. The more the need for medical images, the greater the storage space needed, this research aims to increase the efficiency of storage space usage but without eliminating the main information from the original image. The research design was applied with an agile approach, the method used was *Discrete Wavelet Transform* (DWT) because based on previous research, the DWT method was judged to be good in compression without losing the original information, image data was collected by data collection methods and data analysis was performed with Excel pivots. The stages in compression performed are image acquisition, DWT type selection, decomposition, thresholding, resulting in image compression results and image quality parameters calculated. In this study, testing on two types of images namely BMP and JPG on three types of wavelets consisting of Daubechies, Haar and Symlets with 3 levels of decomposition. From a total of 50 BMP images tested 100% were obtained on all types of wavelets with the information "Uncompressed", for JPG images of a total of 100 images obtained with the information "Compressed & Clear" by 100%. From the test results, the application designed is not suitable for BMP type images.

Keywords— compression, decomposition, discrete wavelet transform, medical image, matlab.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan citra medis untuk diagnosis pasien dalam bidang kedokteran berperan sangat penting, data citra medis yang digunakan tersebut harus disimpan untuk dijadikan referensi pasien di masa mendatang. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini yaitu semakin banyak kebutuhan citra medis, maka membutuhkan ruang penyimpanan yang lebih besar lagi, untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan ruang penyimpanan diperlukan proses kompresi. Kompresi harus dilakukan secara efektif, sebab harus memperhatikan kualitas citra hasil kompresi agar tetap dapat terbaca. Tujuan penelitian ini yaitu meningkatkan efisiensi penggunaan ruang penyimpanan namun tanpa menghilangkan informasi utama dari citra aslinya. Maka pada penelitian ini dibuat aplikasi kompresi citra media.

Thirumoorthi dan Karthikeyan melakukan perbandingan pada 6 jenis metode kompresi pada jenis citra medis, pada penelitian tersebut dihasilkan nilai terbaik dari metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) pada parameter kompresi yang diujikan [1]. Penelitian yang dilakukan Sriani, Ali Ikhwan dan Yusnidah menghasilkan aplikasi kompresi citra berbasis DWT dengan melakukan dekomposisi pada setiap baris dan kolom, sehingga didapat rasio kompresi yang lebih tinggi sesuai dengan level yang diterapkan [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Aditya Mahmud Faza, Cepy Slamet dan Dian Nursantika, didapat metode DWT dinilai sebagai metode terbaik dilihat dari nilai MSE yang rendah, PSNR dan rasio kompresi yang tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) [3].

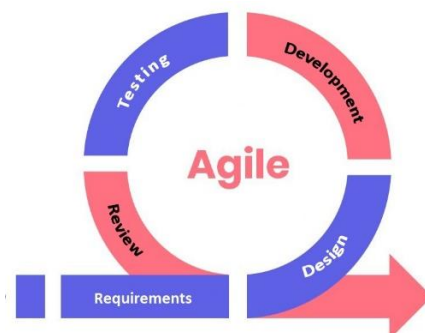
Berdasarkan penelitian terdahulu, kompresi citra menggunakan DWT merupakan metode yang sesuai sebab menghasilkan nilai dari pengukuran kualitas citra yang

tergolong tinggi dan juga metode kompresi berguna untuk meningkatkan efisiensi penggunaan memori. Maka penelitian ini dikembangkan dengan membandingkan lebih banyak jenis DWT yang terdiri dari Haar, Daubechies dan Symlets yang kemudian juga ditingkatkan dengan level dekomposisi hingga 3 level.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain dengan pendekatan *agile* yang merupakan metodologi dengan dasar pada pengembangan sistem jangka pendek yang membutuhkan adaptasi cepat terhadap perubahan yang terjadi.



Gambar 1. Desain penelitian dengan pendekatan *agile*

Pendekatan *agile* dalam penelitian ini terdiri dari:

1. *Requirements*, tahap pertama yaitu menentukan apa saja kebutuhan dan spesifikasi yang diperlukan selama penelitian.

2. *Design*, dalam tahap kedua ini dilakukan desain aplikasi yang dirancang berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya pada tahap pertama.
3. *Development*, pada tahap ini diimplementasikan DWT dengan desain sistem yang telah dibuat sebelumnya.
4. *Testing*, tahap keempat merupakan pengujian sistem yang berguna untuk melihat kesesuaian sistem dengan hasil yang diharapkan.
5. *Review*, tahap ini dibutuhkan untuk memelihara sistem yang telah dibuat sehingga tidak mengurangi performa dari sistem yang telah dirancang.

Desain penelitian dengan pendekatan *agile* lebih efisien sebab setiap kesalahan atau kekurangan yang terjadi langsung dilakukan perbaikan sehingga hasil yang didapat lebih maksimal.

B. Pengumpulan Data

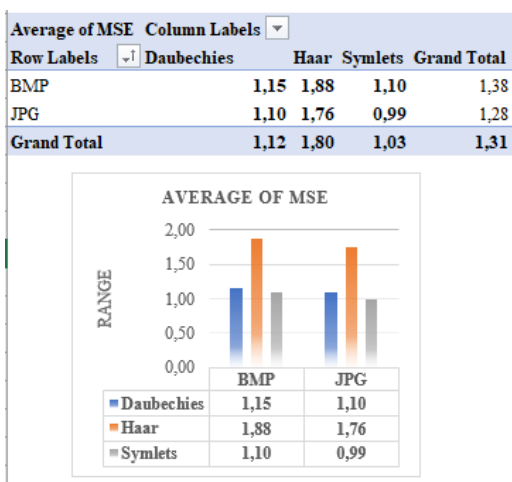
Data dikumpulkan dari website medis Radiopaedia.org yang merupakan sumber radiologi terbuka yang disusun oleh ahli radiologi dan profesional kesehatan dari seluruh dunia [4]. Data tersebut merupakan citra hasil radiologi, kemudian diambil beberapa citra untuk dijadikan data yang diuji.

Pengumpulan data dilakukan dengan dua, yang terdiri dari:

1. Observasi yang dilakukan dengan melihat data yang ada pada website Radiopaedia.org, data yang sesuai (citra radiologi) dengan tujuan penelitian diambil untuk dilakukan pengujian.
2. Studi Dokumen dilakukan sebagai perbandingan dengan penelitian terdahulu untuk dilihat kesesuaiannya pada penelitian yang dilakukan.

C. Analisis Data

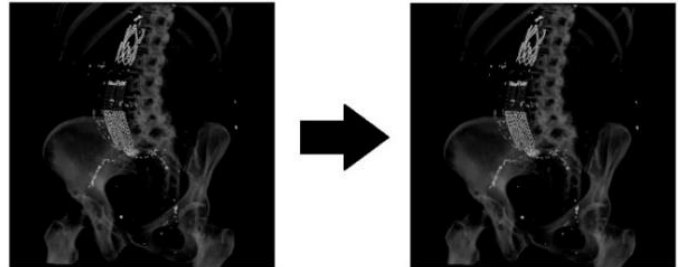
Dalam analisis data dilakukan dengan entry data secara manual [5]. Proses yang dilakukan yaitu memindahkan data penelitian kedalam Excel untuk di analisis. Dari keseluruhan data yang diinputkan kedalam Excel, dibuatkan pivot untuk dihitung hasil keseluruhan dari data yang diujikan, Pivot diklasifikasikan menjadi 3 yang terdiri dari parameter MSE, PSNR dan rasio kompresi.



Gambar 2. Pivot tabel untuk parameter MSE dalam Excel

D. Discrete Wavelet Transform

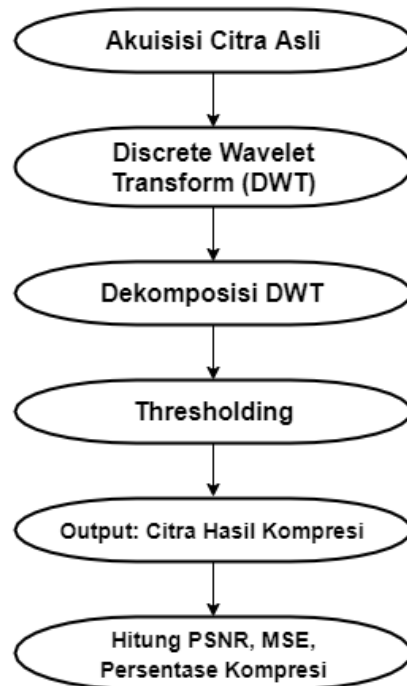
Pada penelitian ini digunakan metode DWT yang merupakan proses dekomposisi pada subband citra, komponen dari transformasi wavelet dihasilkan dengan melakukan penurunan level pada dekomposisi. Secara garis besar prosesnya yaitu melewati sinyal yang dianalisis pada filter dengan frekuensi dan skala yang berbeda. DWT berguna dalam proses pengolahan gambar, DWT digunakan untuk menjaga informasi dari data citra aslinya [6].



Gambar 3. Konsep dasar proses kompresi citra

Prinsip dasarnya yaitu bagaimana cara mendapatkan representasi dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi *sub-sampling* [7].

Pada penelitian ini digunakan tahapan dari proses kompresi citra sebagai berikut:

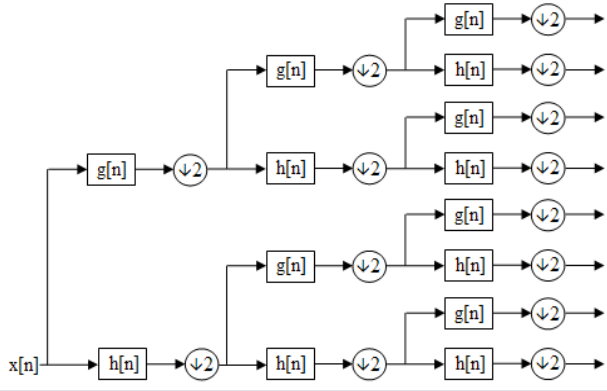


Gambar 4. Tahapan kompresi citra digital

Tahapan diatas menjelaskan alur dari proses kompresi citra, yang diantaranya:

1. Dilakukan akuisisi citra asli sebagai sumber proses kompresi.
2. Selanjutnya memilih jenis DWT merupakan turunan dari *mother wavelet* melalui penggeseran dan *scaling*. Pada penelitian ini terdiri dari 3 jenis, diantaranya: Daubechies, Haar dan Symlets.
3. Kemudian akan dilakukan proses dekomposisi wavelet, pada DWT dikenal istilah operasi *sub-sampling* yang mana berfungsi untuk mengambil keluaran dari rangkaian filter

high-pass dan low-pass yang disebut dengan dekomposisi satu tingkat [8].



Sumber: Wikipedia
Gambar 5. Dekomposisi wavelet 3 level

Keterangan:

- g[n] = Koefisien low-pass
- h[n] = Koefisien high-pass
- ↓ 2 = Sub-sampling dengan faktor 2 sub-band

Dalam penelitian akan dilakukan dekomposisi hingga 3 level yaitu level 1 hingga level 3.

4. Output filter dari filter low-pass g kemudian diproses lebih lanjut dengan melalui filter low-pass baru g dan filter high-pass h dengan setengah frekuensi cut-off dari yang sebelumnya.

5. Thresholding

Proses thresholding dilakukan untuk mengurangi jumlah data yang disimpan dan kurang signifikan sehingga dapat menghemat bit untuk transmisi, dengan rumus [9].

$$g_0(x, y) = \begin{cases} T1, & g_1(x, y) \leq T1 \\ T2, & T1 < g_1(x, y) \leq T2 \\ Tn, & Tn - 1 < g_0(x, y) \leq Tn \end{cases} \quad (3)$$

Dimana:

- $g_0(x, y)$ = Citra hasil threshold
- T = Nilai ambang

6. Lalu akan ditampilkan output citra hasil kompresi.

7. Lalu aplikasi akan menghitung dan menampilkan parameter MSE, PSNR, rasio dan ukuran hasil kompresi citra.

a) Mean Square Error (MSE) yaitu sigma dari jumlah error antara citra asli dengan citra hasil kompresi. Semakin kecil nilai MSE yang didapat (mendekati angka nol), maka semakin baik hasil kompresi yang dihasilkan [10]. digunakan rumus:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [f(i, j) - g(i, j)]^2 \quad (4)$$

Dimana:

- MSE = Nilai Mean Square Error dekomposisi
- M = Panjang hasil citra ekstraksi (pixel)
- N = Lebar hasil citra ekstraksi (pixel)
- f(i,j) = Nilai piksel dari citra asli
- g(i,j) = Nilai piksel pada hasil citra ekstraksi

b) Kemudian dihitung Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). PSNR digunakan untuk mengetahui perbandingan kualitas citra sebelum dan sesudah dikompresi. Pada PSNR jika didapat hasil dari nilai PSNR semakin besar maka kompresi yang dihasilkan akan semakin baik [11], rumus yang digunakan yaitu:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (5)$$

Dimana:

- MSE = Nilai MSE
- 255 = Nilai maksimum dalam piksel citra

c) Rasio kompresi untuk mengukur seberapa besar persentase hasil kompresi [12]. Rasio dihitung menggunakan rumus dibawah.

$$\% = \frac{(CA - CK)}{CA} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

- CA = Ukuran dalam kb dari citra asli
- CK = Ukuran dalam kb dari citra hasil kompresi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian terdahulu telah dibuat alat kompresi menggunakan DWT dengan perbandingan 2 jenis DWT, yaitu Haar dan Daubechies. Dekomposisi dilakukan hingga 2 level [2]. Pada penelitian ini diujikan dengan 3 jenis DWT, yaitu Haar, Daubechies dan Symlets dengan 3 level dekomposisi.

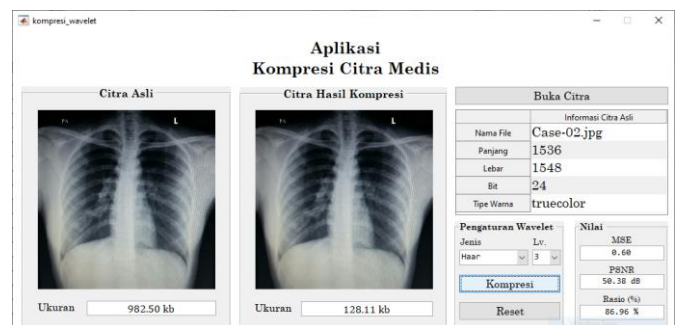
A. Analisa Kebutuhan Sistem

Pada perancangan aplikasi kompresi citra digital, dibutuhkan perangkat pendukung berupa perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software), yang terdiri dari:

1. Kebutuhan hardware: Laptop Intel® Core™ i5-7200U 2.5GHz 64bit dengan RAM 12GB.
2. Kebutuhan software: Draw.io, MATLAB R2017b, Microsoft Excel 2016

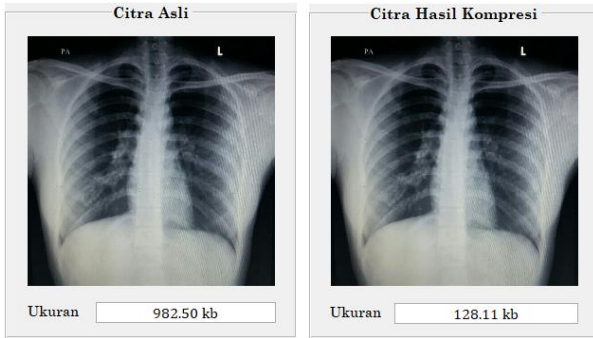
B. Tampilan Aplikasi Kompresi Citra Medis

Penelitian ini dirancang dengan membangun GUI menggunakan software MATLAB 2017b [13]. Tampilan yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan aplikasi dengan menggunakan MATLAB

Adapun fitur yang ditampilkan dalam aplikasi yang dirancang diantaranya:



Gambar 7. Tampilan perbandingan citra

Pada Gambar 7, citra yang dipilih untuk dikompresi akan ditampilkan sejajar dengan citra hasil kompresi, hal ini ditujukan supaya dapat dilihat dengan mudah perbedaan citra asli dan citra hasil kompresi.

Informasi Citra Asli	
Nama File	Case-02.jpg
Panjang	1536
Lebar	1548
Bit	24
Tipe Warna	truecolor

Gambar 8. Informasi citra asli yang akan dikompresi

Gambar 8 menampilkan informasi terkait citra asli yang akan dikompresi, informasi yang ditampilkan diantaranya: nama citra, panjang, lebar, bit dan tipe warna.



Gambar 9. Fitur pengaturan wavelet

Pengaturan wavelet yang ditunjukkan pada Gambar 9 menampilkan jenis wavelet (Daubechies, Haar, Symlets) yang digunakan untuk kompresi, kemudian tingkatan level yang dapat digunakan berkisar antara 1 hingga 3. Lalu terdapat dua tombol yaitu tombol kompresi dan reset.

Nilai	
MSE	0.60
PSNR	50.38 dB
Rasio (%)	86.96 %

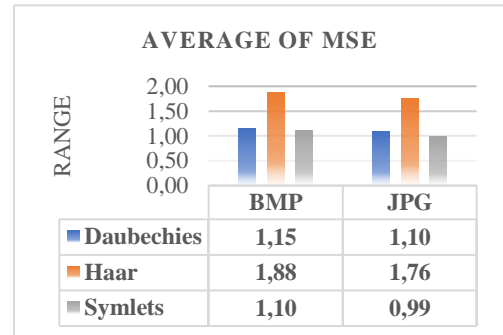
Gambar 10. Parameter kualitas citra yang dikompresi

Paramater untuk mengukur kualitas citra menggunakan rumus (4), (5) dan (6) yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10 diatas.

C. Pengujian

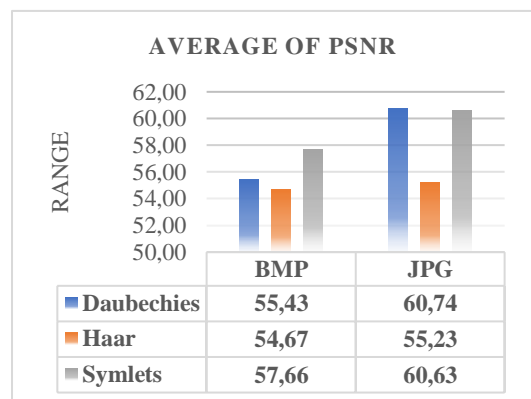
Pengujian dilakukan pada 150 citra medis yang didapat dari beberapa case medis yang ada pada Radiopaedia. 150 citra medis tersebut terdiri dari 50 jenis citra BMP dan 100 jenis citra JPG, yang kemudian dilakukan pengujian terhadap 3 jenis wavelet (Daubechies, Haar dan Symlets) yang masing – masing terdiri dari 3 level dengan total pengujian sebanyak 1350 kali.

Berikut merupakan nilai rata – rata dari semua hasil pengujian yang dilakukan:



Gambar 11. Nilai rata - rata MSE

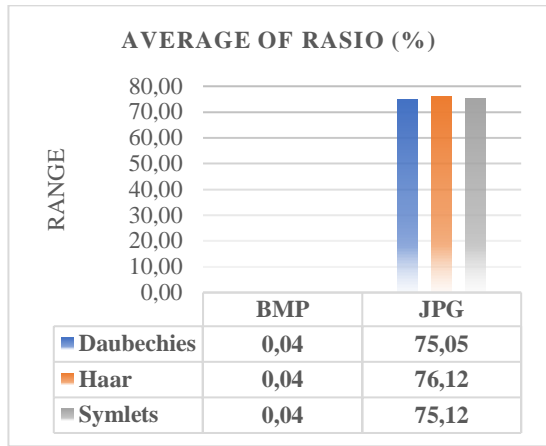
Gambar 11 menampilkan nilai rata – rata MSE yang didapatkan dari hasil pengujian. Pada citra BMP didapat nilai rata – rata MSE 1,15 untuk Daubechies, 1,88 untuk Haar dan 1,10 untuk Symlets. Sedangkan nilai rata – rata MSE yang didapat pada citra JPG yaitu 1,10 Daubechies, 1,76 Haar dan 0,99 Symlets.



Gambar 12. Nilai rata - rata PSNR (dB)

Gambar 12 menunjukkan grafik dari nilai rata – rata pengukuran pada PSNR yang didapatkan selama pengujian. Kualitas citra dinyatakan baik jika didapat nilai PSNR yang tinggi atau diatas 30 dB.

Nilai rata – rata PSNR pada jenis citra BMP yaitu 55,43 dB Daubechies, Haar 54,67 dB dan Symlets 57,66 dB. Pada citra JPG didapatkan Daubechies 60,74 dB, Haar 55,23 dB dan Symlets 60,63 dB.



Gambar 13. Nilai rata - rata rasio (%)

Nilai rata – rata rasio kompresi yang dihasilkan selama pengujian pada citra BMP terhadap keseluruhan wavelet (Daubechies, Haar dan Symlets) yang diujikan yaitu 0,04%. Pada citra JPG didapat rata – rata rasio kompresi untuk Daubechies 75,05%, Haar 76,12% dan Symlets 75,12%.

Selama pengujian dilakukan, aplikasi kompresi citra dapat dinilai kurang sesuai untuk jenis citra BMP sebab hasil kompresi yang didapat sebesar 0,04%, walaupun nilai pada paramater lain (MSE dan PSNR) didapatkan hasil yang baik.

Berdasarkan hasil pengujian diatas, dilakukan perbandingan pada hasil penelitian terdahulu [3]. Perbandingan dilakukan pada jenis DWT yaitu Haar, mengacu pada jenis DWT yang dilakukan pada penelitian terdahulu.

TABEL I
HASIL PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN TERDAHULU

Hasil	MSE	PSNR (dB)	Rasio (%)
Penelitian terdahulu	29,55	38,58	67,15
Penelilan yang dilakukan	1,88	55,23	76,12

Dari hasil perbandingan yang ditampilkan pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa penelitian yang dilakukan memiliki hasil yang meningkat diukur pada parameter penguji yaitu MSE, PSNR dan rasio kompresi.

Kemudian juga dilakukan pengukuran dengan metode HVS (*Human Visual System*) yang menghasilkan total pengujian seperti dibawah ini [14].

TABEL IV
NILAI TERBAIK SELAMA PENGUJIAN

Tipe	Jenis Wavelet											
	Daubechies				Haar				Symlets			
	Lv	MSE	PSNR (dB)	(%)	Lv	MSE	PSNR (dB)	(%)	Lv	MSE	PSNR (dB)	(%)
BMP	1	0,00	81,50	0,19	1	0,01	70,98	0,19	1	0,00	80,82	0,19
JPG	3	0,21	54,91	89,40	3	0,25	54,15	90,38	3	0,21	54,91	89,47

Pada citra tipe BMP didapatkan nilai terbaik dari citra *Case-87.bmp* pada Daubechies dengan MSE 0,00, PSNR 81,50 dB dan rasio 0,19%, pada Haar dengan MSE 0,01, PSNR 70,98 dB dan rasio 0,19%, pada Symlets dengan MSE 0,00, PSNR 80,82 dB dan rasio 0,19%. Selama pengujian citra BMP menghasilkan rasio kompresi yang sama dan hanya mempengaruhi besaran dari MSE dan PSNR, maka nilai terbaik

Keterangan selama pengujian dibagi menjadi 3, diantaranya; “**Terkompres & Jelas**” yang artinya aplikasi berhasil mengkompres citra dan masih jelas terbaca, “**Terkompres & Tidak Jelas**” yang artinya aplikasi berhasil mengkompres citra namun menghasilkan citra yang tidak jelas terbaca, “**Tidak Terkompres**” artinya aplikasi yang dirancang tidak dapat mengkompres citra sebab persentase yang dihasilkan terlalu kecil.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN PADA CITRA BMP

Wavelet	Terkompres & Jelas	Terkompres & Tidak Jelas	Tidak Terkompres
Daubechies	0	0	150
Haar	0	0	150
Symlets	0	0	150
Total	0	0	450
Persentase	0	0	100

Dari hasil pengujian pada Tabel 2 yang dilakukan pada 50 citra BMP dengan total 450 kali pengujian, didapat hasil dengan keterangan “**Tidak Terkompres**” sebanyak 100% pada semua jenis wavelet yang diujikan, hal ini berarti aplikasi yang dirancang tidak sesuai untuk citra jenis BMP.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN PADA CITRA JPG

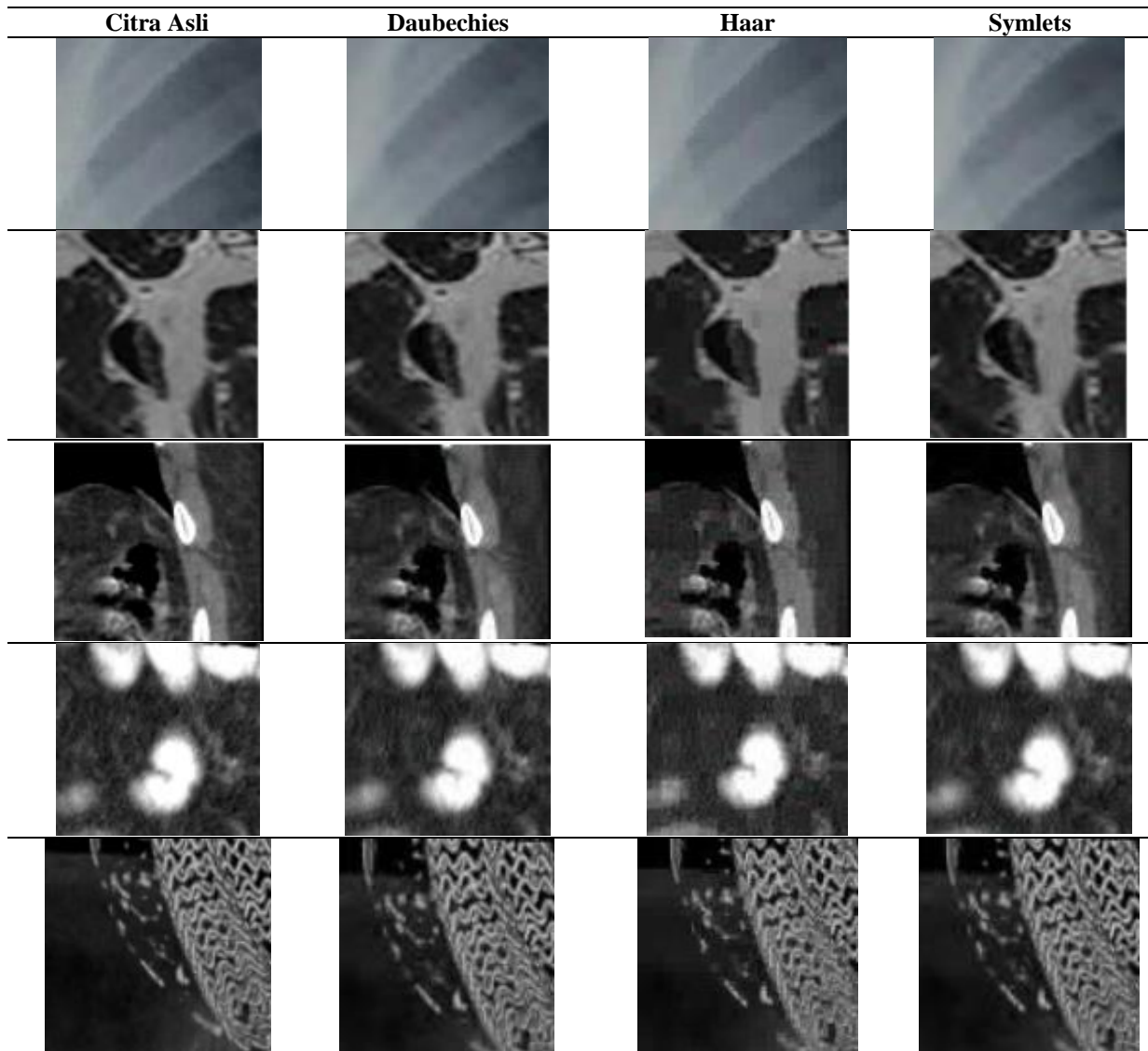
Wavelet	Terkompres & Jelas	Terkompres & Tidak Jelas	Tidak Terkompres
Daubechies	300	0	0
Haar	300	0	0
Symlets	300	0	0
Total	900	0	0
Persentase	100	0	0

Dari hasil pengujian pada Tabel 3 yang dilakukan pada 100 jenis citra JPG dengan total pengujian sebanyak 900 kali, didapatkan hasil 100% pada semua wavelet dengan keterangan “**Terkompres & Jelas**”, berdasarkan hasil pengujian tersebut maka aplikasi yang dirancang sesuai dengan citra jenis JPG sebab menghasilkan citra hasil kompresi yang tetap dapat terbaca dengan jelas.

Adapun nilai terbaik yang didapatkan selama pengujian, ditampilkan pada Tabel 4.

didapat pada level 1 untuk setiap wavelet. Pada citra JPG didapatkan nilai terbaik dari citra *Case-149.jpg* pada Daubechies dengan MSE 0,21, PSNR 54,91 dB dan rasio 89,40%, pada Haar dengan MSE 0,25, PSNR 54,15 dB dan rasio 90,38%, pada Symlets dengan MSE 0,21, PSNR 54,91 dB dan rasio 89,47%.

TABEL V
PERBANDINGAN HASIL CITRA KOMPRESI SETELAH DILAKUKAN ZOOM-IN



Pada Tabel IV menunjukkan perbandingan antara citra asli dengan citra hasil kompresi setelah dilakukan proses *zoom-in* sebanyak 15 kali untuk melihat seberapa besar perubahan data yang terkompresi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan dari total 50 citra BMP yang diuji didapat hasil 100% pada semua jenis wavelet dengan keterangan “Tidak Terkompres”, untuk citra JPG dari total 100 citra didapat hasil dengan keterangan “Terkompres & Jelas” sebesar 100%. Dari hasil pengujian tersebut maka aplikasi yang dirancang tidak sesuai untuk citra jenis BMP.

Nilai rata – rata rasio kompresi pada citra BMP didapatkan nilai 0,04% untuk keseluruhan jenis wavelet yang diujikan. Pada citra JPG didapat rasio kompresi dengan nilai masing – masing yaitu Daubechies 75,05%, Haar 76,12% dan Symlets 75,12%. Dari ketiga jenis wavelet yang diuji, hasil terbaik didapat dari Haar dengan nilai rata – rata MSE 1,76, PSNR 55,23 dB dan rasio kompresi 76,12%.

Implikasi penelitian yang dihasilkan yaitu penggunaan ruang penyimpanan yang lebih efektif pada bidang medis namun

memiliki kualitas citra hasil kompresi yang tidak berbeda jauh dengan kualitas citra tanpa kompresi.

Penelitian ini terbatas pada tipe gambar yang diujikan, aplikasi yang dirancang tidak bekerja pada ekstensi jenis BMP, rencana pengembangan penelitian dibuat aplikasi kompresi yang dapat juga melakukan kompresi pada tipe gambar BMP dengan lebih maksimal.

REFERENSI

- [1] Thirumoorthi and Karthikeyan, “A Study on Discrete Wavelet Transform Compression Algorithm for Medical Images,” *Biomed. Res.*, vol. 28, no. 4, pp. 1574–1580, 2017.
- [2] Sriani, A. Ikhwan, and Yusnidah, “Aplikasi Metode Transformasi Wavelet Diskrit Untuk Kompresi Citra Pada Pengolahan Citra Digital,” *J. SAINTIKOM*, vol. 16, no. 1, pp. 31–40, 2017.
- [3] A. M. Faza, C. Slamet, and D. Nursantika, “Analisis Kinerja Kompresi Citra Digital dengan Komparasi DWT, DCT dan Hybrid (DWT-DCT),” *J. Online Inform.*, vol. 1, no. 1, p. 1, Jun. 2016. DOI: 10.15575/join.v1i1.3.
- [4] “Cases,” *Radiopaedia*. [Online]. Available: <https://radiopaedia.org>.
- [5] L. Novamizanti and A. Kurnia, “Analisis Perbandingan Kompresi Haar Wavelet Transform dengan Embedded Zerotree Wavelet pada Citra,” *J. ELKOMIKA*, vol. 3, no. 2, pp. 161–176, 2016. DOI: 10.26760/elkomika.v3i2.161.
- [6] S. Suma’inna and G. Gumilar, “Implementasi Transformasi Wavelet

- Daubechies pada Kompresi Citra Digital,” *J. Mat. Murni dan Apl.*, vol. 2, no. 4, p. 211, 2013. DOI: 10.18860/ca.v2i4.3117.
- [7] S. Saifullah, S. Sunardi, and A. Yudhana, “Perbandingan Segmentasi Pada Citra Asli Dan Citra Kompresi Wavelet Untuk Identifikasi Telur,” *Ilk. J. Ilm.*, vol. 8, no. 3, p. 190, 2016. DOI: 10.33096/ilkom.v8i3.75.190-196.
- [8] K. Sriani, Triase, “Pendekomposisian Citra Digital dengan Algoritma DWT,” *J. Ilmu Komput. dan Inform.*, vol. 01, no. 01, pp. 35–39, 2017. DOI: 10.30829/algorithm.v1i01.1307.
- [9] I. M. A. D. S. Atmaja, “Kompresi Citra Medis Menggunakan Packet Wavelet Transform Dan Run Length Encoding,” *J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 1, p. 10, 2018. DOI: 10.31940/matrix.v8i1.739.
- [10] Andrian, “Perancangan Perangkat Lunak Kompresi Citra Menggunakan Transformasi Wavelet dan PCA,” *Algoritma. J. Ilmu Komput. Dan Inform.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2019. DOI: 10.30829/algorithm.v3i1.4430.
- [11] S. I. Murpratiwi and I. M. O. Widyantara, “Pemilihan Algoritma Kompresi Optimal untuk Citra Digital Bitmap,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, p. 94, 2018. DOI: 10.24843/MITE.2018.v17i01.P13.
- [12] Suma’inna and D. Alam, “Kompresi Citra Berwarna Menggunakan Transformasi Wavelet,” *J. Mat. Integr.*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2014. DOI: 10.24198/jmi.v10.n1.10185.55-62.
- [13] B. D. Raharja and P. Harsadi, “Implementasi Kompresi Citra Digital Dengan Mengatur Kualitas Citra Digital,” *J. Ilm. SINUS*, vol. 16, no. 2, pp. 71–77, 2018. DOI: 10.30646/sinus.v16i2.363.
- [14] Subinarto and E. Susanto, “Kompresi Citra Medis Menggunakan Metode Kombinasi Singular Value Decomposition (SVD) Dan Discrete Wavelet Transform (DWT) Untuk Meningkatkan Efisiensi Penyimpanan Dan Transmisi,” *J. LINK*, vol. 12, no. 2, pp. 25–30, 2016. DOI: 10.31983/link.v12i2.1386.