

WATERMARKING CITRA DIGITAL PADA RUANG WARNA YUV DENGAN KOMBINASI METODE *DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)* DAN *SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)*

Antonio Christian Simanjuntak^{*)}, Achmad Hidayatno, and Munawar Agus Riyadi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jalan Prof. Sudharto, SH., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}*Email: antoniocsimanjuntak@gmail.com*

Abstrak

Dalam era teknologi informasi dan komputer saat ini, informasi dalam bentuk digital dapat tersebar dengan begitu cepat. Informasi dalam bentuk digital memiliki sifat yang mudah untuk diubah dan dimodifikasi, hal ini menyebabkan banyak terjadinya penyalahgunaan hak cipta. Seseorang yang telah mendapatkan produk digital dapat mengklaim bahwa produk tersebut adalah hasil karyanya. Salah satu cara untuk melindungi hak cipta produk digital tersebut adalah dengan menggunakan *watermark*. *Watermark* merupakan salah satu solusi untuk melindungi hak cipta terhadap citra digital yang diciptakan. Dengan diterapkannya *watermarking* ini maka hak cipta citra digital yang dihasilkan akan terlindungi dengan cara menyisipkan informasi tambahan seperti informasi pemilik, keaslian dalam bentuk teks, citra, audio, ataupun video ke dalam citra digital tersebut tanpa merusak citra asli. *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam teknik *watermarking* dalam domain transformasi. Dalam Penelitian ini DWT digunakan untuk mentransformasi citra digital, sementara SVD digunakan sebagai proses penyisipan dan ekstraksi *watermark*. Pada pengujian Penelitian ini didapatkan nilai PSNR di atas 20 - 40 dB dengan variasi nilai alfa 0,1 - 1 pada komponen Y, U dan V. Sementara dalam kondisi tanpa serangan pada pengujian ekstraksi didapatkan nilai NC tidak kurang dari 0,8. Hal ini menunjukkan bahwa *watermarking* dengan menggunakan metode kombinasi DWT dan SVD menunjukkan kinerja yang cukup baik, meskipun terdapat informasi pada citra *watermark* hasil ekstraksi yang tidak sempurna.

Kata kunci: Watermarking, Discrete Wavelet Transform, Singular Value Decomposition, PSNR, NC

Abstract

In the era of information technology and computer today, information in digital form can spread so quickly. Information in digital form has characteristic that are easy to be changed and modified, this causes a lot of the abuse of copyright. A person who has obtained a digital product can claim that the product is a result of his work. One way to protect the copyright of digital products is to use watermark. Watermark is one of the solutions to protect the copyright of the digital image that has been produced. With this implementation, the copyright of the digital images will be protected by inserting additional information such as owner information, authenticity in the form of text, image, audio, or video into digital images without damaging the original image. Discrete Wavelet Transform (DWT) and Singular Value Decomposition (SVD) is one method that is widely used in the transform domain watermarking techniques. In this research DWT is used to transform the digital image, while SVD is used as the watermark insertion and extraction. In this research testing PSNR values obtained above 20 to 40 dB with a variation of alpha values from 0.1 to 1 in the component Y, U and V. While the extraction testing without attacks, NC values obtained not less than 0.8. This indicates that a combination of watermarking using DWT and SVD method shows good performance, although there is information on the extracted watermark image which not perfect.

Keywords: Watermarking, Discrete Wavelet Transform, Singular Value Decomposition, PSNR, NC

1. Pendahuluan

Meluasnya penggunaan internet membuat proses pengiriman citra dalam format digital menjadi semakin

mudah. Kemudahan ini di satu sisi menguntungkan karena pemilik citra tersebut dapat dengan mudah menyebarkan karya digitalnya ke berbagai alamat di dunia, tapi di sisi lain apabila tidak ada hak cipta atas

karya digital tersebut maka semakin membuka kemungkinan terhadap pelanggaran hak cipta atas hasil karya seni orang lain. Untuk mencegah hal tersebut, kini banyak dikembangkan teknik-teknik untuk pemeriksaan keaslian suatu dokumen. Salah satu teknik yang dikenal luas untuk pemeriksaan dokumen multimedia adalah *watermarking*. *Watermarking* adalah proses untuk menyembunyikan informasi berupa citra pada dokumen multimedia sehingga pembuat bisa mengklaim dokumen tersebut adalah hasil karyanya dengan mengekstraksi citra yang telah disisipkan sebelumnya.

Pemberian *signature* dengan teknik *watermarking* ini dilakukan sedemikian rupa, sehingga informasi yang disisipkan tidak merusak data digital yang dilindungi. Seseorang yang membuka produk multimedia yang sudah disisipi *watermark* tidak menyadari kalau di dalam data multimedia tersebut terkandung label kepemilikan pembuatnya, dengan kata lain teknik penyembunyian data ini tidak akan disadari oleh alat indera manusia.

Alfatwa^[1] membuat aplikasi *watermarking* menggunakan metode DWT. Mula-mula citra akan didekomposisi menjadi 4 *subband*, kemudian citra *watermark* akan disisipkan di salah satu *subband* tersebut. Hasil yang didapat cukup baik, citra cukup *robust* dengan serangan *blurring* dan kompresi. Basarudin dan Cahyana^[2] membuat aplikasi *watermarking* menggunakan metode SVD. Nilai singular dari *watermark* dikalikan dengan faktor *scalling* dan ditambahkan pada nilai singular dari citra asli. Metode ini tidak tergolong ke dalam *blind watermarking* karena membutuhkan citra asli dan citra yang telah disisipi *watermark* untuk melakukan proses ekstraksi *watermark*. Hasil yang didapat cukup memuaskan dalam proses penyisipan. Namun, saat citra berisi *watermark* mengalami serangan perubahan bentuk seperti rotasi citra, *cropping*, serta penambahan noise terhadap citra, citra *watermark* hasil ekstraksi yang diperoleh sangat buruk.

Sementara itu Shanti dan Thangavelu^[3], membuat aplikasi *watermarking* dengan menggunakan kombinasi metode DWT dan SVD. Mula-mula citra akan didekomposisi dengan DWT menjadi 4 *subband* (LL, LH, HL dan HH), kemudian tiap *subband* akan didekomposisi menggunakan SVD sehingga menghasilkan nilai singular yang kemudian citra *watermark* akan disisipkan di dalamnya. Hasil pengujian yang diperoleh sangat baik, setelah dilakukan berbagai serangan terhadap citra, antara lain serangan rotasi, *cropping*, kompresi, penambahan noise, citra *watermark* hasil ekstraksi yang diperoleh tidak rusak. Berdasarkan permasalahan di atas, Penelitian ini akan menggunakan metode kombinasi DWT dan SVD. Namun berbeda dengan yang diterapkan oleh Shanti dan Thangavelu, penelitian ini hanya akan menggunakan *subband* LL (frekuensi rendah) saja dengan variasi nilai alfa 0,1 – 1.

2. Metode

2.1. Perancangan Sistem

Program *watermarking* ini bekerja dengan menyisipkan citra *watermark* ke dalam citra asli untuk mendapatkan citra berisi *watermark*. Kemudian mengekstraknya kembali untuk mendapatkan citra *watermark* kembali.

1. Citra uji menggunakan citra warna sebagai citra asli dengan ukuran panjang dan lebar yang sama dan citra biner sebagai citra *watermark* dengan ukuran panjang dan lebar yang sama.
2. Tahap selanjutnya ialah proses *watermarking* dengan menggunakan program utama dari perangkat lunak Matlab 2011b. Program utama ini terdiri dari 3 bagian dalam melakukan proses *watermarking* yaitu:

a. Proses Penyisipan *Watermark*

- (i) Transformasi citra digital dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT).
- (ii) Proses penyisipan *watermark* dengan menggunakan *Singular Value Decomposition* (SVD).
- (iii) Menghitung *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) sebagai parameter kualitas citra berisi *watermark*.

b. Proses Ekstraksi *Watermark*

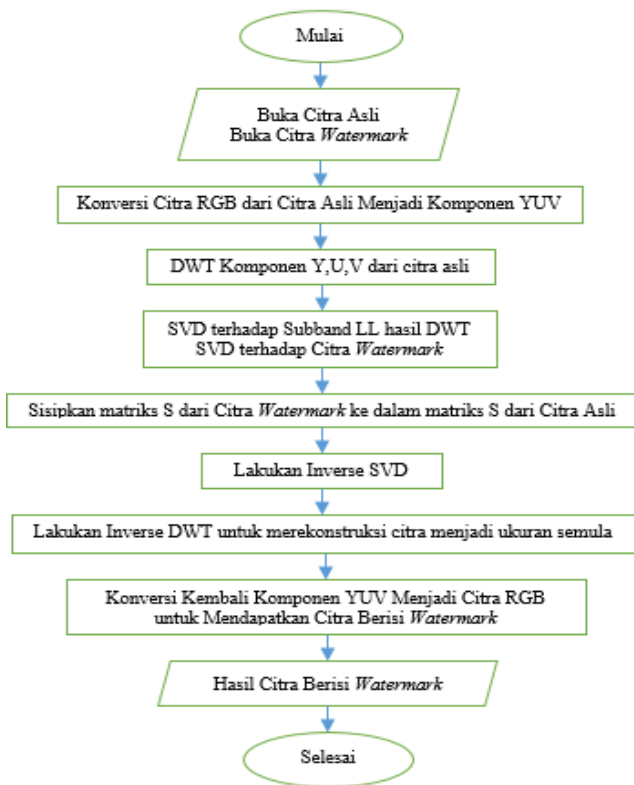
- (i) Transformasi citra berisi *watermark* dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT).
- (ii) Proses ekstraksi *watermark* dengan menggunakan *Singular Value Decomposition* (SVD).
- (iii) Menghitung nilai *Normalized Correlation* (NC) sebagai parameter kemiripan antara citra *watermark* asli dan citra *watermark* hasil ekstraksi.

c. Proses Verifikasi *Watermark*

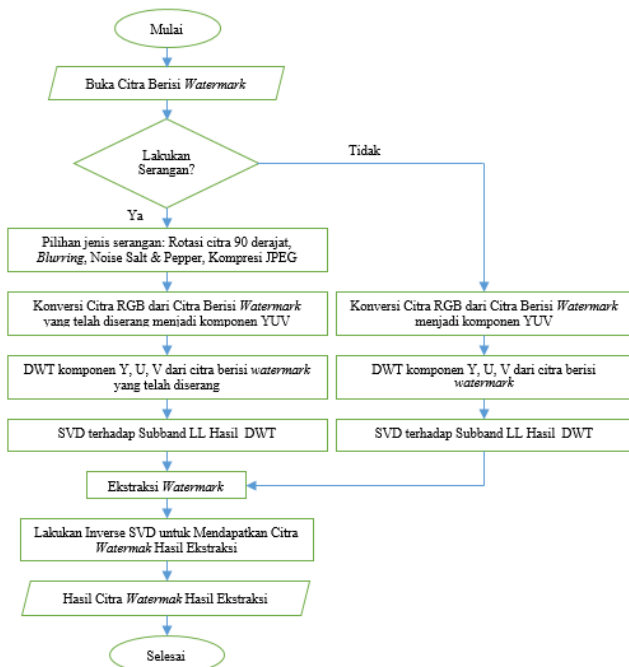
Pada dasarnya proses verifikasi sama saja dengan proses ekstraksi. Namun proses ini dibuat dengan tujuan untuk membuktikan bahwa suatu citra digital telah disisipi oleh *watermark*. Diperlukan informasi dari citra asli dan citra *watermark* untuk mendukung proses ini.

2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak disini meliputi proses penyisipan dan proses ekstraksi *watermarking*. Dalam Penelitian ini metode DWT digunakan sebagai transformasi citra digital, dan SVD digunakan untuk proses penyisipan dan ekstraksi *watermark*.



Gambar 1. Diagram alir proses penyisipan



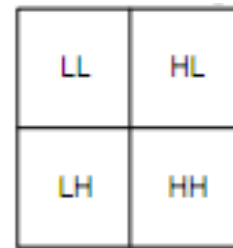
Gambar 2. Diagram alir proses ekstraksi

Gambar 1 adalah diagram alir proses penyisipan watermarking dengan metode kombinasi DWT dan SVD. Citra asli yang merupakan citra RGB akan dikonversi ke dalam ruang warna YUV. Kemudian ketiga komponen YUV akan didekomposisi menjadi 4 subband

menggunakan DWT. Selanjutnya SVD akan digunakan untuk mendekomposisi subband hasil DWT dan citra watermark sehingga akan menghasilkan nilai singular dari keduanya. Inverse SVD dan Inverse DWT dilakukan untuk merekonstruksi kembali citra yang telah didekomposisi sebelumnya. Terakhir, untuk mendapatkan citra berisi watermark komponen YUV dikonversi kembali menjadi RGB.

Gambar 2 adalah diagram alir proses ekstraksi watermarking dengan metode kombinasi DWT dan SVD. Proses ekstraksi merupakan kebalikan dari proses penyisipan, tujuannya adalah untuk mendapatkan kembali citra watermark yang telah disisipkan.

2.3 Proses Discrete Wavelet Transform (DWT)



Gambar 3. Dekomposisi citra

DWT berfungsi sebagai transformasi citra digital untuk mendapatkan informasi frekuensi dan waktunya secara bersamaan. DWT menggunakan dua fungsi dalam melakukannya yaitu fungsi skala dan wavelet. Masing-masing fungsi menghasilkan koefisien pendekatan dan detail. Proses untuk menghasilkan koefisien-koefisien ini disebut dekomposisi^[4]. Untuk menyatukan kembali koefisien-koefisien tersebut dilakukan Inverse DWT, proses ini disebut rekonstruksi citra.

Sebuah citra didekomposisi menggunakan DWT akan menghasilkan 4 subband, yaitu LL (Low-Low), HL (High-Low), LH (Low-High), dan HH (High-High) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Subband ini lah yang kemudian akan digunakan untuk proses selanjutnya. Namun, pada Penelitian ini yang akan digunakan hanya subband LL. Karena setelah dilakukan beberapa pengujian, penyisipan watermark pada subband LL (frekuensi rendah) lebih robust terhadap serangan-serangan dibandingkan penyisipan pada subband HL, LH, dan HH (frekuensi tinggi).

2.4 Proses Singular Value Decomposition (SVD)

SVD merupakan suatu teknik untuk mendekomposisi matriks berukuran apa saja untuk mempermudah pengolahan data. Hasil dari SVD ini adalah nilai singular yang disimpan dalam sebuah matriks diagonal^[5]. SVD tergolong ke dalam teknik non-blind watermarking,

karena membutuhkan citra asli dan citra *watermark* saat melakukan ekstraksi^[6].

Sebuah citra didekomposisi dengan menggunakan SVD akan menghasilkan 3 matriks, yaitu U, S dan V. Di dalam matriks S tersimpan nilai singular yang nantinya akan digunakan dalam proses penyisipan.

3. Hasil dan Analisa

Pada penelitian ini digunakan 2 citra uji sebagai citra asli dan 1 citra uji sebagai citra *watermark* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Citra yang digunakan sebagai citra asli



Letter.bmp (64x64)

Gambar 5. Citra yang digunakan sebagai citra *watermark*

Tabel 1. Variasi pengujian *watermark*

Komponen Citra	Nama File Citra Asli	Nama File Citra <i>Watermark</i>
Y	Lena.bmp	Letter.bmp
	Sailboat.bmp	Letter.bmp
U	Lena.bmp	Letter.bmp
	Sailboat.bmp	Letter.bmp
V	Lena.bmp	Letter.bmp
	Sailboat.bmp	Letter.bmp

Tabel 2. Nilai PSNR

PSNR (dB)	Kualitas Citra
50	Istimewa
40	Bagus
30	Layak
20	Cukup
10	Buruk

Tabel 1 menjelaskan citra *watermark* akan disisipkan ke dalam citra asli pada tiap komponen Y, U dan V. Kemudian akan dibandingkan kualitas citra hasil penyisipan pada ketiga komponen tersebut berdasarkan nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) yang diperoleh. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai PSNR^[3].

$$PSNR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{Q}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Dimana } MSE = (1/mn) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{ij} - B_{ij})^2 \quad (2)$$

- MSE = Mean Square Error
- Q = nilai maksimum piksel
- m * n = lebar x tinggi citra
- A = nilai piksel citra asli
- B = nilai piksel citra berisi *watermark*

Kriteria nilai PSNR dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai PSNR 50 dB menunjukkan kualitas citra berisi *watermark* sangat menyerupai cira asli, sementara yang terkecil adalah nilai PSNR 10 dB yang menunjukkan citra berisi *watermark* yang dihasilkan sangat buruk dan jauh berbeda dengan citra asli.

Kemudian setelah mendapatkan citra berisi *watermark*, dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan kembali citra *watermark*. *Normalized Correlation* (NC) adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kemiripan antara citra *watermark* asli dan citra *watermark* hasil ekstraksi. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai NC^[3].

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W(i,j) * Wc(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W^2(i,j)} * \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Wc^2(i,j)}} \quad (3)$$

- W = nilai piksel citra *watermark* asli
- Wc = nilai piksel citra *watermark* hasil ekstraksi

Nilai NC yang diharapkan adalah mendekati angka 1, yang menunjukkan bahwa citra *watermark* hasil ekstraksi mirip dengan citra *watermark* asli^[7].

3.1 Analisis Hasil

Setelah dilakukan beberapa pengujian, maka diperoleh nilai PSNR yang menyatakan kualitas citra berisi *watermark*, dan nilai NC yang menyatakan tingkat kemiripan antara citra *watermark* hasil ekstraksi dengan citra *watermark* asli. Pengujian dilakukan dengan variasi nilai alfa 0,1 -1. Nilai alfa adalah faktor intensitas yang menentukan kekuatan *watermark* yang akan disisipkan. Nilai alfa yang kecil tentu saja akan lebih tersembunyi jika dibandingkan dengan nilai alfa yang lebih besar. Namun di pihak lain, nilai alfa yang terlalu kecil akan menurunkan tingkat kehandalan bila citra yang telah disisipkan *watermark* tersebut dimanipulasi. Pada makalah ini hanya disajikan hasil yang diperoleh pada citra Lena.

Tabel 3. Hasil nilai PSNR yang diperoleh pada citra Lena

Nilai Alfa	PSNR (dB)		
	Y	U	V
0,1	40,4517	40,0849	41,4752
0,2	34,5918	34,0878	35,5246
0,3	31,2264	30,5738	32,1078
0,4	28,8810	28,0789	29,7374
0,5	27,0935	26,3778	27,9321
0,6	25,6617	25,0379	26,5701
0,7	24,4973	23,9437	25,4476
0,8	23,5182	23,0237	24,4993
0,9	22,6722	22,2339	23,6829
1,0	21,9305	21,5458	22,9697

Tabel 4. Hasil nilai NC yang diperoleh pada citra Lena

Nilai Alfa	NC		
	Y	U	V
0,1	0,9999972	0,9999764	0,9999971
0,2	0,9999993	0,9999940	0,9999992
0,3	0,9999996	0,9999973	0,9999996
0,4	0,9999998	0,9999985	0,9999998
0,5	0,9999998	0,9999990	0,9999998
0,6	0,9999999	0,9999993	0,9999999
0,7	0,9999999	0,9999995	0,9999999
0,8	0,9999999	0,9999996	0,9999999
0,9	0,9999999	0,9999997	0,9999999
1,0	0,9999999	0,9999997	0,9999999

Tabel 3 menunjukkan nilai PSNR yang diperoleh setelah proses penyisipan. Dari variasi nilai alfa 0,1 – 1 diperoleh nilai PSNR di atas 20 dB, hal ini menunjukkan kinerja proses penyisipan *watermarking* cukup baik. Penilaian ini berdasarkan pada penjelasan Tabel 2 yang menunjukkan kriteria nilai PSNR.

Dari Tabel 3 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai alfa maka semakin kecil nilai PSNR yang diperoleh. Dengan kata lain kualitas citra berisi *watermark* hasil penyisipan akan semakin menurun apabila nilai alfa yang dipilih semakin besar.

Tabel 4 menunjukkan nilai NC yang diperoleh setelah proses ekstraksi. Dari variasi nilai alfa 0,1 – 1 diperoleh nilai NC tidak kurang dari 0,9 dan bahkan mendekati angka 1 yang berarti citra *watermark* hasil ekstraksi mirip dengan citra *watermark* asli.

3.2 Pengujian Watermark

Pengujian *watermark* yang dimaksud adalah serangan-serangan terhadap citra berisi *watermark*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan (*robustness*) citra berisi *watermark* setelah dilakukan serangan-serangan. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai NC yang menunjukkan kemiripan antara citra *watermark* asli dengan citra *watermark* hasil ekstraksi. Dari pengujian ini bisa dilihat apakah setelah dilakukan serangan, citra *watermark* di dalamnya akan rusak atau tidak.

Jenis-jenis serangan yang akan dilakukan antara lain: rotasi citra 90 derajat, *blurring* citra, penambahan noise

Salt & Pepper pada citra, dan kompresi JPEG. Berikut adalah hasil yang diperoleh pada pengujian *watermark*.

Tabel 5. Hasil nilai NC yang diperoleh pada citra Lena setelah dirotasi 90 derajat

Nilai Alfa	NC		
	Y	U	V
0,1	0,9999972	0,9999764	0,9999971
0,2	0,9999993	0,9999940	0,9999992
0,3	0,9999996	0,9999973	0,9999996
0,4	0,9999998	0,9999985	0,9999998
0,5	0,9999998	0,9999990	0,9999998
0,6	0,9999999	0,9999993	0,9999999
0,7	0,9999999	0,9999995	0,9999999
0,8	0,9999999	0,9999996	0,9999999
0,9	0,9999999	0,9999997	0,9999999
1,0	0,9999999	0,9999997	0,9999999

Tabel 6. Hasil nilai NC yang diperoleh pada citra Lena setelah dijadikan blur

Nilai Alfa	NC		
	Y	U	V
0,1	0,464518	0,933225	0,927195
0,2	0,766335	0,980827	0,979298
0,3	0,878881	0,990512	0,989814
0,4	0,927109	0,994087	0,993675
0,5	0,951339	0,995820	0,995541
0,6	0,965075	0,996804	0,996598
0,7	0,973583	0,997422	0,997261
0,8	0,979215	0,997840	0,997708
0,9	0,983139	0,998138	0,998026
1,0	0,985985	0,998359	0,998263

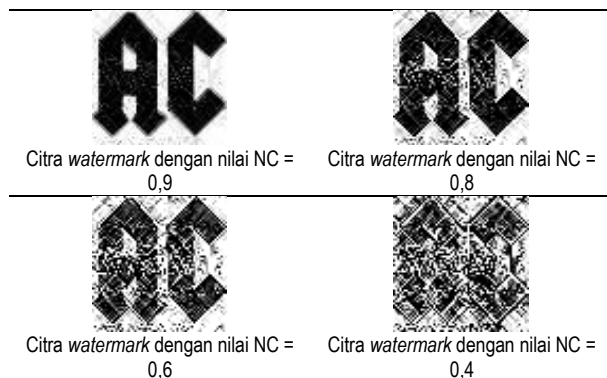
Tabel 7. Hasil nilai NC yang diperoleh pada citra Lena setelah ditambahkan noise Salt & Pepper

Nilai Alfa	NC		
	Y	U	V
0,1	0,832455	0,699351	0,403149
0,2	0,953870	0,881372	0,753528
0,3	0,982260	0,941533	0,883767
0,4	0,988346	0,965360	0,934355
0,5	0,992494	0,978969	0,959372
0,6	0,994244	0,985525	0,971544
0,7	0,995212	0,989252	0,978209
0,8	0,995711	0,991853	0,982554
0,9	0,996223	0,993580	0,985296
1,0	0,996688	0,995045	0,987695

Tabel 8. Hasil nilai NC yang diperoleh pada citra Lena setelah dikompres dengan JPEG

Nilai Alfa	NC		
	Y	U	V
0,1	0,999816	0,971323	0,964274
0,2	0,999907	0,992330	0,990875
0,3	0,999898	0,996814	0,996143
0,4	0,999828	0,998094	0,997750
0,5	0,999765	0,998682	0,998621
0,6	0,999704	0,998977	0,999026
0,7	0,999602	0,999215	0,999211
0,8	0,999509	0,999307	0,999303
0,9	0,999434	0,999380	0,999347
1,0	0,999292	0,999476	0,999275

Tabel 9. Contoh perbandingan citra watermark



Tabel 5 adalah nilai NC yang diperoleh setelah citra berisi watermark dirotasi 90 derajat. Dari hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa serangan rotasi 90 derajat terhadap citra berisi watermark tidak merusak citra watermark di dalamnya. Hal ini ditunjukkan pada nilai NC tetap mendekati nilai 1 meskipun citra berisi watermark telah dirotasi 90 derajat. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam kondisi citra berisi watermark yang telah mengalami rotasi pada komponen Y, U dan V, citra watermark tidak mengalami degradasi saat diekstraksi.

Tabel 6 adalah nilai NC yang diperoleh setelah citra berisi watermark dijadikan blur. Dari Tabel 6 dapat dilihat pada komponen Y saat nilai alfa 0,1-0,2 diperoleh nilai NC dibawah 0,8 yang berarti citra watermark hasil ekstraksi sangat buruk seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9. Hal ini menunjukkan bahwa serangan blurring pada citra merusak citra watermark di dalamnya. Namun pada umumnya citra watermark hasil ekstraksi tetap bisa dikenali meskipun terdapat informasi yang tidak sempurna.

Tabel 7 adalah nilai NC yang diperoleh setelah citra berisi watermark ditambahkan noise Salt & Pepper. Tabel 7 memperlihatkan pada beberapa variasi nilai alfa, nilai NC yang diperoleh tidak terlalu baik. Terdapat nilai NC dibawah 0,8. Hasil citra watermark dengan nilai NC 0,8 bisa dilihat pada Tabel 9. Hal ini menunjukkan bahwa serangan noise Salt & Pepper pada citra dapat merusak citra watermark di dalamnya. Namun pada umumnya citra watermark hasil ekstraksi tetap bisa dikenali meskipun terdapat informasi yang tidak sempurna.

Tabel 8 adalah nilai NC yang diperoleh setelah citra berisi watermark dikompresi dengan JPEG. Tabel 8 memperlihatkan bahwa serangan kompresi JPEG tidak dapat merusak citra watermark di dalamnya. Meskipun citra telah dikompres hingga ukurannya mengecil, namun citra watermark di dalamnya tetap dalam kondisi yang baik setelah diekstraksi. Ini ditunjukkan pada nilai NC yang melebihi angka 0,9 bahkan mendekati angka 1. Hasil

citra watermark dengan nilai NC 0,9 bisa dilihat pada Tabel 9.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian percobaan pada proses watermarking tersebut, maka didapatkan suatu hasil sebagai berikut.

1. Telah dirancang aplikasi watermarking citra digital dengan menggunakan kombinasi metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Singular Value Decomposition (SVD) teknik non-blind watermarking.
2. Semakin kecil nilai alfa, maka nilai PSNR yang diperoleh semakin besar, hal ini menunjukkan kualitas citra berisi watermark yang dihasilkan semakin baik.
3. Hasil percobaan pada program watermarking citra digital dengan kombinasi metode DWT dan SVD ini cukup baik. Nilai PSNR yang diperoleh pada proses penyisipan pada komponen Y, U dan V dengan variasi nilai alfa 0,1 – 1 yaitu 20-40 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas citra berisi watermark yang dihasilkan cukup baik.
4. Serangan Rotasi 90 derajat dan serangan Kompresi JPEG terhadap citra berisi watermark terbukti tidak dapat merusak citra watermark di dalamnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai NC yang tidak kurang dari 0,9 bahkan mendekati angka 1 yang berarti citra watermark hasil ekstraksi mirip dengan citra watermark asli.
5. Pada serangan Blurring dan Noise Salt & Pepper terhadap citra berisi watermark, terdapat beberapa citra watermark hasil ekstraksi yang rusak dan nilai NC menunjukkan angka di bawah 0,8. Namun pada umumnya citra watermark hasil ekstraksi tetap bisa dikenali meskipun terdapat informasi yang tidak sempurna.

Referensi

- [1]. Alfatwa, D. F., *Watermarking Pada Citra Digital Dengan Menggunakan Discrete Wavelet Transform*. Skripsi S-1, Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung. 2007.
- [2]. Basaruddin, T., dan Cahyana. *Penyisipan Tanda Air Pada Citra Dijital Berbasis Dekomposisi Nilai Singular (DNS)*. Skripsi S-1, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia, Depok. 2006.
- [3]. Shanti, V. dan Thangavelu, A., "DWT-SVD Combined Full Band Robust Watermarking Technique For Color Images in YUV Color Space", *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 1 No. 4, Oktober, 2009.
- [4]. Tyas, L. A., *Watermarking Citra Digital Berbasis DWT-SVD dengan Detektor Non-Blind*. Skripsi S-1, Program Studi Teknik Informatika. Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [5]. Baker, K., *Singular Value Decomposition Tutorial*, Hal 14-23, 29 Maret 2005.

- [6]. Setiadikarunia, D. Dan Michael, F. "Watermarking pada Citra Warna Menggunakan Teknik SVD-DCT Berdasarkan Local Peak SNR", *Electrical Engineering Journal*. Vol. 1 No. 2, pp. 111-130. 2011.
- [7]. Setiadikarunia, Daniel., *Teknik Adaptive Watermarking pada Domain Spasial untuk Penyisipan Label pada Citra Digital*. Skripsi S-1. Program Studi S1 Teknik Elektro. Universitas Maranatha, Bandung, 2010.
- [8]. Munir, R., *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*, Penerbit Informatika, Bandung, 2004.
- [9]. Vuthy, T. dan Pineda, A. R., "Using the Singular Value Decomposition (SVD) for Image Compression", *Theses*, Royal University of Phnom Penh, 25 September 2010.
- [10]. Sripathi, D., "Efficient Implementations of Discrete Wavelet Transform using FPGAs", *Theses*, Master of Science, Department of Electrical and Computer Engineering, The Florida State University, November, 2003.
- [11]. Chandramouli, R, Memon, N, dan Rabbani, M. "Digital Watermarking". *Imaging Research & Advanced Development*. Department of Electrical and Computer Engineering, Stevens Institute of Technology, United States. 2002.
- [12]. Adriansyah, Y., *Aplikasi Watermark pada Citra Digital Menggunakan Metode Singular Value Decomposition (SVD)*, Skripsi S-1, Program Studi Matematika, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2011.
- [13]. Wijna, W., *Dekomposisi Matriks*. Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [14]. Kutter, M. dan Petitcolas, F. A. P., "A Fair Benchmark for Image Watermarking Systems", *Electronic Imaging '99 Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 3657, The International Society for Optical Engineering, Sans Jose, CA, USA, 1999.
- [15]. Cox, I.J., Killian, J., Leighton, T., dan Shamoon, T., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Transactions of Image Processing*, Vol 6 No. 12, pp.1673-1687, December, 1997.
- [16]. Ischam, A., *Watermarking Citra Digital Menggunakan Transformasi Hybrid DWT dan DCT*. Skripsi S-1, Program Studi Matematika. Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.