

IMPLEMENTASI METODE *DISCRETE WAVELET TRANSFORM* (DWT) PADA *WATERMARKING* CITRA DIGITAL KEASLIAN KARYA BERBASIS *WEB*

Maulidia Utami¹, Tedy Rismawan², Uray Ristian³

^{1,2,3}Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
Jalan Prof Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak Telp./Fax. : (0561) 577963
e-mail: ¹maulidiautami@student.untan.ac.id, ²tedyrismawan@siskom.untan.ac.id,
³eristian@siskom.untan.ac.id

ABSTRAK

Watermarking merupakan teknik penyisipan informasi ke dalam data digital seperti citra, audio dan video. Informasi yang akan disisipkan harus dapat diperoleh kembali meskipun data digital telah diproses, disalin, atau didistribusikan. Sebagian dari metode *watermarking* bertujuan untuk melindungi hak cipta dari pemakaian yang tidak seharusnya. Untuk itu diperlukan suatu aplikasi *digital watermarking* untuk menyisipkan label hak cipta ke dalam hasil karya digital. Aplikasi sistem *watermarking* ini dibangun berbasis web dengan menggunakan metode *haar wavelet*. *Haar wavelet* merupakan salah satu teknik pemrosesan sinyal digital yang merupakan turunan dari metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Pengujian *watermarking* menggunakan 10 data citra asli dengan hasil yang bervariasi. Ukuran citra asli yang digunakan adalah 512x512 piksel dan logo 256x256 piksel. *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) digunakan untuk mengukur kualitas citra. Hasil nilai PSNR terbaik sebesar 17,873 db. Adapun nilai rata-rata dari 10 data citra yang diuji yaitu 13-17 db. Hasil akhir dari penelitian ini adalah citra yang sudah ber-*watermark* dapat tersamarkan secara visual pada citra.

Kata kunci: Citra, *Watermarking*, *Discrete Wavelet Transform*, *Haar Wavelet Transform*, PSNR

1 PENDAHULUAN

Watermarking merupakan teknik penyisipan (*embedding*) informasi ke dalam data digital seperti citra, audio dan video. Informasi yang akan disisipkan harus dapat diperoleh kembali meskipun data digital telah diproses, disalin, atau didistribusikan. Informasi yang akan disisipkan ke dalam data digital dinamakan tanda air digital (*digital watermark*), sedangkan data digital yang disisipi tanda air digital dinamakan data asli (*host data*). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode yang dapat menyisipkan informasi ke dalam citra. Salah satu metode untuk teknik penyisipan informasi ke dalam citra adalah *Discrete Wavelet Transform* (DWT) [1].

Sebagian dari metode *watermarking* bertujuan untuk melindungi hak cipta dari pemakaian yang tidak seharusnya. DWT merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam teknik *blind watermarking* maupun *non-blind watermarking* pada domain *transform*. *Watermarking* yang berbasis *wavelet* adalah pendekatan yang

populer karena kekuatannya melawan *malicious attack* (modifikasi citra ber-*watermark*). *Haar wavelet* merupakan salah satu teknik pemrosesan sinyal digital yang merupakan anak dari metode DWT [2]. Teknik ini merupakan salah satu yang sedang berkembang di masyarakat dikarenakan teknik ini lebih mudah diaplikasikan dan hasilnya lebih bagus dibandingkan teknik pemrosesan lainnya. Proses *haar wavelet* merupakan konsep yang sederhana, dalam hal ini citra yang ditransformasi didekomposisi terlebih dahulu menjadi *sub-sub* citra sesuai dengan level transformasi yang diinginkan [2]. Pengolahan citra digital dalam bidang dekomposisi citra berbasis transformasi *wavelet* didasari bahwa koefisien-koefisien hasil proses transformasi *wavelet* bertujuan meminimalkan kebutuhan memori dalam merepresentasikan citra digital.

Terkait dengan penggunaan *watermarking* maka terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan seperti yang berjudul “Aplikasi *Digital Watermarking* pada Citra Menggunakan 2D *Haar Wavelet Transformation* (2D-HWT) dan *Least*

Significant Bit (LSB)” [3]. Penelitian ini melakukan implementasi metode DWT dalam 2 level *haar wavelet*, *watermark* yang digunakan berupa citra RGB dan disisipkan secara *invisible*. Pada penelitian berikutnya berjudul “Penerapan Teknik *Watermarking* Metode DWT (Discrete *Wavelet Transform*) pada Citra Digital” penelitian tersebut menggunakan metode DWT, melakukan pengujian kualitas serta menguji ketahanan citra dokumen digital terhadap *standard malicious attack* [4]. Selanjutnya, penelitian yang berjudul “*Watermarking* Citra Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* dan *Error Detection Correction* Pada MATLAB”. Penelitian ini melakukan penyisipan dengan menggunakan DWT *wavelet* *dabauchies* dan meningkatkan citra *watermark* dengan menggunakan *error detection and correcting* penerapan yang dilakukan menggunakan simulasi MATLAB [5].

Berdasarkan penelitian yang telah dipaparkan, maka dibuat suatu sistem *watermarking* yang berjudul “*Implementasi Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) pada Watermarking Citra Digital Keaslian Karya Berbasis Web*”. Diharapkan penelitian ini dapat mengamankan data citra pemilik sebagai hak cipta dan terhindar dari pembajakan karya asli citra digital.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Citra Digital

Citra adalah suatu representasi (citraan), kemiripan, atau imitasi dari suatu objek. Citra terbagi dua yaitu citra yang bersifat analog dan ada citra yang bersifat digital. Citra analog adalah citra yang bersifat *continue* seperti citra pada monitor televisi, citra sinar X, dan lain-lain. Sedangkan pada citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer [6]. Pada penelitian ini digunakan citra digital sebagai media gambar yang disisipkan *watermarking*. Contoh citra digital dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Citra Digital
Sumber: [1]

2.2 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) digunakan unruk mengukur kualitas citra. PSNR biasanya diukur dalam satuan desibel (dB) [1]. Untuk menghitung PSNR, terlebih dahulu harus menghitung nilai *Mean Squared Error (MSE)* dari suatu citra hasil rekonstruksi. Semakin besar parameter PSNR berarti semakin mirip dengan citra asli, sedangkan nilai MSE akan semakin kecil. Rumus dari MSE terdapat pada Persamaan 1:

$$MSE = \frac{\sum [F(i,j) - f(i,j)]^2}{N^2} \quad (1)$$

Keterangan:

N^2 = hasil perkalian panjang dan lebar dalam piksel.

$F(i, j)$ = citra asal.

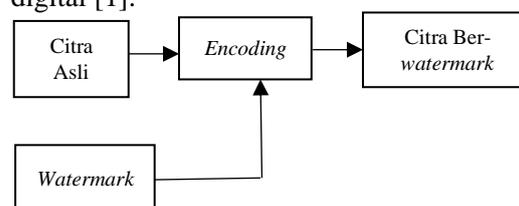
$f(i, j)$ = citra hasil rekontruksi.

Berdasarkan persamaan MSE tersebut, maka nilai PSNR dapat dihitung. Nilai 255 pada Persamaan 2 dibawah ini merupakan batas atas dari sebuah piksel.

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

2.3 Digital Image Watermarking

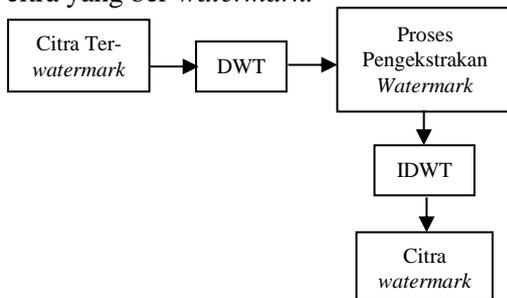
Pada *watermarking* proses penyisipan *watermark* ke dalam citra digital disebut *encoding*. *Encoding* menerima masukan berupa citra, *watermark*. Setelah proses *encoding* didapatkanlah citra yang ber*watermark*. Gambar 2 adalah suatu blok diagram dari proses penyisipan *watermark* pada citra digital [1].



Gambar 2 Proses Penyisipan *Watermark*
Sumber: [1]

Pada proses *watermarking*, selain *encoding* juga terdapat istilah *decoding*. *Decoding* itu sendiri adalah proses ekstraksi dari citra yang ber*watermark* yang bertujuan untuk mendapatkan kembali citra digital asli dan *watermark* yang sebelumnya disisipi pada citra yang ber*watermark* [1]. Pada

dasarnya proses ekstraksi adalah membandingkan citra digital asli dengan citra berwatermark untuk mendapatkan watermark yang disisipkan. Sedangkan untuk ketahanan terhadap proses-proses pengolahan lainnya, itu tergantung terhadap metode-metode yang digunakan dalam pembentukan watermarking. Gambar 3 adalah citra atau algoritma ekstraksi pada citra yang ber-watermark.



Gambar 3 Proses Ekstraksi Watermark

2.4 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Transformasi wavelet adalah sebuah transformasi matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak. Sinyal bergerak ini dianalisis untuk di dapatkan informasi spektrum frekuensi dan waktunya secara bersamaan. Salah satu seri pengembangan transformasi wavelet adalah DWT (*Discrete Wavelet Transform*) [7]. Berikut adalah citra gelombang dan gelombang wavelet ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Perbedaan bentuk Wavelet (a) dan Wave (gelombang) (b)

DWT secara umum merupakan dekomposisi citra pada frekuensi subband citra tersebut. Komponen subband transformasi wavelet dihasilkan dengan cara penurunan level dekomposisi. Implementasi DWT dapat dilakukan dengan cara melewati sinyal melalui sebuah low pass filter dan high pass filter. Filterisasi sendiri merupakan sebuah fungsi yang digunakan dalam pemrosesan sinyal [9]. Dekomposisi perataan (averages) dan pengurangan (differences) memegang peranan penting untuk memahami transformasi wavelet, perataan

dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata 2 pasang data dengan Persamaan 3.

$$p = \frac{x + y}{2} \quad (3)$$

Keterangan:

- p = piksel pada citra digital.
- x = angka pertama pada desimal yang didapatkan.
- y = angka kedua pada desimal yang didapatkan.

Sedangkan pengurangan di lakukan dengan Persamaan 4 berikut ini:

$$p = \frac{x - y}{2} \quad (4)$$

Proses dekomposisi dilakukan hanya 1 kali (1 level) saja. Proses dekomposisi dilakukan pada bagian hasil proses perataan. Hasil proses dekomposisi adalah gabungan dari hasil proses perataan dengan seluruh hasil proses pengurangan piksel citra [1]. Pada proses dekomposisi dilakukan dalam 2 tahap, yaitu tahap pertama proses dekomposisi dilakukan pada seluruh baris, kemudian tahap kedua pada citra hasil tahap pertama dilakukan proses dekomposisi dalam arah kolom [1].

Pembagian sinyal menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dalam proses filterisasi high pass filter dan low pass filter disebut sebagai dekomposisi [11]. Proses dekomposisi dimulai dengan melewati sinyal asal melewati high pass filter dan low pass filter.

Proses dekomposisi ini dapat melalui satu atau lebih tingkatan. Dekomposisi satu tingkat ditulis dengan ekspresi matematika pada Persamaan 5 dan 6:

$$y_{tinggi}[k] = \sum_n x[n]h[2k = n] \quad (5)$$

$$y_{rendah}[k] = \sum_n x[n]g[2k = n] \quad (6)$$

Keterangan:

- $y_{tinggi}[k]$ = hasil dari high pass filter.
- $y_{rendah}[k]$ = hasil dari low pass filter.
- $x[n]$ = sinyal asal.
- $h[n]$ = high pass filter.
- $g[n]$ = low pass filter.

Pada citra diatas, $y_{tinggi}[k]$ merupakan detil dari informasi sinyal, sedangkan $y_{rendah}[k]$ merupakan taksiran kasar dari fungsi penskalaan. Dengan

menggunakan koefisien DWT ini maka dapat dilakukan proses *Inverse Discrete Wavelet transform* (IDWT) untuk merekonstruksi menjadi sinyal asal, di tunjukkan pada Persamaan 7.

$$X[n] = k (y \text{ tinggi } [k] h[-n + 2k] + y \text{ rendah } [k] g[-n + 2k]) \quad (7)$$

Proses rekontruksi merupakan kebalikan dari proses dekomposisi sesuai dengan tingkatan pada proses dekomposisi. Untuk mendapatkan hasil rekonstruksi setelah di dekomposisi maka langkah awal proses rekonstruksi diawali dengan menggabungkan koefisien DWT dari yang berada pada akhir dekomposisi dengan sebelumnya melalui *high pass filter* dan *low pass filter*.

2.5 Least Significant Bit (LSB)

Penyembunyian data dilakukan dengan mengganti bit-bit data yang tidak terlalu berpengaruh di dalam segmen citra dengan bitbit data rahasia. Bit yang cocok untuk diganti adalah bit LSB, sebab perubahan tersebut hanya mengubah nilai *byte* satu lebih tinggi atau satu lebih rendah dari nilai sebelumnya. Misalkan *byte* tersebut menyatakan warna merah, maka perubahan satu bit LSB tidak mengubah warna merah tersebut secara berarti [13].

Cara kerja metode LSB dalam mengganti bit-bit data dilakukan dengan penambahan bitbit pesan rahasia, seperti contoh dibawah ini:

```

01110010 10110010 10100011 10101111
      ↓
01110010 10110011 10100011 10101111
    
```

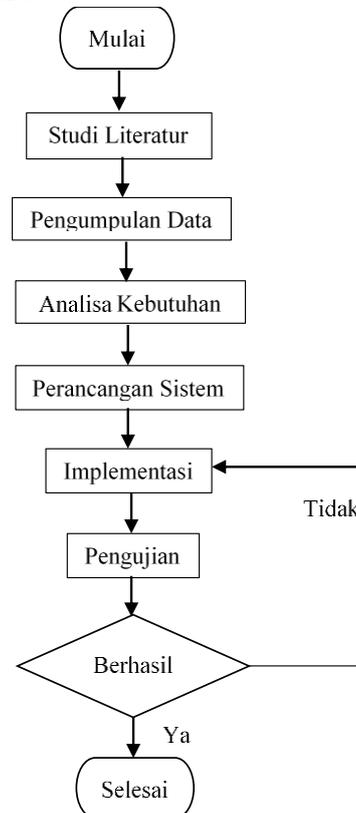
Misalkan pesan rahasia telah dikonversikan kedalam bilangan biner dan hasilnya adalah 0111. Maka setiap bit dari pesan rahasia akan menggantikan posisi bit terakhir dari segmen piksel-piksel citra. Penyisipan pesan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu penyisipan secara sekuensial dan secara acak. Penyisipan secara sekuensial pesan tersebut disisipkan dengan utuh sehingga timbul pola teratur disisipkan dengan utuh sehingga timbul pola teratur pada bagian citra yang telah disisipkan. Penyisipan secara acak pesan tersebut disisipkan

dengan menyebarkan bit-bit karakter ke seluruh citra [10].

3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah logo dan citra digital berupa keaslian karya seperti foto, desain, dll. Logo yang digunakan adalah logo yang sudah disiapkan sendiri oleh *user*, nantinya akan diunggah ke dalam sistem *watermarking*.

3.3 Perancangan Sistem

Pada tahap ini sistem akan dibangun menggunakan diagram alir atau *flowchart* pada rancangan perangkat lunak. Pada perancangan *database* akan menggunakan *Data Flow Diagram* (DFD), *Entity Relationship Diagram* (ERD), dan perancangan tabel *database*. Pada perancangan antarmuka akan dibuat dengan *balsamiq mockups 3*.

3.4 Implementasi

Pada tahap ini sistem yang dirancang akan dibangun berdasarkan perancangan yang ada. Adapun tahapan implementasi antara lain pembuatan aplikasi *back end* menggunakan PHP, implementasi metode, pembuatan *database*, dan pembuatan antarmuka *website*.

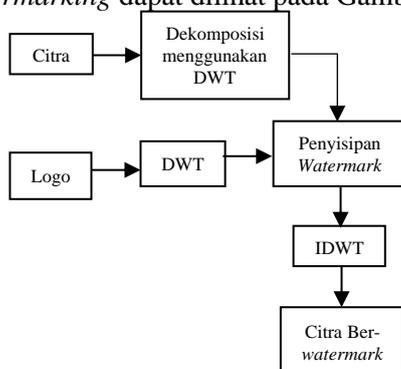
3.5 Pengujian

Pada tahap pengujian, sistem akan diuji menggunakan pengujian *black box* dan pengujian algoritma *haar wavelet*. Pengujian *black box* dilakukan berdasarkan kegunaan dari aplikasi, dengan cara menguji antara masukan dan keluaran apakah sesuai dengan yang diharapkan, baik tampilan aplikasi, dan fungsi-fungsi yang ada pada aplikasi. Sedangkan pengujian algoritma *haar wavelet* dilakukan dengan cara membandingkan perhitungan yang dilakukan oleh sistem dengan data citra asli dan citra *watermark*. Hasil pengujian perhitungan diukur menggunakan PSNR untuk mengetahui kualitas citra yang sudah di *watermark*.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Arsitektur Sistem

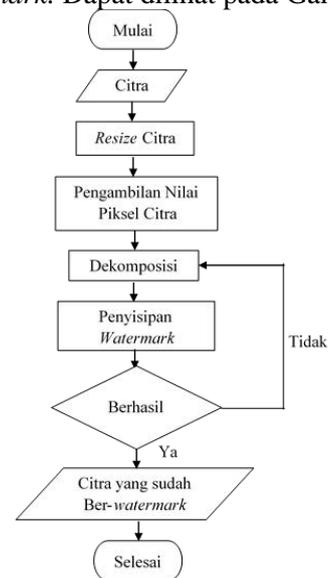
Arsitektur sistem yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari beberapa tahapan antara lain tahap penyisipan *watermark*, dekomposisi citra dan logo, penyisipan logo ke dalam citra, ekstraksi *watermark*, rekonstruksi citra, perhitungan PSNR dan MSE. Adapun diagram blok sistem secara umum dari arsitektur sistem pada penyisipan citra dalam aplikasi *watermarking* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Gambaran Umum Arsitektur Sistem

4.1.1 Flowchart Proses Pengolahan Citra pada Sistem *Watermarking*

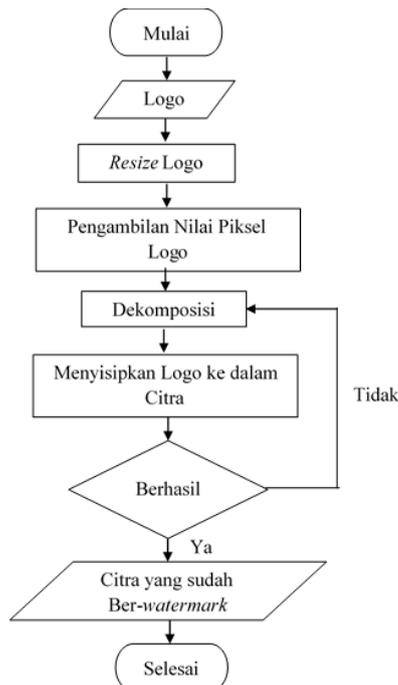
Citra *grayscale* yang diunggah oleh *user* ke dalam sistem *watermarking* di ubah terlebih dahulu menjadi 512x512 piksel, selanjutnya mengambil nilai piksel citra agar dapat melakukan proses perhitungan dekomposisi. Terakhir adalah melakukan penyisipan *watermark*, dimana jika penyisipan berhasil, maka akan menghasilkan citra yang sudah ber-*watermark*. Dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Proses Pengolahan Citra pada Sistem *Watermarking*

4.1.2 Flowchart Proses Logo dalam Sistem *Watermarking*

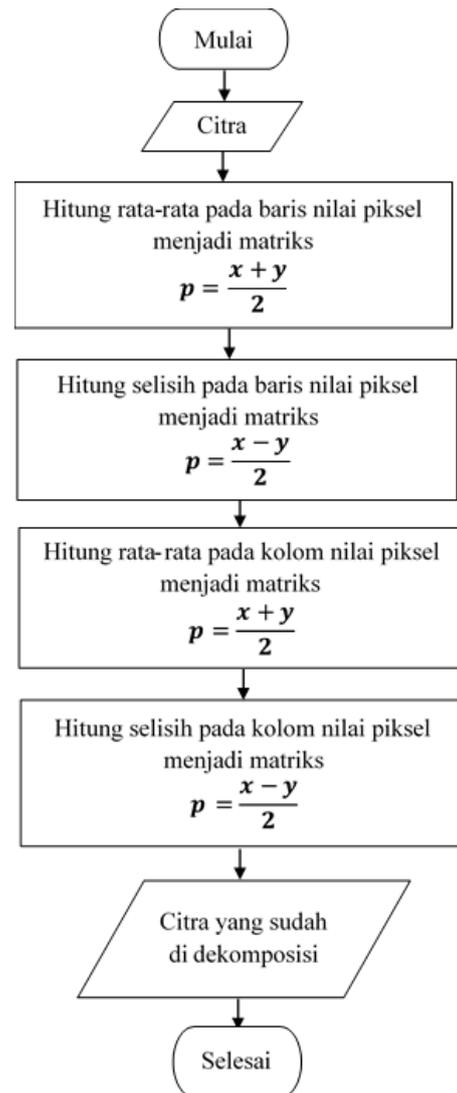
Pada penelitian ini menggunakan logo asli yang sudah *grayscale* dan pada proses ini hampir sama dengan *flowchart* pada Gambar 7, bedanya pada *flowchart* ini mengubah ukuran logo asli menjadi 256x256 piksel, kemudian mengambil nilai piksel logo agar dapat melakukan proses perhitungan dekomposisi. Tahap selanjutnya adalah menyisipkan logo ke dalam citra, sehingga menghasilkan citra yang sudah ber-*watermark*. Dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8 Flowchart Proses Keseluruhan Logo dalam Sistem Watermarking

4.1.3 Flowchart Dekomposisi Pada Citra

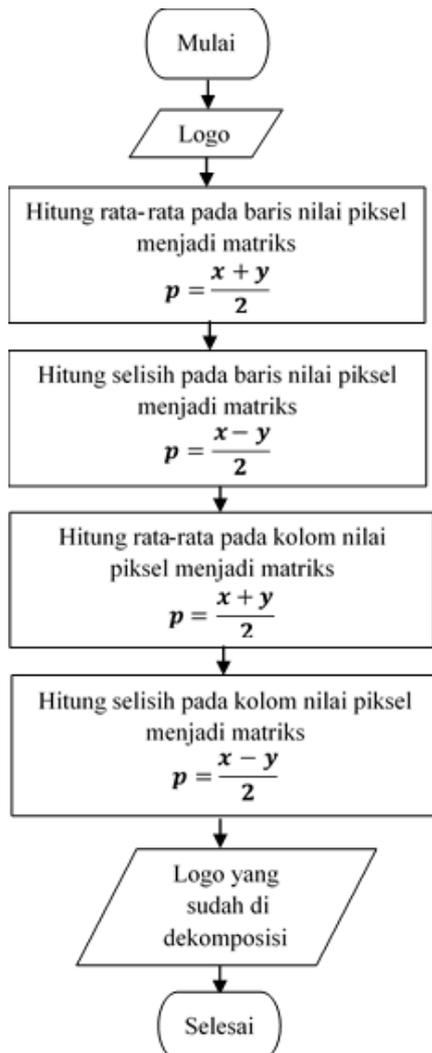
Pada tahap ini merupakan bentuk flowchart dari proses perhitungan dekomposisi pada citra, dimana pada proses ini nilai piksel citra yang sudah di *resize* akan dilakukan proses dekomposisi yaitu dekomposisi pada baris dan dekomposisi pada kolom. Sehingga, menghasilkan citra yang memiliki pola dan menunjukkan tiap-tiap *subband* yang ada yaitu LL, HL, LH dan HH. Dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Flowchart Dekomposisi Pada Citra

4.1.4 Flowchart Dekomposisi Pada Logo

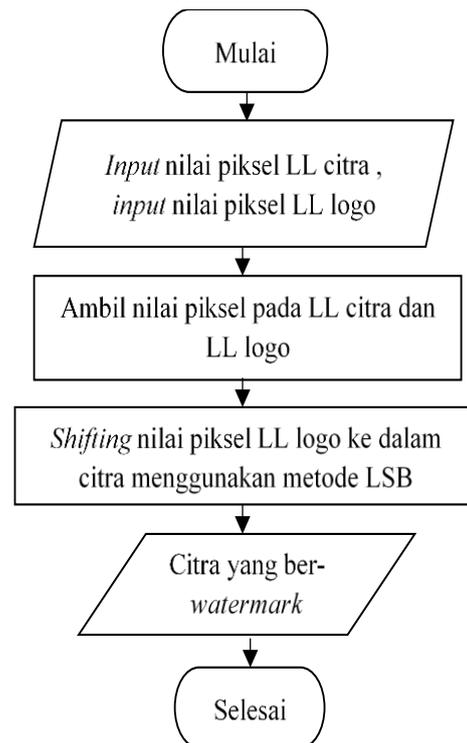
Proses perhitungan dekomposisi pada logo yang dilakukan hampir sama dengan Gambar 9, dimana pada proses ini nilai piksel logo yang sudah di *resize* akan dilakukan proses perhitungan dekomposisi yaitu dekomposisi pada baris dan dekomposisi pada kolom. Dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Flowchart Dekomposisi Pada Logo

4.1.5 Flowchart Penyisipan Logo ke dalam Citra

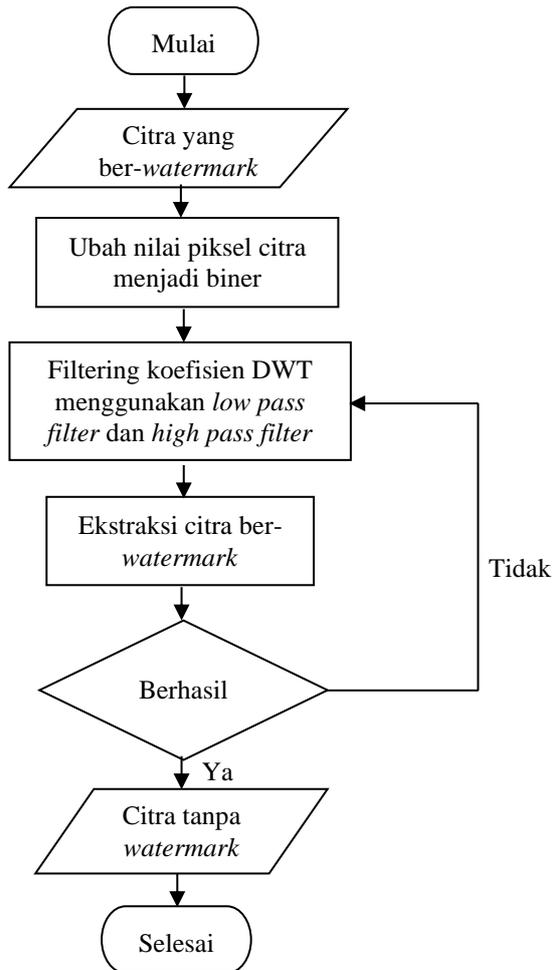
Pada tahap ini merupakan proses penyisipan logo ke dalam citra asli, dimana pada proses ini adalah untuk mengambil nilai piksel LL citra dan nilai piksel LL logo. Kemudian tahap selanjutnya dilakukan penyisipan dengan cara *shifting* pada nilai piksel LL logo dan nilai piksel LL citra dengan menggunakan metode LSB, setelah penyisipan berhasil maka hasil yang didapatkan adalah citra yang sudah ber-*watermark*. Dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Proses Penyisipan Logo ke dalam Citra

4.1.6 Flowchart Ekstraksi Watermark

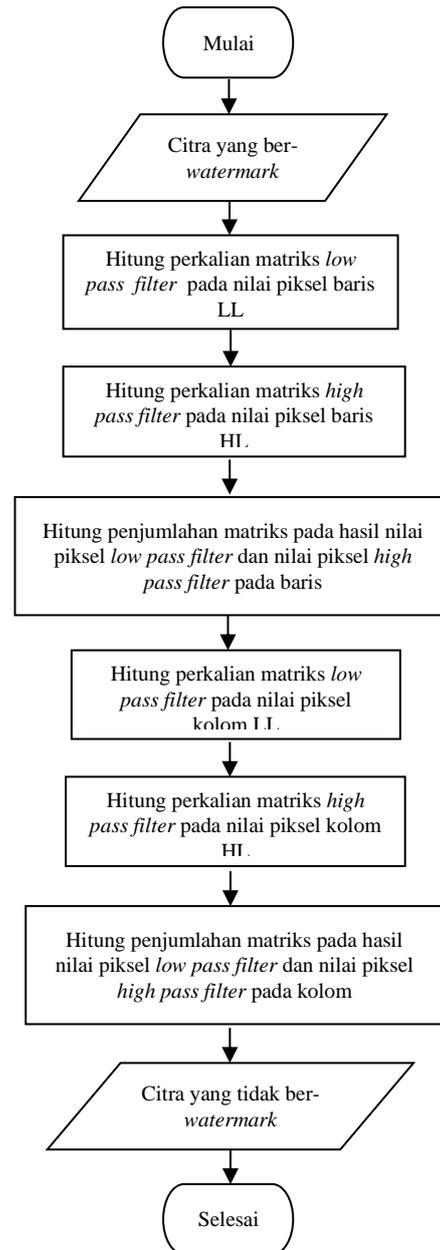
Proses ekstraksi *watermark* dilakukan untuk mendapatkan kembali koefisien-koefisien dari citra yang ter-*watermark*. Dengan melakukan proses rekonstruksi yaitu proses perkalian matriks menggunakan *low pass filter* terhadap baris dan kolom, setelah mendapatkan hasil terakhir dari perkalian matriks *low pass filter* maka tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan perkalian dengan menggunakan *high pass filter* terhadap baris dan kolom. Hasil dari proses rekonstruksi tersebut adalah citra tanpa *watermark*. Dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Flowchart Ekstraksi Watermark

4.1.7 Flowchart Perhitungan Rekonstruksi Citra

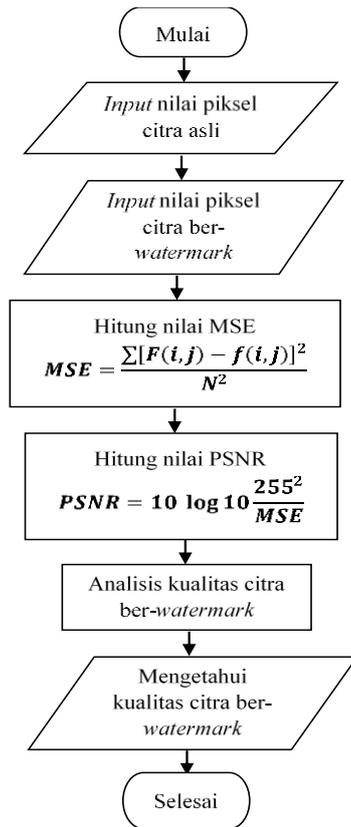
Proses perhitungan rekonstruksi citra yang memiliki 2 tahapan antara lain rekonstruksi terhadap baris dan rekonstruksi terhadap kolom. Dimana 2 tahapan dilakukan dengan melakukan perkalian matriks yang selanjutnya menjumlahkan matriks yang telah didapat pada masing-masing tahapan yang dilakukan. Setelah berhasil melakukan proses rekonstruksi, tahap selanjutnya adalah melakukan ekstraksi pada citra. Dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Flowchart Perhitungan Rekonstruksi Citra

4.1.8 Flowchart Perhitungan PSNR dan MSE

Pada tahap ini merupakan proses perhitungan PSNR dan MSE, dimana mengukur kualitas citra. Sebelum mencari nilai PSNR terlebih dahulu mencari nilai MSE. Nilai MSE yang semakin rendah akan semakin baik, sedangkan semakin besar nilai PSNR, semakin bagus kualitas citra. Flowchart yang menggambarkan proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Proses Perhitungan PSNR dan MSE

4.2 Hasil Dekomposisi

Pada tahap dekomposisi citra terdapat dua proses perhitungan yaitu perhitungan dekomposisi baris dan dekomposisi kolom. Pada proses yang pertama dilakukan proses perhitungan dekomposisi arah baris pada setiap baris yang ada dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4 untuk menghasilkan *subband* L dan H. Adapun hasil perhitungan dekomposisi pada baris dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Dekomposisi pada Seluruh Baris

L				H			
79	185	154	64	25	10	52	118
127	205	173	68	39	12	60	136
173	221	198	126	116	41	59	143
100	118	101	108	140	72	76	142
78	75	49	117	143	75	61	116
118	206	194	83	122	36	77	141
150	177	155	70	47	22	72	141
133	180	188	65	29	15	63	132

Selanjutnya adalah proses perhitungan dekomposisi pada kolom. Proses ini

dilakukan ada setiap kolom yang ada dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4 untuk menghasilkan *subband* LL, HL, LH dan HH. Adapun hasil perhitungan dekomposisi pada kolom dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Dekomposisi pada Seluruh Kolom

L				H			
150	118	22	92	-46	49	11	-36
158	134	92	105	-17	16	36	-38
119	111	94	99	-21	11	39	-30
160	120	28	102	-19	52	10	-35
-17	-6	-4	-7	-7	-4	-3	3
44	29	-14	-4	-8	20	2	-5
-43	-28	15	-10	23	-45	-5	2
4	-7	6	5	5	-10	3	0

4.3 Hasil Rekonstruksi Citra

Pada tahap rekonstruksi citra terdapat dua proses perhitungan yaitu perhitungan rekonstruksi baris dan rekonstruksi kolom. Pada proses rekonstruksi *haar wavelet* diawali dengan menggabungkan koefisien DWT yang berada pada akhir dekomposisi dengan sebelumnya meng-*upsample* 2 ($\uparrow 2$) melalui *high pass filter* dan *low pass filter*. Proses rekonstruksi ini sepenuhnya merupakan kebalikan dari proses dekomposisi yang sesuai dengan tingkatan pada proses dekomposisi. Adapun ketetapan matriks untuk *low pass filter* dan *high pass filter* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut:

Tabel 3 Low Pass Filter

1	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	1	0
0	0	0	1
0	0	0	1

Tabel 4 High Pass Filter

1	0	0	0
-1	0	0	0
0	1	0	0
0	-1	0	0
0	0	1	0
0	0	-1	0
0	0	0	1
0	0	0	-1

Pada rekonstruksi baris, tahap pertama yang dilakukan yaitu baris pada matriks

subband LL dikalikan dengan matriks *low pass filter*. Tahap selanjutnya, pada baris matriks *subband HL* dikalikan dengan matriks *high pass filter*. Kemudian hasil dari baris pada *subband LL* dan *subband HL* dijumlahkan, sehingga menghasilkan rekonstruksi seluruh baris secara penuh. Dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Rekonstruksi Penuh pada Baris

104	141	98	141	-24	36	-20	9
196	175	140	179	-10	52	-66	-1
167	150	122	172	-10	49	-73	-17
69	118	100	68	-2	9	17	3
33	128	133	38	-7	-12	10	9
11	56	55	18	-1	-16	20	3
56	67	69	67	-4	-9	-8	5
128	143	129	137	-10	1	-12	5

Setelah dilakukan proses rekonstruksi baris, tahap selanjutnya yaitu proses rekonstruksi kolom, dimana pada proses rekonstruksi kolom ini prosesnya hampir sama dengan proses rekonstruksi baris, tahap pertama yang dilakukan yaitu kolom pada matriks *subband LL* dikalikan dengan matriks *low pass filter*. Tahap selanjutnya, pada kolom matriks *subband HL* dikalikan dengan matriks *high pass filter*. kemudian hasil *subband LL* dan *subband HL* tersebut dijumlahkan, sehingga menghasilkan rekonstruksi kolom. Proses perhitungan rekonstruksi kolom terus dilakukan pada setiap kolom *subband LL* dan setiap kolom *subband HL*, sehingga menghasilkan rekonstruksi seluruh kolom secara penuh. Dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Rekonstruksi Penuh pada Kolom

80	186	157	67	26	10	52	118
128	206	177	71	40	12	60	138
177	227	199	127	116	40	58	144
105	123	101	109	140	72	76	142
78	74	49	117	143	75	61	117
118	206	195	83	123	35	77	141
150	178	155	71	47	21	72	142
132	180	189	65	29	15	62	132

4.4 Hasil Perhitungan PSNR

Pengujian sistem dilakukan secara langsung menggunakan data citra asli dan data citra yang sudah ber-*watermark* untuk

mengetahui nilai PSNR. Data citra yang digunakan sebanyak 10 data citra. Adapun hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Hasil Pengujian Perhitungan PSNR

No	Gambar	Ukuran Citra	PSNR	Analisa
1		512 x 512	13,659	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang masih kelihatan jelas secara visual.
2		512 x 512	15,663	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
3		512 x 512	16,667	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
4		512 x 512	15,233	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
5		512 x 512	14,663	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang masih kelihatan jelas secara visual.
6		512 x 512	16,523	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
7		512 x 512	16,663	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan

Tabel 7 Hasil Pengujian Perhitungan PSNR
 (Lanjutan)

8		512 x 512	15,831	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
9		512 x 512	17,873	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan
10		512 x 512	17,433	Citra yang dihasilkan memiliki <i>watermark</i> yang sedikit tersamarkan

Pengujian pada Tabel 7, mendapatkan nilai PSNR yang berkisar antara 13-17 db, rata-rata PSNR sebesar 17,873. Hasil yang didapat pada sistem mendekati ketetapan nilai PSNR yaitu 30 db, sehingga *watermark* yang disisipkan masih kelihatan namun tidak mengurangi kualitas citra.

4.5 Pembahasan

Berdasarkan pada penelitian, pengujian yang telah dilakukan diuji data sebanyak 10 citra dengan hasil yang bervariasi. Data tersebut diuji dengan menggunakan parameter PSNR, dimana semakin besar nilai PSNR, semakin baik juga kualitas citra yang dihasilkan. Semakin tinggi PSNR, maka *watermark* citra makin tersamarkan. Hasil yang didapat pada 10 data citra sebesar 17,873 db sehingga *watermark* pada citra masih terlihat. Akan tetapi, *watermark* pada citra harus tetap terlihat secara kasat mata tanpa mengurangi kualitas citra yang diberi *watermark*.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada sistem ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian *watermarking* menggunakan 10 data citra asli dengan hasil yang bervariasi. Hal ini terlihat dari adanya beberapa citra yang memiliki *watermark* tersamarkan dan ada yang masih terlihat jelas. Data tersebut diuji dengan

menggunakan parameter PSNR, dimana semakin besar nilai PSNR maka citra *watermark* makin tersamarkan. Untuk menghitung nilai PSNR, dihitung nilai MSE dari suatu citra hasil rekonstruksi. Semakin kecil nilai MSE dari suatu citra, maka semakin baik citra tersebut.

2. Rata-rata nilai kualitas citra digital pada sistem *watermarking* menggunakan metode *haar wavelet* adalah 17,873 db.

6 SARAN

Terdapat beberapa saran untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Data uji menggunakan data uji yang lain selain citra yaitu berupa dokumen, audio dan video.
2. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan penyisipan *watermark* dengan metode selain *Least Significant Bit (LSB)* agar penyisipan dapat berlangsung dengan baik.
3. Pada penelitian berikutnya bisa dikembangkan metode DWT untuk citra berbasis RGB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hakim, Analisa Perbandingan *Watermarking Image* dengan Menggunakan *Discrete Wavelet Transform*, Depok: Universitas Indonesia, 2012.
- [2] Y. Abidin, Guru dan Pembelajaran Bermutu, Bandung: Rizqi Press, 2009.
- [3] D. Alfatwa, *Watermarking* pada Citra Digital Menggunakan *Discrete Wavelet Transform*, Bandung: Institute Teknologi Bandung, 2009.
- [4] D. Ardiyanto, *Watermarking Citra* Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* dan *Error Detection* pada MATLAB, Jember: Universitas Jember, 2018.
- [5] R. Awaludin, *Seminggu Belajar Laravel*, 2016.
- [6] Basaruddin, Kinerja Skema Pemberian Tanda Air Video Digital Berbasis DWT SVD dengan *Detector Semi Blind*, Depok: Universitas Indonesia, 2009.

- [7] B. T. Cahyana, Teknik *Watermarking* Citra Berbasis SVD, s.1: National COnference on Computer Science & Information Technology, 2007.
- [8] Desmawati, Analisis dan Perancangan Aplikasi Steganalisis pada Media Citra BMP dengan Metode Enhanced Least Significant Bit, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2011.
- [9] A. Endang, Aplikasi Digital *Watermarking* pada Citra Menggunakan 2D Haar *Wavelet* Transformation (2D-HWT) dan Least Significant Bit (LSB), Medan: Universitas Sumatera Utara, 2017.
- [10] J. Lesgapi, One and Two Dimensional Discrete *Wavelet* Transforms, Lieutenant, United States Navy: B.S.E.E., United States Naval Academy, 1985.
- [11] J. Martin Vetterli, *Wavelets* and Subband Coding, San Fransisco, CA 94105 USA: Creative Commons, 2007.
- [12] R. Munir, Sekilas Image *Watermarking* untuk Memproteksi Citra Digital, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [13] B. Paradhista, Penerapan Teknik *Watermarking* Metode DWT (Discrete *Wavelet* Transform) pada Citra Digital, Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma, 2015.
- [14] R. Polikar, Multi Resolution Analysis: The Discrete *Wavelet* Transform, Iowa: Iowa State University, 1998.
- [15] D. Putra, Pengolahan Citra Digital, Yokyakarta: Andi Offset, 2010.
- [16] D. Sripathi, Efficient Implementations of Discrete *Wavelet* Transform Using FPGAS, Florida: Florida State University, 2003.
- [17] D. Sugiri, Pengolahan Database MySQL dengan PhPMyAdmin, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [18] R. Sukanto, Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek, Bandung: Informatika Bandung, 2014.
- [19] S. Sutojo, Membangun Citra Perusahaan, Jakarta: Damar Mulia Pustaka, 2010.
- [20] N. Terjiza, Robust Digital Image *Watermarking* Algorithms for Copyright, Essen: University of Duisburg-Essen, 2006.
- [21] R. Yanto, Manajemen Basis Data Menggunakan MySQL, Yogyakarta: Deepublish, 2016.