

Implementasi Watermarking pada Citra Digital Menggunakan Teknik *Discrete Fourier Transform (DFT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* (Implementation of Watermarking in Digital Image Using Discrete Fourier Transform (DFT) Technique and Singular Value Decomposition (SVD))

Tri Kasihno¹, Murinto²

^{1,2}Teknik Informatika – Fakultas Teknologi Industri – Universitas Ahmad Dahlan
Kampus III UAD Jl.Dr.Soepomo, Janturan, Yogyakarta

¹kasihno079@yahoo.com

²murintokusno@tif.uad.ac.id

Abstrak- Penyebaran data digital melalui internet memiliki sisi positif dan negatif, terutama bagi pemilik asli citra digital. Penanganan permasalahan tersebut dapat digunakan teknik yang dinamakan *image watermarking*. Dalam paper ini diimplementasikan suatu teknik *image watermarking* pada citra digital dengan menggunakan metode Discrete Fourier Transform (DFT) dan Singular Value Decomposition (SVD), yang mampu menyembunyikan citra digital kedalam citra digital dengan format *.bmp. Hasil dari penelitian ini adalah implementasi dari teknik *image watermarking* digital yang mampu menyisipkan citra watermark ke dalam citra host. Berdasarkan pengujian disimpulkan bahwa teknik yang digunakan bermanfaat untuk label hak cipta pada sebuah citra digital.

Kata kunci: *Discrete Foriuer Transform (DFT), Image Watermarking, Nilai Correlation (NC), Peak-signal-Noise-Ratio (PSNR), Singular Value Decomposition (SVD).*

Abstract- The spread of digital data over the internet has a positive and negative side, especially for the original owner of digital imagery. Handling the problem can be used technique called *image watermarking*. In this paper we implemented an *image watermarking* technique on digital imagery using Discrete Fourier Transform (DFT) and Singular Value Decomposition (SVD) method, which is able to hide digital image into digital image with bmp format. The result of this research is the implementation of digital watermarking image technique

that can insert the watermark image into the host image. Based on the examination concluded that the techniques used are useful for copyright labeling on a digital image.

Keywords: *Discrete Forier Transform (DFT), Image Watermarking, Correlation Value (NC), Peak-signal-Noise-Ratio (PSNR), Singular Value Decomposition (SVD).*

I. PENDAHULUAN

Pada akhir-akhir ini penggunaan teknologi media digital mengalami perkembangan pesat karena kelebihanannya dalam penyimpanan data yang efisien, Kemudahannya untuk dimanipulasi dan ditransmisikan serta hampir semua aspek kehidupan menggunakan komputer. Dari komputer yang mempunyai fungsi tertentu sampai pada komputer pribadi yang biasa digunakan oleh perusahaan besar maupun perusahaan kecil untuk menyimpan data perusahaan, menyimpan *database*, mengatur keuangan, sampai pada sekedar untuk hiburan seperti mendengar musik atau permainan.

Salah satu karya intelektual yang dilindungi adalah barang dalam bentuk digital, seperti software dan produk multimedia seperti teks, musik, gambar atau citra (image), dan video digital. Selama ini penggandaan atas produk digital tersebut dilakukan

secara bebas dan leluasa dengan hasil yang sama persis. Pemegang hak cipta atas produk digital tersebut tentu dirugikan karena tidak mendapat royalti dari usaha penggandaan tersebut [1].

Digital watermarking yang belakangan ini mulai dikenal dan populer muncul sebagai salah satu solusi untuk melindungi media digital. *Watermarking* merupakan suatu bentuk dari *steganography* (teknik untuk menyembunyikan suatu informasi pada suatu media tanpa perubahan yang berarti pada media tersebut. Informasi yang disisipkan ke dalam data multimedia disebut *watermark*, dan *watermark* dapat dianggap sebagai sidik digital (*digital signature*) dari pemilik yang sah atas produk multimedia tersebut. Dengan kata lain, *watermark* yang disisipkan menjadi label hak cipta dari pemiliknya. Penyisipan data dengan teknik *watermarking* ini dilakukan sedemikian rupa sehingga informasi yang disisipkan tidak merusak data digital yang dilindungi. Data yang disisipkan bersifat tersembunyi dan keberadaannya tidak disadari oleh indera manusia. Untuk pengamanan informasi rahasia maka salah satu caranya informasi tersebut akan dienkripsi terlebih dahulu sebelum disisipkan ke dalam media digital dan kemudian diekstrak dan dideskripsi kembali dari media digital tersebut.

Watermarking ini memanfaatkan kekurangan-kekurangan sistem indera manusia seperti mata dan telinga. Dengan adanya kekurangan inilah, metode *watermarking* ini dapat diterapkan pada berbagai data digital. Jadi *watermarking* merupakan suatu cara untuk menyembunyikan atau menanam suatu data/informasi tertentu ke dalam suatu data digitallainnya, tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia. Metode *Singular Value Decomposition* (SVD) merupakan teknik *watermarking* yang digunakan berdasarkan nilai korelasi *watermark* yang diekstrak, dimana nilai korelasi tersebut menyatakan tingkat kemiripan citra *watermark* ekstrak dengan *watermark* asli sebelum dilakukan penyisipan [2].

Penelitian sebelumnya mengenai permasalahan dalam penyembunyian data diantaranya dilakukan oleh [3], dimana dalam penelitiannya melakukan analisis perbandingan teknik *watermarking* menggunakan *least significant bits* (LSB) dan *discrete wavelet transform* (DWT) untuk penyembunyian pesan pada citra digital. Sistem yang dibangun mengacu kepada pembuatan sebuah *watermarking* pada citra digital menggunakan metode *Least Significant Bits* (LSB) dan *wavelet induk* (*mother wavelet*) yang dipilih adalah *hear wavelet*. Penelitian

lain dilakukan oleh [4] dimana penelitian ini mengimplementasi *watermarking* pada citra digital dengan menggunakan *discrete wavelet transform* (DWT) *Daubechies D4*. Penelitian ini menghasilkan suatu aplikasi untuk penerapan *watermarking* pada *host* citra digital berformat *bitmap*. Penelitian lain yang menggunakan LSB dilakukan dalam [5].

Dalam paper ini akan dipaparkan mengenai implementasi *watermarking* pada citra digital menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Singular Value Decomposition* (SVD).

II. METODE

Subyek dalam penelitian ini adalah bagaimana mentransformasi citra *host* dengan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) kemudian menyisipkan *watermark* ke dalam citra *host* dari hasil transformasi menggunakan metode *dan Singular Value Decomposition* (SVD). Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Citra *host* yang disisipi *watermark*, dimana citra *host* yang nantinya disisipkan ditransformasikan dahulu, kemudian baru disisipi dengan *watermark*. Sedangkan Citra *watermark* merupakan citra yang digunakan sebagai pesan atau informasi yang disisipkan dengan format*.bmp. Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam implementasi teknik *watermark*. Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Studi pustaka, merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan mencari, membaca dan mengumpulkan dokumen-dokumen sebagai referensi seperti buku, artikel, dan literature-literatur tugas akhir yang berhubungan dengan topik yang dipilih. Observasi, melakukan pengamatan terhadap citra yang akan dilakukan penelitian. Selain itu dilakukan juga pengamatan terhadap citra hasil *watermarking* dan hasil ekstraksi *watermark*.

Dalam tahap perancangan perangkat lunak ini, digunakan beberapa tahapan pemodelan sistem, sehingga dapat menghasilkan sebuah penelitian yang sesuai dengan yang diharapkan. Perancangan sistem meliputi: **Perancangan diagram konteks**, tahapan ini digunakan untuk menggambarkan seluruh sistem yang akan dibuat, yang nantinya akan diimplementasikan dalam sebuah program aplikasi. Dari proses pertama sampai dengan proses akhir. **Perancangan DFD (Data Flow Diagram)**, dipergunakan untuk lebih memperjelas sistem yang telah digambarkan dalam Diagram Konteks, maka

perlu dibuat sebuah DFD. DFD ini mencakup DFD watermarking, ekstraksi, menghitung nilai PSNR, NCC, dan menampilkan histogram sebagai pemodelan alur data yang akan diproses di dalam aplikasi. **Perancangan Flowchart**, ditujukan untuk mempermudah pembuatan program. Dalam hal ini *flowchart* dirancang untuk memperjelas langkah-langkah yang harus dilakukan oleh *programmer* agar aplikasi yang dibuat dapat menghasilkan *output* yang sesuai dengan harapan dari *input*-an yang dimasukkan oleh user. Dalam penelitian ini *flowchart* dibuat proses dari citra *host* yang ditransformasikan dan difilter menggunakan FFT dan ILPF yang menghasilkan citra *host* hasil tranformasi dan filter, yang kemudian dilakukan penyisipan *watermark* dengan menggunakan metode SVD. Kemudian citra hasil *watermarking* tersebut ditampilkan beserta citra hasil ekstraksinya. **Perancangan Antarmuka**, berhubungan dengan tampilan program yang akan dibuat, karena tampilan aplikasi program yang *user friendly* akan menarik perhatian pemakai program selain untuk mengurangi kejenuhan. Perancangan antar muka ini meliputi perancangan form *watermarking-ekstraksi*, perancangan form menghitung PSNR-NC, dan perancangan form menampilkan histogram citra. Hal ini untuk mempermudah pemahaman, meskipun baru pertama kali menggunakan program aplikasi tersebut. Tahap ini merupakan pengimplementasian algoritma transformasi *fourier* dan filter *ideal low pass filtering* dan algoritma penyisipan *watermark singular value decomposition*. Program yang digunakan untuk proses pengkodean dalam pembuatan program aplikasi *watermarking* menggunakan *Matlab 7.10.0.499 (R2010a)*. **Pengujian aplikasi** dilakukan setelah melalui proses perancangan perangkat lunak dan implimentasi algoritma. Metode yang digunakan dalam pengujian system ini adalah: *Black Box Test* dan *Alpha Test*.

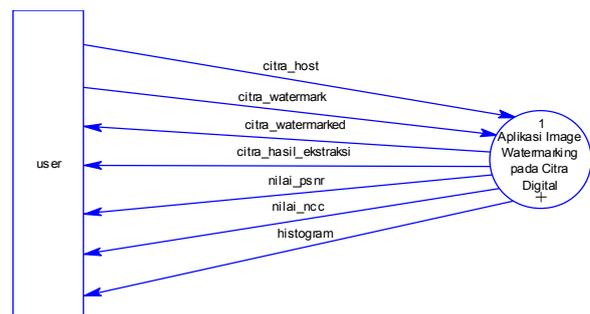
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini dapat dihasilkan aplikasi watermarking citra digital yang dapat digunakan oleh *user* baik secara umum maupun untuk suatu organisasi atau lembaga ataupun perusahaan. Hasil dari penelitian ini menghasilkan sebuah aplikasi yang mempunyai kriteria sebagai berikut :

1. Aplikasi dapat membaca citra berektensi *.bmp(*bitmap*) dengan format *grayscale*.
2. Aplikasi dapat menampilkan citra hasil *watermarking* dan citra hasil ekstrak *watermark*.

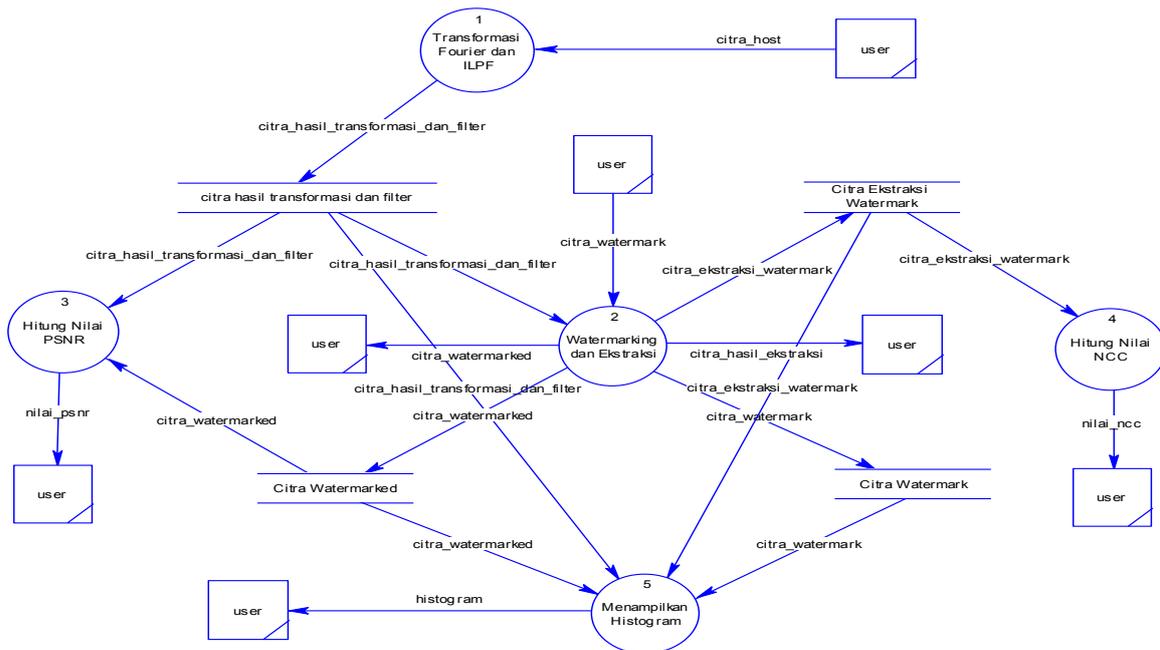
3. Aplikasi dapat menampilkan nilai PSNR (*Peak Signal-To-Noise Ratio*) untuk menentukan kualitas citra.
4. Aplikasi dapat menampilkan nilai NCC (*normalized cross correlation*).
5. Aplikasi dapat menampilkan histogram citra asli (*host*), citra *watermark*, citra ber-*watermark*, citra ekstrak.
6. Aplikasi dapat menyimpan citra hasil proses *watermarking* dan proses ekstrak *watermark*.

Diagram konteks merupakan gambaran dari seluruh aplikasi yang dibuat. Tahap ini dijelaskan hubungan *input* yang diberikan oleh *user* ke aplikasi dan *output* dari aplikasi kepada *user*. Dalam perancangan aplikasi ini terdapat entitas tujuh entitas yaitu entitas citra *host*, citra *watermark*, citra *watermarked*, citra ekstraksi *watermark*, PSNR, NCC, dan histogram. Dari hasil masukan citra *host* dan citra *watermark*, maka aplikasi akan memberikan output berupa citra *watermarked* yang telah disisipi *watermark*, citra hasil ekstraksi *watermark*, selain itu aplikasi juga menampilkan nilai PSNR, nilai NCC, dan menampilkan histogram dari keempat citra tersebut. Perancangan diagram konteks dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan diagram konteks

Dari perancangan sebuah diagram konteks, kemudian dapat dirancang DFD yang akan menjadi penggambaran dari seluruh aplikasi yang akan dibuat. DFD adalah cara untuk memodelkan alur data yang terjadi pada sebuah sistem. Dari diagram konteks yang telah dibuat kemudian akan dijelaskan dengan sebuah diagram alir data. Diagram ini akan menjelaskan bagaimana proses yang terjadi sebelum sebuah citra *host* dan citra *watermark* yang dimasukkan oleh *user* menjadi *output* yang berupa citra *watermarked* dan citra hasil ekstraksi *watermark*. Perancangan DFD Level 0 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Data Flow Diagram Level 0

Diagram alir dalam Gambar 2 menjelaskan proses dan alur data yang terjadi pada aplikasi meliputi :

- Proses yang terjadi pada proses 1 (transformasi fourier dan filter ILPF) pada DFD level 1 yaitu aplikasi pertama kali meminta *user* menginputkan dua citra yaitu citra cover dan citra *watermark*, kemudian gambar tersebut ditampilkan. Citra *host* ditransformasi dengan transformasi fourier diskrit, serta dilakukan *filtering* dengan ILPF. Hasilnya disimpan dalam data citra hasil transformasi dan filter ILPF.
- Proses yang terjadi pada proses 2 (*watermarking* dan ekstraksi) pada DFD level 1 yaitu dilakukan penyisipan pesan/*watermark* dengan *Singular Value Decomposition* (SVD) dan dihasilkan citra terwatermark, dengan *input*-an citra hasil transformasi dan citra *watermark*. Dihasilkan citra *watermarked*, citra *watermarked* tadi dilakukan pengekstrakan dengan *Singular Value Decomposition* (SVD) untuk mendapatkan citra pesan/citra *watermark* hasil ekstrak. Proses watermarking menggunakan teknik *Singular Value Decomposition* (SVD) lebih detailnya. Citra disajikan sebagai matriks *A* dan *watermark* yang akan disisipkan disajikan sebagai matriks *W*, maka penyisipan *watermark W* ke dalam citra *A* dilakukan dengan terlebih dahulu mendekomposisi citra *A* menjadi matriks *U*, *S*,

dan *V* untuk mendapatkan nilai singular dari citra *A*. Nilai singular *S* kemudian ditambahkan dengan hasil kali *watermark W* dengan nilai alfa.

$$S_t = S + \text{nilai alfa} * W \tag{1}$$

Nilai alfa adalah faktor intensitas yang menentukan kekuatan watermark yang akan disisipkan. Dalam penelitian ini nilai alfa berdasarkan referensi [3] ditetapkan 0.1. Kemudian melakukan dekomposisi pada S_t untuk memperoleh nilai singular baru dari S_t .

$$S_t = U_w S_w V_w^T \tag{2}$$

Sebagai langkah terakhir, S_w yang diperoleh kemudian digunakan untuk membentuk citra yang telah di-*watermark* bersama dengan matriks *U* dan *V* dari citra asal.

$$A_w = U S_w \tag{3}$$

Langkah-langkah dalam proses ekstraksi adalah sebagai berikut:

$$A_w^* = U^* S_w^* (V^*)^T \tag{4}$$

$$S_t = U_w S_w V_w^T \tag{5}$$

$$W = \frac{S_t - S}{\text{nilai alfa}} \tag{6}$$

- Proses yang terjadi pada proses 3 (menghitung nilai PSNR) pada DFD level 1 yaitu perhitungan PSNR dilakukan untuk mengetahui kualitas citra hasil penyisipan dan hasil serangan citra. Dalam

proses ini dibutuhkan citra *input*-an citra *host* dan citra *watermarked*. Masing-masing citra di ubah kedalam matriks. Kemudian dilakukan perhitungan MSE dan RMSE untuk mengetahui tingkat kesalahan piksel citra hasil pemrosesan sinyal terhadap citra *host*. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai PSNR berdasarkan nilai yang telah diperoleh.

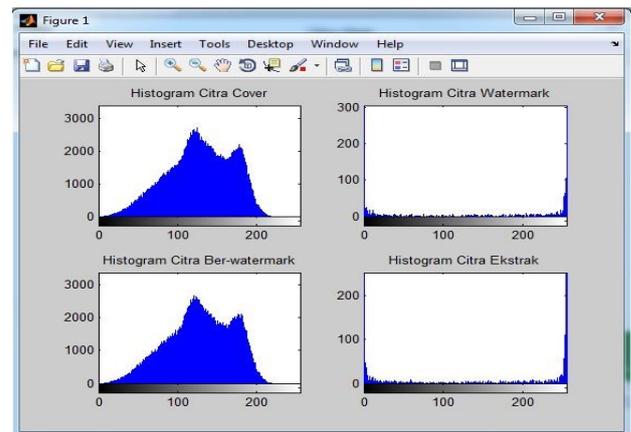
- d. Proses yang terjadi pada proses 4 (menghitung nilai NCC) pada DFD level 1 yaitu proses perhitungan NCC pada persamaan 2.30 dimulai dengan membaca citra *watermark* dan citra hasil ekstrak *watermar* kemudian dilakukan perhitungan sesuai persamaan 2.30. Tujuan dari NCC adalah mengetahui tingkat kemiripan antara citra hasil ekstrak dengan citra *watermark*
- e. Proses yang terjadi pada proses 5 (menampilkan histogram citra) pada DFD level 1 yaitu untuk menampilkan histogram citra, diperlukan citra *input*-an berupa citra *host*, citra *watermark*, citra *watermarked*, dan citra *watermark* hasil ekstraksi. Histogram digunakan untuk mengetahui perbedaan citra setelah dilakukan *watermarking* dan ekstraksi. Tampilan program utama dibuat menggunakan *Matlab 7.10.0.499 (R2010a)* yang terdiri dari beberapa komponen. Menu file exit berfungsi untuk keluar dari aplikasi. Menu histogram menampilkan histogram dari citra host, citra *watermark*, citra *watermarked* dan citra ekstrak. Menu *help* terdiri dari programmer berfungsi untuk menampilkan pembuat program, petunjuk berfungsi untuk menampilkan petunjuk singkat aplikasi. Tampilan utama program dengan menjalankan program utama dari sistem yaitu *testing.m* tampilan dari menjalankan program *testing.m* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Sistem Watermarking

Gambar 3 merupakan tampilan program aplikasi watermarking dan ekstraksi, dimana citra host akan

disisipi dengan citra watermark, kemudian dihasilkan citra *watermarked* dan citra hasil ekstraksi. Dari kedua hasil citra tersebut dilakukan penyimpanan guna mendapatkan nilai PSNR dan Nilai NCC. Nilai PSNR menunjukkan tingkat toleransi noise tertentu terhadap banyaknya noise pada suatu sinyal video/ citra. Noise adalah kerusakan sinyal pada bagian tertentu dalam sebuah video/citra sehingga mengurangi kualitas sinyal tersebut. Dengan kata lain PSNR merupakan suatu nilai yang menunjukkan kualitas suatu sinyal video/ citra. Histogram citra host ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan dalam Tabel I diperlihatkan nilai rasio kualitas citra (dB).



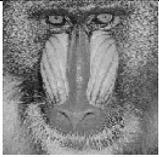
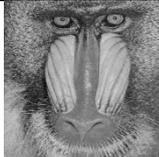
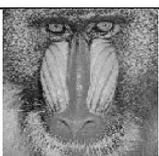
Gambar 4. Tampilan Histogram Citra

TABEL I. NILAI RASIO KUALITAS CITRA DALAM dB

Rasio dB	Kualitas Citra
51-60 dB	Excellent, tanpa derau
41-50 dB	Good, terdapat banyak derau tapi kualitas citra masih bagus
31-40 dB	Reasonable, terdapat butiran halus seperti salju dan beberapa detail citra hilang
21-30 dB	Poor, terdapat derau pada citra
0-20 dB	Unusable

Histogram berfungsi untuk menampilkan histogram citra host, citra terwatermark, citra watermark, dan citra watermark ekstraksi. Gambar 4 memperlihatkan histogram citra tersebut. Hasil Ekstrak *Watermark* dengan tiga citra *host* yaitu *babbon.bmp*, *lena.bmp*, *cameraman.bmp* dan dua citra watermark yaitu *siman.bmp* dan *bintang.bmp* seperti yang ditampilkan pada Tabel II.

TABEL II. HASIL EKSTRAKSI WATERMAR

No	Citra asal	Citra watermark	Citra ber watermark	Hasil ekstraksi	PSNR	NCC
1	 Babbon.bmp	 siman.bmp	 Babbon + siman		41.641	0.999547
2	 Lena.bmp	 siman.bmp	 Lena + siman		39.0926	0.999165
3	 Cameraman.bmp	 siman.bmp	 Cameraman + siman		33.3759	0.999264
4	 Babbon.bmp	 bintang.bmp	 Babbon + bintang		41.6783	0.999556
5	 Lena.bmp	 bintang.bmp	 Lena + bintang		39.1327	0.999265
6	 Cameraman.bmp	 bintang.bmp	 Cameraman + bintang		33.3818	0.99923

Berdasarkan Tabel II dihasilkan citra ber-watermark sebagai hasil penyisipan watermark yang tidak jauh beda dengan citra *host* dan watermark hasil ekstrak masih dapat dikenal dengan baik dikarenakan nilai NCC adalah 0.999165 - 0.999556 ini menyatakan

bahwa kemiripan citra ekstrak dengan watermark hampir sempurna sedangkan nilai PSNR 33.3759 - 41.6783 ini menyatakan citra *watermarked* masih dalam jangkauan citra *poor* (terdapat derau pada citra) hingga jangkauan citra *reasonable* (terdapat

butiran halus seperti salju dan beberapa detail citra hilang). Nilai rata-rata dari ketiga sampel citra *host* adalah sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata *PSNR* tiga sample citra *host* (baboon.bmp, lena.bmp, dan cameraman.bmp) dengan watermark siman.bmp adalah 38.0365 dB.
2. Nilai rata-rata *PSNR* tiga sample citra *host* (baboon.bmp, lena.bmp, dan cameraman.bmp) dengan watermark bintang.bmp adalah 38.0642 dB.
3. Nilai rata-rata *Nilai Correlation (NC)* tiga sample citra *host* (baboon.bmp, lena.bmp, dan cameraman.bmp) dengan watermark siman.bmp adalah 0.999325.
4. Nilai rata-rata *Nilai Correlation (NC)* tiga sample citra *host* (baboon.bmp, lena.bmp, dan cameraman.bmp) dengan watermark bintang.bmp adalah 0.999350.
5. Dilihat dari nilai *PSNR* citra baboon.bmp disisipi *watermark* siman.bmp memiliki nilai *PSNR* 41.641 lebih besar dibanding dengan citra *host* lainnya yang sama-sama disisipi dengan watermark siman.bmp dengan background colour putih.
6. Dilihat dari nilai *PSNR* citra baboon.bmp disisipi *watermark* bintang.bmp memiliki nilai *PSNR* 41.6783 lebih besar dibanding dengan citra *host* lainnya yang sama-sama disisipi dengan watermark bintang.bmp dengan *background colour* hitam.

IV. PENUTUP

Penelitian ini tentu saja masih banyak kekurangannya, karena itu diperlukan saran dan kritik yang nantinya dapat digunakan untuk lebih mengembangkan aplikasi ini. Adapun saran-saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada aplikasi ini belum dilakukan uji ketahanan citra ter-watermark dengan serangan citra yang selanjutnya pada penelitian berikutnya dapat dilakukan uji ketahanan watermark terhadap serangan.

2. Aplikasi ini menggunakan teknik watermarking dengan kombinasi transformasi fourier dan singular value decomposition, selanjutnya pada penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan kombinasi lainnya misal, kombinasi *Discrete Cosine Transform-Singular Value Decomposition, Discrete Wavelet Transform-Singular Value Decomposition, dan Singular Value Decomposition* supaya menghasilkan aplikasi yang lebih mendekati sempurna.
3. Citra *watermark* dan citra *host* yang digunakan hanya citra *grayscale* dengan format BMP. Diharapkan citra yang digunakan selanjutnya dapat menggunakan citra warna RGB dengan format selain BMP seperti, .jpg, .tif, .png dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jafilun, 2006. Digital Watermarking pada Domain Spasial Menggunakan Teknik Least Significant Bits. *Seminar Nasional Sistem dan Informatika*, STMIK AMIKOM, Yogyakarta.
- [2] Akbar, Fazlur. 2010. *Aplikasi Pengaman Hak Cipta Untuk Gambar Digital Dengan Teknik Watermarking Menggunakan Metode SVD (Singular Value Decomposition)*. Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM), Bandung.
- [3] Putra, W.C., Murinto. 2011. *Implementasi Image Watermarking pada Citra Digital dengan Discrete Wavelet Transform (DWT) Daubeshies D4*.
- [4] Etikawati, A.2007. Analisis Perbandingan Teknik Watermarking Menggunakan (Least Significant Bits) LSB dan Discrete Wavelet Transform (DWT) untuk Penyembunyian Pesan Pada Citra Digital. *Skripsi*, Teknik Informatika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.
- [5] Purwanta, A. 2006. Implementasi Algoritma Steganografi dengan Metode Least Significan Bits (LSB) untuk Keamanan Pesan pada File WAV, *Skripsi*, Teknik Informatika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.