

Algoritma Fast Wavelet Transform (FWT) dan Absolute Moment Block Truncation Coding (AMBTC) pada Sistem Watermarking untuk Deteksi dan Recovery Citra Medis Termodifikasi

Dany Dwi Prayoga¹, Adiwijaya², Danang Triantoro³

^{1,2,3} Prodi SI Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

Jalan Telekomunikasi No.1, Dayeuh Kolot, Bandung 40257

danydwiprayoga@gmail.com¹, kang.adiwijaya@gmail.com², dto.lecture@gmail.com³

Abstrak

Seiring perkembangan teknologi dan informasi data digital sudah sangat umum digunakan, khususnya data digital berupa citra. Dibalik manfaat dari penyimpanan data dalam bentuk digital juga terdapat sisi negatifnya yaitu, mudahnya dilakukan modifikasi terhadap data digital tersebut. Terutama citra medis digital sangat diperlukan keaslian datanya karena mengandung informasi penting dari seorang pasien. Sehingga perlu dibuat sebuah sistem untuk menjamin keaslian dari suatu citra medis digital.

Teknik *watermarking* dapat digunakan sebagai solusi dari permasalahan tersebut. Penyisipan ciri khusus atau biasa disebut *watermark* kedalam suatu citra yang dilindungi dapat menjamin keaslian data. Dalam tugas akhir ini akan diimplementasikan teknik *watermarking* menggunakan algoritma *Fast Wavelet Transform* (FWT) dan *Absolute Moment Block Truncation Coding* (AMBTC). AMBTC sendiri merupakan pengembangan dari metode *Block Truncation Coding* (BTC) yang digunakan untuk melakukan ekstraksi ciri.

Dari analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *watermarking* yang telah dibangun dapat menghasilkan kualitas citra ber-*watermark* yang baik yaitu rata-rata PSNR sebesar 60,77 dB. Lokasi terbaik penyisipan 3 bit *watermark* dalam *subband* HL (*High Low*) dan LH (*Low High*) hasil transformasi FWT pada bit ke 16, 17, dan 18. Sistem juga dapat melakukan deteksi dari 2 tipe serangan yang dilakukan *noise* dan *sharpening* serta dapat melakukan perbaikan pada citra ber-*watermark* yang mengalami modifikasi.

Kata kunci : *watermarking*, AMBTC, FWT, citra medis digital.

Abstract

Along with the development of technology and information, digital data is very commonly used especially in the form of image of digital data. Behind the benefit of data storage in digital form there are also negative side, that is easily to modification the digital data. Especially digital medical image are necessary the authenticity of the data because it contains important information from a patient. So that need to build a system for ensure the authenticity of a digital medical image. Watermarking technique can be used for the solutions of these problems .The insertion of special characteristics or commonly called a watermark into an image that protected which can keeping the authenticity of the data. In this final project will implemented the watermarking techniques using algorithm *Fast Wavelet Transform* (FWT) and *Absolute Moment Block Truncation Coding* (AMBTC). AMBTC is a newer method of *Block Truncation Coding* (BTC) that is used to perform the feature extraction.

Analysis of the results show that watermarking system was built can produce a good quality watermarked image with average PSNR 60,77 dB. The best location of the insertion 3 bits watermark on subband HL (*High Low*) and LH (*Low High*) results of FWT transformation in bit 16, 17, and 18. The system can also do the detection of 2 type attacking namely noise and sharpening beside that system can recover modified watermarked image.

Keyword : *watermarking*, AMBTC, FWT, digital medical image.

1. Pendahuluan

Semakin banyaknya penggunaan data digital dipengaruhi oleh pesatnya perkembangan teknologi dan informasi. Terdapat beberapa jenis data digital salah satunya adalah citra digital yang kini mulai digunakan oleh dunia medis. Selain memeberikan manfaat berupa keefesibilitasan dan kemudahan pertukaran data, citra medis juga dapat diberi watermark atau ciri penting untuk memudahkan identifikasi keaslian dari citra medis itu sendiri sehingga informasi penting dalam citra tersebut tidak mudah hilang. Disamping kelebihanannya terdapat juga kekurangan dari citra medis berbentuk digital tersebut. Salah satunya yaitu mudah termodifikasi baik secara sengaja maupun tidak oleh manusia. Penyalahgunaan citra medis tentu berbahaya mengingat informasi yang terkandung didalamnya sangat penting.

Digital image watermarking dapat digunakan untuk mengatasi kekhawatiran dari penyalahgunaan citra medis digital dan membuktikan apakah suatu citra telah dimodifikasi atau tidak karena *watermark* yang digunakan berupa ciri-ciri penting dari citra tersebut. Selain dapat digunakan untuk mendeteksi apakah suatu citra telah mengalami modifikasi atau tidak, *watermark* tersebut juga dapat digunakan untuk memperbaiki citra yang mengalami modifikasi. Sehingga citra yang mengalami modifikasi dapat diperbaiki seperti citra aslinya dan dengan demikian citra yang mengalami modifikasi tersebut menjadi lebih bermakna [1].

Terdapat berbagai macam metode transformasi untuk teknik watermarking salah satunya adalah algoritma Fast Wavelet Transform (FWT) yang digunakan dalam tugas akhir ini. Adapun metode Block Truncation Coding (BTC) sebagai metode untuk mengambil ciri penting dari suatu citra asli, pada tugas akhir ini dipilih pengembangan dari metode BTC yaitu metode Absolute Moment Block Truncation Coding (AMBTC). Ciri penting yang dihasilkan dari AMBTC dijadikan sebagai watermark yang nantinya akan disisipkan pada sebuah citra yang telah ditransformasi menggunakan algoritma FWT.

2. Landasan Teori

2.1 Block Truncation Coding (BTC)

BTC merupakan teknik *block-based image coding* yang hanya memerlukan sedikit memory dan perhitungan yang

yang diusulkan oleh Edward J. Delp dan O. Robert Mitchell di Universitas Purdue [4]. BTC merupakan algoritma kompresi yang bersifat *lossy* dengan menggunakan nilai rata-rata dan standard deviasi begitu juga untuk dekompresinya.

Proses BTC dan AMBTC

BTC merupakan teknik *block-based image coding* yang hanya memerlukan sedikit memory dan perhitungan yang sederhana [2]. Konsep dasar BTC lahir pada Maret 1977 yang diusulkan oleh Edward J. Delp dan O. Robert Mitchell di Universitas Purdue [4]. BTC merupakan algoritma kompresi yang bersifat *lossy* dengan menggunakan nilai rata-rata dan standard deviasi begitu juga untuk dekompresinya.

Langkah-langkah penggunaan BTC dapat dijelaskan sebagai berikut [1]:

1. Membagi citra ke dalam blok-blok kecil berbentuk persegi yang tidak *overlap*. Misalnya blok tersebut berukuran $n \times n$ *pixel*, dimana n bernilai 2, 4 atau 8 (semakin berukuran kecil semakin baik yang berarti semakin tidak menimbulkan *blocky artifact*).
2. Menentukan nilai rata-rata dan standard deviasi dari blok yang berukuran $n \times n$ *pixel* yang digunakan untuk proses kompresi citra atau dikenal dengan proses bit map dan untuk proses dekompresi citra atau rekonstruksi citra atau dikenal dengan istilah reconstruction level.

Misalkan metode BTC digunakan untuk mengkompresi suatu citra yang berukuran 512×512 *pixel* dengan ukuran blok 4×4 *pixel*, hal pertama yang dilakukan adalah mencari nilai rata-rata setiap blok menyatakan nilai rata-rata dari 16 *pixel* dan menyatakan nilai setiap *pixel*, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 2.1. Untuk mendapatkan nilai standard deviasi harus dihitung nilai kuadrat rata-rata seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 2.2. Nilai standard deviasi merupakan akar dari persamaan 2.3.

$$\bar{x} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} x_i \tag{1}$$

$$\bar{x^2} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} x_i^2 \tag{2}$$

sederhana [2]. Konsep dasar BTC lahir pada Maret 1977

$$\sigma^2 = \overline{X^2} - \bar{X}^2 \quad (3)$$

- Menentukan batas ambang untuk mengembalikan nilai *pixel* sebelum proses BTC. Cara pencarian *threshold* dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$p = \frac{1}{q} \sum_{i=0}^{q-1} x_i \quad (4)$$

$$q = \frac{1}{p} \sum_{i=0}^{p-1} x_i \quad (5)$$

Dimana *p* menunjukkan jumlah *pixel* yang bernilai 0 dan *q* jumlah *pixel* yang bernilai 1 pada setiap blok. Pada setiap blok, bit yang bernilai 0 akan diganti dengan nilai hasil perhitungan persamaan 2.4 (*reconstruction level a*) dan bit yang bernilai 1 akan diganti dengan nilai hasil perhitungan persamaan 2.5 (*reconstruction level b*).

Melalui penelitian yang lebih lanjut yang dilakukan oleh ilmuwan, metode BTC mengalami perbaikan. Salah satu metode yang memperbaiki metode BTC dari segi visualisasi citra dari hasil proses dekompresi adalah *Absolute Moment Block Truncation Coding* (AMBTC).

AMBTC merupakan teknik pengembangan dari BTC, yang menggunakan *absolute moment*. Setiap blok dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

[9]:

$$g_1 = (1/q) \sum_{i=0}^{q-1} x_i \quad (6)$$

$$g_2 = (1/p) \sum_{i=0}^{p-1} x_i \quad (7)$$

Persamaan *g1* digunakan untuk mengkonstruksi bit yang bernilai 0, yaitu nilai yang menggantikan nilai dari *reconstruction level a*. Sedangkan persamaan *g2* digunakan untuk mengkonstruksi bit yang bernilai 1, yaitu nilai yang menggantikan nilai dari *reconstruction level b*.

2.2 Transformasi Wavelete

Wavelet pertama kali digunakan dalam analisis dan pemrosesan digital dari sinyal gempa bumi. Penggunaan *wavelet* pada saat ini sudah semakin berkembang dengan munculnya area sains terpisah yang berhubungan dengan

Transformasi *Wavelet* selain mampu memberikan informasi frekuensi yang muncul, juga dapat memberikan informasi tentang skala atau durasi atau waktu. *Wavelet* dapat digunakan untuk menganalisa suatu bentuk gelombang (sinyal) sebagai kombinasi dari waktu (skala) dan frekuensi. Selain itu, perubahan sinyal pada suatu posisi tertentu tidak akan berdampak banyak terhadap sinyal pada posisi-posisi lainnya [3].

Fast Wavelet Transform

Fast Wavelet Transform (FWT) adalah sebuah algoritma matematik yang didesain untuk mengubah sebuah *waveform* atau sinyal dalam domain waktu ke dalam sekuens koefisien. Hal ini dimungkinkan dalam kasus sinyal multidimensi layaknya citra dengan mengaplikasikan transformasi *wavelet* satu dimensi untuk masing-masing baris dan kolom citra masukan [7].

Secara keseluruhan proses FWT mirip dengan DWT namun terdapat persamaan dalam persamaan dekomposisi dan rekonstruksinya. Dengan demikian FWT diharapkan mampu menghasilkan kompleksitas yang lebih baik.

Pada citra *f(x,y)* dengan ukuran *N x M* transformasi *T(u,v, ...)* dapat diekspresikan dengan persamaan berikut [7]:

$$T(u,v, \dots) = \sum_{i,j} f(i,j) \psi_{i,j}(u,v, \dots) \quad (8)$$

analisis *wavelet* dan teori transformasi *wavelet*. Dengan munculnya area sains ini *wavelet* mulai digunakan secara luas dalam filterasi dan pemrosesan data, pengenalan citra, sintesis dan pemrosesan berbagai variasi sinyal, kompresi dan pemrosesan citra, dan lain-lain [5].

Dimana x, y adalah variable dalam domain spasial; $u, v \dots$ adalah variabel domain transformasi; dan \dots adalah *transformasi kernel*. Kernel ini dapat direpresentasikan dalam empat komponen yaitu tiga komponen *wavelet* (horizontal, vertikal, diagonal) [7]:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}(x, y) &= \mathcal{H}_1(x) \mathcal{H}_2(y) \\ \mathcal{V}(x, y) &= \mathcal{V}_1(x) \mathcal{V}_2(y) \\ \mathcal{D}(x, y) &= \mathcal{D}_1(x) \mathcal{D}_2(y) \end{aligned}$$

dan satu *scaling function* sebagai berikut [7]:

$$\mathcal{S}(x, y) = \mathcal{S}_1(x) \mathcal{S}_2(y)$$

dimana H_{i1} dan H_{i2} adalah prodeuk dari fungsi *wavelet* satu dimensi yang mengikuti persamaan berikut [7]:

$$H_{i1} = \sum_n h_{\psi}(n) \sqrt{2^{-i}} (2^{-i} - n) \quad (9)$$

$$H_{i2} = \sum_n h_{\psi}(n) \sqrt{2^{-i}} (2^{-i} + n) \quad (10)$$

dimana h_{ψ} dan h_{ψ} adalah *scaling* dan *wavelet vector* yang merupakan *filter* dari FWT yang masing-masing merupakan *lowpass decomposition filters* dan *highpass decomposition filters* [7].

Decomposition Coefficient Vector

Setelah citra ditransformasi menggunakan fungsi FWT, dihasilkan *Decomposition Coefficient Vector* (DCV) dari citra. DCV ini mengandung komponen koefisien dekomposisi baik *approximation*, *horizontal*, *vertical*, maupun *diagonal detail* dalam sebuah struktur data yang direpresentasikan dalam bentuk {C, S}. C adalah *transformasi coefficient vector* dari citra sedangkan S merupakan *bookkeeping matrix* yang mendefinisikan susunan dari koefisien yang ada dalam C. Bentuk representasi vektor C adalah sebagai berikut [7]:

$C = [C_1(:)', C_2(:)', \dots, C_N(:)']$ Dimana C_i adalah *approximation coefficient matrix* dari level dekomposisi ke N dan C_i untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N$ masing-masing merupakan matriks koefisien horizontal, vertikal, dan diagonal dari transformasi. Dalam hal ini, $C_1(:)'$ sebagai contoh, merupakan vektor yang dibentuk dengan mentranspose konkatenasi vektor C_1 dengan kolom yang berurutan [7].

$$H_1 = \begin{bmatrix} 3 & -2 \\ 1 & 6 \end{bmatrix}$$

$$H_1(:) = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ -2 \\ 6 \end{bmatrix}$$

$$C_1(:)' = [3 \quad 1 \quad -2 \quad 6]$$

Matriks S, merupakan *bookkeeping matrix* dari matriks C yang berisi susunan dari koefisien yang berada dalam matriks C. Representasi matriks S adalah sebagai berikut [7]:

$$S = [S_1; S_2; \dots; S_{N-1}; \dots; S_N; S_{N+1}; \dots; S_{2N}]$$

dimana S_1, S_2, \dots, S_N merupakan matriks berukuran 1×2 yang berisi dimensi horizontal dan vertical dari masing-masing komponen matriks. S_i merupakan ukuran $1 \times N$ dan S_{N+i} merupakan ukuran dimensi $1 \times N$ untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N$ citra [7].

2.3 Proses Penyisipan Watermark

Proses penyisipan *watermark* dilakukan dengan cara mengubah koefisien-koefisien subband HL dan LH dari hasil proses transformasi FWT. Langkah-langkah proses penyisipan yang akan digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Melakukan transformasi FWT sebanyak 2 level dan menggunakan *mother wavelet haar* terhadap suatu citra sehingga diperoleh empat subband, yaitu LL, HL, LH, dan HH. Tempat penyisipan watermark terletak pada subband HL dan LH pada level 2.
2. Setiap koefisien subband HL dan LH dilakukan proses binary. Setelah subband HL dan LH berbentuk biner, proses selanjutnya adalah mengubah tiga bit dari koefisien tersebut dengan nilai nol.

Watermark yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah ciri penting dari proses AMBTC. Ciri penting tersebut disipkan ke tiga bit biner subband HL dan LH dengan key 1 dan key 2.

2.4 Proses Ekstraksi Watermark

Ekstraksi watermark dan citra hasil ekstraksi dari citra ber-watermark yang diperoleh dari proses *watermarking* terlebih dahulu dikenai proses FWT. Dari proses FWT tersebut diperoleh empat subband, yaitu LL, HL, LH, dan HH. Watermark diperoleh dari tiga bit subband HL dan LH dengan menggunakan key1 dan key2.

2.5 Pendeteksian Citra Ber-watermark yang Mengalami Modifikasi

Tahap deteksi citra berwatermark untuk mengetahui citra tersebut mengalami modifikasi maupun tidak yaitu dengan cara membandingkan dua buah citra ciri. Citra ciri

yang pertama diperoleh dari hasil ekstraksi *watermark* dan citra ciri kedua diperoleh dari hasil ekstraksi citra asli hasil proses AMBTC. Untuk proses pendeteksiannya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dari citra ber-*watermark* dilakukan proses ekstraksi kemudian diperoleh *watermark* dan citra hasil ekstraksi. *Watermark* hasil ekstraksi tersebut dilakukan proses *reverse* AMBTC dan dibentuk menjadi citra ciri 1 kemudian diperbesar dua kali lipat disesuaikan dengan ukuran citra asli.
2. Citra hasil ekstraksi diduplikasi kemudian ukurannya diperkecil menjadi setengah dari ukuran sebenarnya. Setelah itu, dilakukan proses AMBTC pada citra hasil duplikasi tersebut dan langsung dilakukan *reverse* AMBTC yang menghasilkan citra ciri 2. Ukuran citra ciri 2 kemudian diperbesar menjadi dua kali lipat disesuaikan dengan ukuran citra asli.

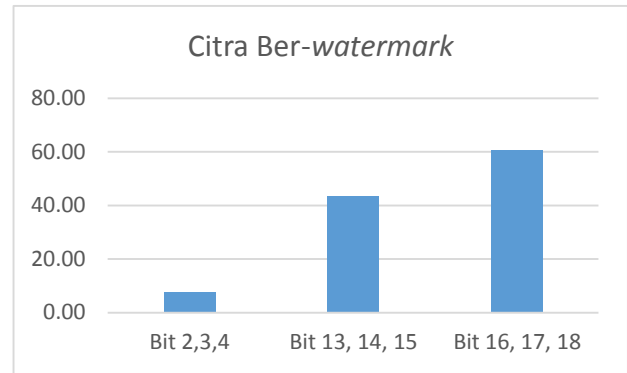
Citra ciri 1 dan citra ciri 2 kemudian dibandingkan nilai tiap *pixel*-nya, jika tidak terdapat perbedaan berarti citra tersebut tidak mengalami modifikasi, sedangkan jika terdapat perbedaan, berarti citra tersebut telah dimodifikasi.

3. Analisis Hasil Pengujian

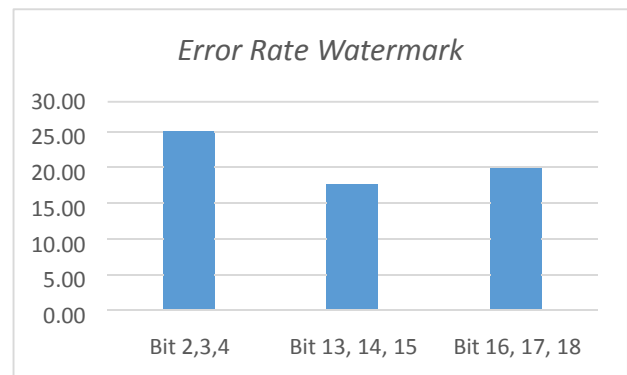
Pada pengujian sistem citra asli (*citra host*) yang digunakan adalah 16 buah citra medis berukuran 512x512 *pixel* dengan kedalaman warna 8 bit (*greyscale*) dengan format *bitmap* (*.*bmp*). Sedangkan citra *watermark* yang digunakan adalah hasil dari ekstraksi ciri citra asli dengan ukuran 256x256 *pixel* dengan format *bitmap* dan kedalaman warna 8 bit.

3.1 Analisis Lokasi Penyisipan Watermark

Hasil rata-rata performansi terbaik dari ekstraksi *watermark* didapat dari penyisipan bit ke 13, 14, dan 15 namun PSNR citra ber-*watermark* yang didapat rata-ratanya masih dibawah 50 yaitu sekitar 43.49. Oleh karena itu dilakukan pengujian sekali lagi penyisipan pada bit ke 16, 17, dan 18 didapatkan hasil citra ber-*watermark* dibandingkan dengan citra asli PSNR nya sebesar 60.77. Sehingga dipilih penyisipan pada bit ke 16, 17, dan 18 untuk dilanjutkan pada sistem selanjutnya.



Gambar 1 Performansi Citra Ber-watermark



Gambar 2 Error Rate Watermark Hasil Ekstraksi

3.2 Analisis Hasil Penyisipan Watermark

hasil pengujian untuk penyisipan pada bit ke 16, 17 dan 18 bahwa rata-rata nilai PSNR dari citra ber-*watermark* adalah 60.77 dB, *Error Rate* 3.62 % dan waktu eksekusinya 14.36 detik. Dengan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa kualitas citra ber-*watermark* cukup bagus dan *Error Rate*-nya terhitung kecil, sedangkan untuk waktu eksekusinya berkisar pada 14 detik dalam dimana pada saat penyisipan terjadi proses tranformasi FWT dan *inverse* FWT.

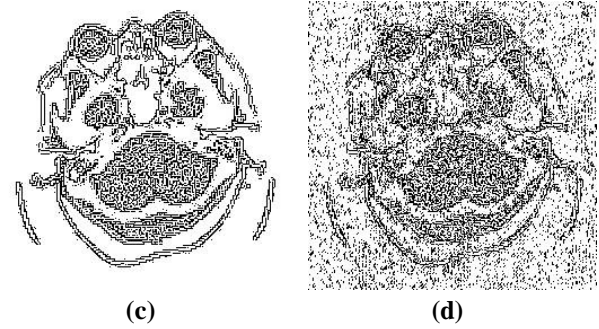
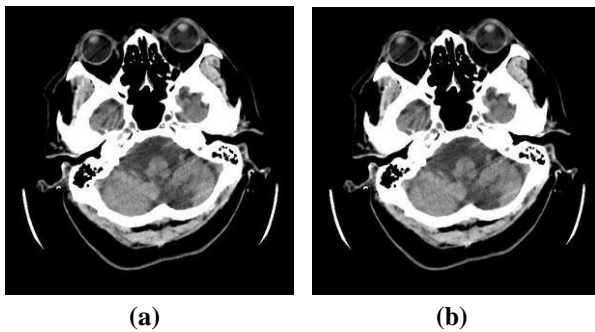
Tabel 1 Kualitas Citra Ber-watermark

No	Citra Uji	Penyisipan		
		PSNR (dB)	Error Rate (%)	Time (s)
1	ct-1.bmp	51.85	10.51	14.28
2	ct-2.bmp	53.51	11.26	14.31
3	dada-1.bmp	62.28	2.36	14.41

4	dada-2.bmp	62.85	2.66	14.50
5	kaki-1.bmp	59.04	4.03	14.27
6	kaki-2.bmp	61.74	2.41	14.26
7	kepala-1.bmp	62.71	1.99	14.34
8	kepala-2.bmp	60.42	3.23	14.31
9	leher-1.bmp	62.3	2.67	14.32
10	leher-2.bmp	62.39	2.67	14.37
11	pinggul-1.bmp	59.88	2.59	14.45
12	pinggul-2.bmp	65.37	0.88	14.42
13	tangan-1.bmp	60.85	3.13	14.23
14	tangan-2.bmp	60.83	2.68	14.41
15	thorax-1.bmp	61.96	3.25	14.45
16	thorax-2.bmp	64.37	1.63	14.36
Rata - Rata		60.77	3.62	14.36

3.3 Analisis Reversibility Sistem Watermarking

Hasil ekstraksi watermark hasil perbandingan antara watermark sebelum disisipkan dan setelah di ekstraksi atau disebut hasil ekstraksi ciri PSNR 7.18 dB, Error Rate 19.38 % dan waktu eksekusinya 7.67 detik sedangkan untuk ekstraksi citra pada pengujian satu hasil PSNR-nya 57.63 dB, Error Rate 5.09 % dan waktu eksekusinya 15.56 detik. Dengan hasil tersebut untuk performansi watermark terekstrak terbilang kecil namun hasil ekstraksi citra bisa dikatakan baik. Waktu eksekusi ekstraksi watermark hanya setengah kali ekstraksi citra hal tersebut dikarenakan saat proses ekstraksi watermark hanya melakukan proses transformasi tanpa inverse untuk mengambil watermark-nya, sementara itu ekstraksi citra perlu dilakukan proses inverse untuk mendapatkan citra dalam domain spasial.



Gambar 3 Hasil Ekstraksi Citra dan Watermark : (a) Citra Uji, (b) Citra Hasil Ekstraksi, (c) Watermark Asli, (d) Watermark Setelah di Ekstrak

3.4 Analisis Hasil Pendeteksian Modifikasi

Pada tahap ini dilakukan pengujian dilakukan dengan melakukan modifikasi yang bersifat menyeluruh noise dan sharpening.

Tabel 2 Hasil Deteksi Modifikasi Noise

No	Citra Uji	Performansi Deteksi		
		Parameter Noise		
		0.001	0.01	0.1
		Error Rate (%)	Error Rate (%)	Error Rate (%)
1	ct-1.bmp	10.64	10.99	16.02
2	ct-2.bmp	11.49	11.92	17.07
3	dada-1.bmp	2.46	3.40	12.18
4	dada-2.bmp	2.60	3.52	11.86
5	kaki-1.bmp	4.19	4.88	11.23
6	kaki-2.bmp	2.59	3.22	10.09
7	kepala-1.bmp	2.20	2.72	9.57
8	kepala-2.bmp	3.40	4.07	11.34
9	leher-1.bmp	2.82	3.47	11.10
10	leher-2.bmp	2.78	3.61	11.66
11	pinggul-1.bmp	2.72	3.46	12.08
12	pinggul-2.bmp	1.07	1.93	10.39
13	tangan-1	3.06	3.75	9.81
14	tangan-2	2.69	3.58	11.62
15	thorax-1	3.40	4.15	12.56
16	thorax-2	1.61	2.48	10.25

Tabel 3 Hasil Deteksi Modifikasi Sharpening

No	Citra Uji	Performansi Deteksi		
		Parameter Sharpening		
		0.1	0.5	0.9
		Error Rate (%)	Error Rate (%)	Error Rate (%)
1	ct-1.bmp	30.37	30.26	30.27
2	ct-2.bmp	38.02	37.89	37.84
3	dada-1.bmp	64.91	62.06	61.21
4	dada-2.bmp	80.24	77.57	76.69
5	kaki-1.bmp	48.72	47.81	47.38
6	kaki-2.bmp	51.50	49.39	48.71
7	kepala-1.bmp	48.61	47.65	47.20
8	kepala-2.bmp	64.50	63.43	62.86
9	leher-1.bmp	73.38	72.27	71.63
10	leher-2.bmp	74.57	72.42	71.60
11	pinggul-1.bmp	89.28	87.44	86.40
12	pinggul-2.bmp	75.70	72.02	71.23
13	tangan-1	42.03	40.72	40.38
14	tangan-2	71.04	67.85	66.79
15	thorax-1	85.94	84.18	83.13
16	thorax-2	67.57	64.32	63.24

3.5 Analisis Hasil Perbaikan Citra Termodifikasi

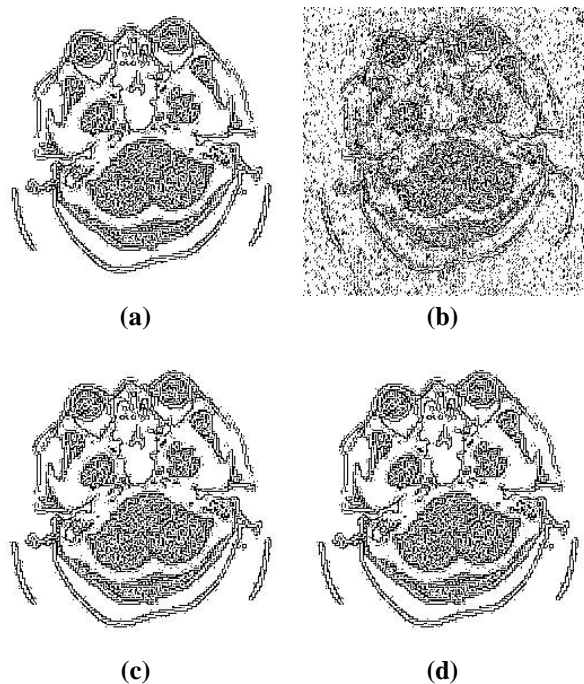
Setelah melakukan modifikasi pada citra ber-watermark dan kemudian dilanjutkan dengan deteksi modifikasi. Sistem yang dibangun akan memperbaiki citra yang terdeteksi telah mengalami modifikasi tersebut.

Hasil perbaikan yang baik adalah PSNR citra perbaikan lebih besar dari citra ber-watermark yang dimodifikasi. Oleh karena itu dilakukan pengujian dengan parameter *alpha* sampai 0.1 hingga didapatkan hasil PSNR citra perbaikan lebih besar dari citra termodifikasi. Terbukti dengan PSNR rata-rata citra hasil perbaikan 14.66 dB sedangkan citra ber-watermark termodifikasi PSNR nya lebih kecil yaitu 14.24.

Untuk analisis perbaikan modifikasi dari *sharpening* hasil diberikan buruk untuk semua parameter yang diujikan, rata-rata PSNR hasil perbaikan sama dikarenakan pada proses deteksi hasilnya naik namun tidak signifikan.

3.6 Perbandingan Menggunakan Metode IWT

Integer Wavelet Transform (IWT) adalah salah satu metode transformasi yang masih dalam keluarga *wavelet*. Hasil transformasi IWT berupa bilangan bulat bukan *floating point* seperti yang dihasilkan oleh FWT. Pada skenario ini pengujian dilakukan dengan mengganti metode transformasi FWT dengan IWT pada sistem yang telah dibangun. Untuk lokasi penyisipan menggunakan metode IWT dilakukan pada 3 bit terakhir.



Gambar 4 Perbandingan Metode FWT dan IWT : (a) Watermark FWT, (b) Watermark Hasil Ekstraksi FWT, (c) Watermark IWT, (d) Watermark Hasil Ekstraksi IWT

Berdasarkan hasil perbandingan citra ber-watermark antara menggunakan metode FWT dan IWT menghasilkan rata-rata PSNR untuk FWT pada setiap citra uji sebesar 60.77 sedangkan untuk IWT 45.32. Dapat diambil kesimpulan kualitas citra ber-watermark menggunakan metode FWT menghasilkan PSNR yang lebih besar. Sedangkan untuk hasil ekstraksi watermark, *Error Rate* yang dihasilkan menggunakan metode IWT adalah 0 untuk semua pengujian. Sedangkan untuk metode FWT menghasilkan hasil rata-rata *Error Rate* 19.38 %, menunjukkan IWT tidak menghilangkan informasi watermark saat proses transformasi dan *inverse*.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Sistem watermarking menggunakan metode FWT sangat dipengaruhi lokasi penyisipan bit, lokasi bit terbaik untuk disipi yaitu pada 16, 17, dan 18.
2. Sistem watermarking yang dibangun dapat menghaikan citra ber-watermark dengan kualitas yang tinggi dibuktikan dengan rata-rata PSNR sebesar 60.77 dB.
3. Sistem watermarking yang dibangun sudah tidak layak untuk dilanjutkan pada proses deteksi dan perbaikan, karena citra ber-watermark tanpa diserang terdeteksi mengalami kerusakan.
4. Proses perbaikan dikatakan berhasil jika performansi citra hasil perbaikan lebih besar dari citra temodifikasi yaitu saat menggunakan serangan noise dengan parameter sebesar 0.1, PSNR citra termodifikasi sebesar 14.24 dB dan PSNR hasil perbaikan sebesar 14.66 dB.

4.2 Saran

1. Disarankan untuk menggunakan metode transformasi selain metode *wavelet* konvensional yang menghasilkan bilangan *floating point* untuk sistem watermarking dengan ekstraksi ciri AMBTC.
2. Disarankan untuk mencoba menggunakan citra uji yang memiliki resolusi yang lebih besar dan format selain *bitmap* (*.bmp).

Daftar Pustaka

- [1] Agustina, R., Adiwijaya, dan Barmawi, A.M. 2010. *Pendeteksian dan Perbaikan Citra Termanipulasi yang Disisipi Watermark Menggunakan Block Truncation Coding (BTC) Berbasis Wavelet*. Jurnal PP Telekomunikasi, vol 15 No. 2, Juni 2011.
- [2] C.W. Chao, C.H. Hsieh, P.C. Lu, T.A. Cheng. 1996. *Modified Block Truncation Coding for Image Compression*. Journal Pattern Recognition Letters vol. 17 Issue 14 pp. 1499 – 1506.
- [3] D. Putra. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Andi: Yogyakarta.
- [4] E. J. Delp and O. R. Mitchell. *Image Compression Using Block Truncation Coding*. IEEE Transactions on Communications vol. 27 no. 9 September 1979 pp. 1335-1341.
- [5] Kurniawan, Joko. 2014. *Implementasi Discrete Wavelet Transform untuk Penyisipan Gambar pada Gambar*. Medan : STMIK Budi Darma
- [6] Mallat, S. 1998. *A wavelet tour of signal processing*. Academic Press: San Diego, CA.
- [7] Mubarok, Abdulloh A, Tjokorda Agung B.W. 2013. *Implementasi dan Analisis Optical Character Recognition (OCR) dengan Metode Fast Wavelet Transform dan Hierarchical Classification*. Bandung : Universitas Telkom.
- [8] Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung : Informatika.
- [9] M. Shandilya, R. Shandilya. 2003. *Implementation of Absolute Moment Block Truncation Coding Scheme Based on Mean Square Error Criterion*. Proceeding of the SDR 03 Technical Conference and Product Exposition, 2003.
- [10] N. M. Tuakia, Suprpto, N. Yudistira. 2013. *Implementasi Watermarking Pada Citra Medis Menggunakan Metode Discrete Wavelet Transform (DWT)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [11] H. K. Wu, Jeffery, et al. 2008. *Tamper Detection and Recovery for Medical Images Using Near-lossless Information Hiding Technique*. Journal I of Digital Imaging, Vol 21 , No 1 (March), 2008: pp 59 Y76.
- [12] Muarif, I., Adiwijaya, dan Tjokorda Agung B.W. 2012. *Pendeteksian dan Perbaikan Citra Medis Termanipulasi yang Telah Disisipi Watermark Menggunakan Absolute Moment Block Truncation Coding (AMBTC) dan Prediction-Error Expansion (PEE)*. Bandung : Universitas Telkom.
- [13] Gonzales, R.C. Woods, R.E., Eddins, S.L., 2009. *Digital Image processing using MATLAB. United States: Gatemark Publishing*.
- [14] Karyati, C. M., Widiyanto, S., Muslim, A. 2013. *Analisis Pengolahan Citra Medis*. Depok : Universitas Gunadarma.