

STUDI DAN IMPLEMENTASI *NON BLIND WATERMARKING* DENGAN METODE *SPREAD SPECTRUM*

Bayu Adi Persada – NIM : 13505043

*Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung
E-mail : if15043@students.if.itb.ac.id*

Abstrak

Distribusi data digital berupa citra sangat pesat mengingat perkembangan internet dan dunia digital yang terus maju secara keseluruhan. Tentu saja, hal ini banyak membawa keuntungan bagi para penggunanya. Namun, tidak sedikit pula bahaya dan kerugian yang menyertainya, seperti penggandaan citra secara ilegal, klaim kepemilikan atas sebuah karya, dan perubahan orisinalitas dari sebuah karya digital. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu cara untuk menangani masalah ini. Salah satu caranya yaitu dengan menggunakan digital *watermarking*. Digital *watermarking* merupakan sebuah cara untuk menanamkan sebuah berkas informasi *watermark* secara permanen ke dalam citra digital yang bertujuan untuk memproteksi citra digital tersebut.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan studi mengenai penerapan digital *watermarking* pada citra digital. Citra digital yang digunakan memiliki format *JPEG*. Dilakukan studi literatur untuk menunjang pemahaman mengenai penerapan tersebut. Selanjutnya, dilakukan proses implementasi terhadap hasil studi beserta analisis yang telah dibuat.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, dikembangkan sebuah perangkat lunak bernama *WatermarkingCo* yang berfungsi menyisipkan berkas *watermark* berupa logo biner pada citra digital berformat *JPEG*. Teknik yang digunakan dalam implementasi adalah *spread spectrum*. Dalam implementasi metode *spread spectrum* tersebut, berkas *watermark* disebar ke dalam domain frekuensi sehingga keberadaan *watermark* tersebut tidak dapat dipersepsi oleh panca indera dan memiliki kekokohan yang cukup baik.

Kata kunci : *digital watermarking*, *spread spectrum*, citra digital, logo biner, *JPEG*

1. Pendahuluan

Watermarking merupakan sebuah proses penambahan kode secara permanen ke dalam citra digital. Penyisipan kode ini harus memiliki ketahanan (*robustness*) yang cukup baik dari berbagai manipulasi, seperti perubahan, transformasi, kompresi, maupun enkripsi. Kode yang disisipkan juga tidak merusak citra digital sehingga citra digital terlihat seperti aslinya.

Watermark dalam citra digital tersebut tidak dapat diketahui keberadaannya oleh pihak lain yang tidak mengetahui rahasia skema penyisipan *watermark*. *Watermark* tersebut juga tidak dapat diidentifikasi dan dihilangkan

Penggunaan *watermarking* sangat diperlukan untuk melindungi karya intelektual digital seperti gambar, teks, musik, video, dan termasuk perangkat lunak. Penggandaan atas produk digital yang dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab semakin

meraja lela tanpa ada ikatan hukum yang pasti sehingga merugikan pemegang hak cipta akan produk digital tersebut. Oleh karena itu, penyisipan *watermark* memiliki peran yang cukup signifikan untuk mencegah hal ini terjadi.

Pengkategorian *watermarking* berdasarkan proses verifikasi *watermark* terbagi dua jenis, yaitu *blind watermarking* (verifikasi *watermark* tanpa membutuhkan citra yang asli) dan *non-blind watermarking* (verifikasi *watermark* dengan membutuhkan citra asli) [MUN04].

Label *watermark* adalah sesuatu data atau informasi yang akan dimasukkan ke dalam data digital yang ingin dilakukan proses *watermarking* [SIR04]. Ada 2 jenis label yang dapat digunakan :

1. Teks biasa : Label *watermark* dari teks biasanya menggunakan nilai-nilai ASCII

dari masing-masing karakter dalam teks yang kemudian dipecahkan atas *bit* per *bit*. Kelemahan dari label ini adalah kesalahan pada satu *bit* saja akan menghasilkan hasil yang berbeda dari teks sebenarnya.

2. Logo atau citra atau suara : Berbeda dengan teks, kesalahan pada beberapa *bit* masih dapat memberikan persepsi yang sama dengan aslinya, baik oleh pendengaran maupun penglihatan kita [SIR04].

Oleh karena itu, penyisipan logo sebagai label *watermark* dirasakan lebih *efektif* dibandingkan teks, citra, ataupun suara karena selain tidak sensitif terhadap kesalahan *bit*, ukuran *file* juga tidak terlalu besar. Logo yang dipakai berupa logo biner atau hitam putih karena komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu rumit namun tetap menjamin visualisasi yang cukup baik.

Salah satu metode yang digunakan dalam proses penyisipan label *watermark* ke suatu citra adalah metode *spread spectrum*. Metode *spread spectrum* akan diimplementasikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Metode yang diperkenalkan oleh Ingemar J. Cox dkk ini didasarkan pada domain frekuensi, yaitu dengan menanamkan sejumlah urutan bilangan *real* sepanjang n pada citra berukuran $N \times N$ dengan menghitung atau mentransformasikan terlebih dahulu menjadi koefisien *DCT* (*Discrete Cosine Transform*) $N \times N$ [SIR04]. Untuk label *watermark* yang berupa logo atau citra biner (tidak berwarna/hitam putih), maka terlebih dahulu logo tersebut harus dikonversikan menjadi deretan bilangan biner $\{0,1\}$ untuk kemudian diubah menjadi deretan bilangan yang berisi -1 dan 1 . Selanjutnya, deretan bilangan ini nantinya akan dikali dengan bilangan *real* acak antara 0 dan 1 . Bilangan-bilangan tersebut kemudian ditanamkan pada n koefisien *DCT* yang penting atau besar.

2. Dasar Teori

a. Citra Digital

Citra dapat diartikan gambar dalam proyeksi dua dimensi. Menurut definisi umum, citra merupakan fungsi kontinu dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Citra sebagai keluaran dari suatu perekaman data dapat bersifat analog, optik, atau digital. Pada tugas akhir ini, digunakan citra digital untuk mengimplementasikan digital *watermarking*.

Citra digital dapat didefinisikan secara matematis sebagai fungsi intensitas dalam dua

variabel x dan y yang dapat dituliskan $f(x,y)$, dimana (x,y) merepresentasikan koordinat spasial pada bidang dua dimensi dan $f(x,y)$ merupakan intensitas cahaya pada koordinat tersebut.

Intensitas f dari gambar hitam putih pada titik (x,y) disebut derajat keabuan (*grey level*) yang bergerak dari hitam ke putih sedangkan citranya disebut citra skala-abu (*grayscale image*) atau citra monokrom (*monochrome image*).

Derajat keabuan memiliki rentang nilai dari l_{min} sampai l_{max} . Selang (l_{min}, l_{max}) disebut skala abu. Citra monokrom disebut juga citra satu kanal yang berarti warna hanya ditentukan oleh satu fungsi intensitas saja. Berbeda dengan citra monokrom, citra berwarna disebut juga citra spektral karena warna disusun oleh tiga komponen warna, yaitu merah, hijau, dan biru (*Red, Green, Blue - RGB*). Intensitas pada suatu titik merupakan kombinasi dari tiga intensitas warna tersebut, yaitu $(f_{merah}(x,y))$, $(f_{hijau}(x,y))$, dan $(f_{biru}(x,y))$. Nilai dari masing-masing komponen warna *RGB* tersebut berkisar antara 0 sampai 255 . Representasi nilai ini berupa integer. Gambaran komponen warna *RGB* pada suatu piksel dalam citra digital dapat dilihat dalam ilustrasi pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen warna RGB pada citra

Citra digital yang berukuran $M \times N$ dapat dinyatakan sebagai matriks dengan M baris dan N kolom. Masing-masing elemen pada citra digital disebut *image element*, *picture element*, atau piksel. Secara matematis, citra yang berukuran $M \times N$ memiliki MN buah piksel.

b. Discrete Cosine Transform

Discrete Cosine Transform (DCT) adalah sebuah fungsi dua arah yang memetakan himpunan N buah bilangan *real* menjadi himpunan N buah bilangan *real* pula. Secara umum, *DCT* satu dimensi menyatakan sebuah sinyal diskrit satu dimensi sebagai kombinasi linier dari beberapa fungsi basis berupa

gelombang kosinus dikrit dengan amplitudo tertentu. Masing-masing fungsi basis memiliki frekuensi yang berbeda-beda, karena itu, transformasi *DCT* termasuk ke dalam transformasi domain frekuensi.

Amplitudo fungsi basis dinyatakan sebagai koefisien dalam himpunan hasil transformasi *DCT*. *DCT* satu dimensi didefinisikan pada persamaan berikut:

$$C(u) = \alpha(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right]$$

untuk $0 \leq u \leq N-1$.

$C(u)$ menyatakan koefisien ke- u dari himpunan hasil transformasi *DCT*. $f(x)$ menyatakan anggota ke- x dari himpunan asal. N menyatakan banyaknya suku himpunan asal dan himpunan hasil transformasi. $\alpha(u)$ dinyatakan oleh persamaan berikut: untuk $0 \leq u \leq N-1$.

$$\alpha(u) = \sqrt{\frac{1}{N}} \text{ untuk } u = 0;$$

$$\alpha(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} \text{ untuk } 1 \leq u \leq N-1.$$

Transformasi balikan yang memetakan himpunan hasil transformasi *DCT* ke himpunan bilangan semula disebut juga *inverse DCT (IDCT)*. *IDCT* didefinisikan oleh persamaan di bawah ini:

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} \alpha(u) C(u) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right]$$

untuk $0 \leq u \leq N-1$.

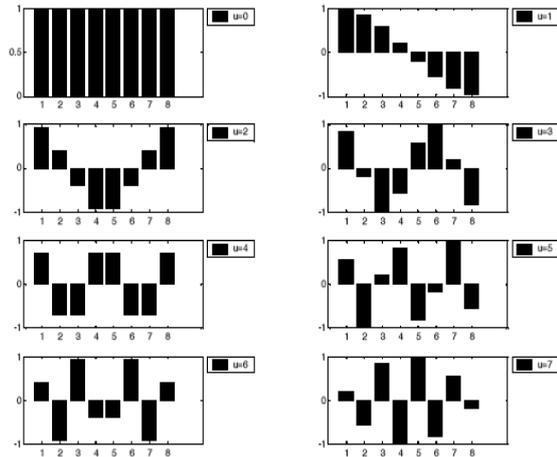
DCT dua dimensi dapat dipandang sebagai komposisi dari *DCT* pada masing-masing dimensi. Sebagai contoh, jika himpunan bilangan *real* disajikan dalam *array* dua dimensi terhadap masing-masing baris dan kemudian melakukan *DCT* satu dimensi terhadap masing-masing kolom dari hasil *DCT* tersebut. *DCT* dua dimensi dapat dinyatakan sebagai berikut dengan persamaan:

$$C(u,v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2M} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right]$$

sedangkan transformasi balikannya (invers) dinyatakan dengan

$$f(x,y) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(u,v) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2M} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right]$$

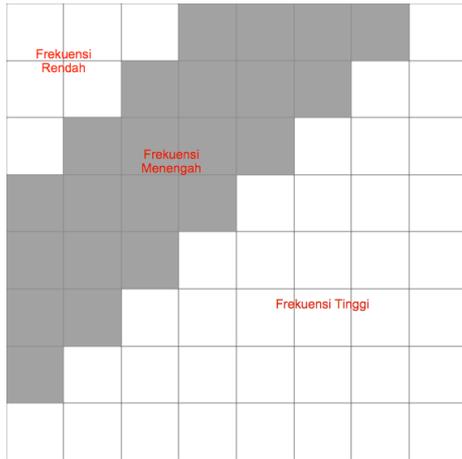
Fungsi basis *DCT* satu dimensi untuk $N=8$ dapat dilihat pada Gambar 2. Koefisien *DCT* ke- n menyatakan amplitudo dari fungsi basis untuk $u=n-1$. Pada *DCT* dua dimensi, fungsi basisnya adalah hasil perkalian antara fungsi basis yang berorientasi horisontal dengan fungsi basis yang berorientasi vertikal, sehingga koefisien-koefisien *DCT* dua dimensi biasa disajikan dalam bentuk matriks.



Gambar 2. Fungsi basis *DCT* satu dimensi untuk $N=8$

Koefisien pertama, yaitu $C(0)$ pada *DCT* satu dimensi atau $C(0,0)$ pada *DCT* dua dimensi disebut koefisien *DC*. Koefisien lainnya disebut koefisien *AC*. Dapat dilihat bahwa fungsi basis yang berkorespondensi dengan koefisien *DC* memiliki nilai tetap, sedangkan koefisien *AC* berkorespondensi dengan fungsi basis yang berbentuk gelombang.

Pada transformasi *DCT*, dikenal juga istilah koefisien frekuensi rendah, frekuensi menengah, dan frekuensi tinggi. Hal ini berkaitan dengan frekuensi gelombang pada fungsi basis *DCT*. Jika frekuensi fungsi basisnya kecil, maka koefisien yang berkorespondensi disebut koefisien frekuensi rendah. Contoh pembagian koefisien menurut frekuensinya pada *DCT* dua dimensi dengan ukuran blok 8×8 ditunjukkan pada Gambar 3.



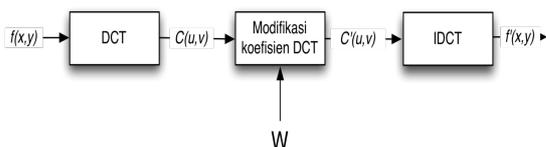
Gambar 3. Pembagian frekuensi koefisien DCT untuk blok 8 x 8

Transformasi *DCT* dua dimensi sering digunakan dalam pemrosesan citra digital. Ukuran blok yang banyak digunakan pada pemrosesan citra adalah ukuran blok kecil, misalnya 8×8 seperti pada kompresi *JPEG*. Untuk citra digital, fungsi basis dari *DCT* adalah sekumpulan citra yang disebut citra basis.

c. Penggunaan DCT dalam Domain Frekuensi

Selain domain spasial, metode lain yang digunakan untuk menyisipkan *watermark* pada berkas citra adalah metode domain frekuensi. Pada metode domain frekuensi ini, *watermark* tidak langsung disisipkan pada piksel-piksel tertentu. Berkas citra terlebih dahulu harus ditrasformasikan menjadi salah satu bentuk transform (berbentuk seperti matriks frekuensi) sebelum disisipkan *bit-bit watermark*.

Seperti yang telah disebutkan di atas, penyisipan *watermark* pada citra di ranah *DCT* dilakukan dengan cara terlebih dahulu melakukan transformasi *DCT* terhadap citra yang akan disisipi *watermark*. Setelah dilakukan transformasi, kemudian dilakukan modifikasi terhadap koefisien-koefisien *DCT* sesuai dengan *bit watermark* yang akan disisipkan. Setelah dilakukan modifikasi, dilakukan *inverse DCT* untuk mengembalikan data citra ke ranah spasial. Skema proses *watermarking* di ranah *DCT* dapat dilihat pada Gambar II-9.



Gambar 4. Skema watermarking citra di ranah DCT

f melambangkan matriks nilai piksel citra asal, C melambangkan matriks koefisien *DCT* citra

asal, W melambangkan data *watermark* yang disisipkan, C' melambangkan matriks koefisien *DCT* yang sudah dimodifikasi, dan f' melambangkan matriks nilai piksel sesudah penyisipan *watermark*.

Proses penyisipan *watermark* pada pelaksanaan Tugas Akhir ini mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Cox et al. *Watermark* yang disisipkan terdiri dari deretan bilangan real $W = w_1, \dots, w_n$. *Watermark* tersebut diacak sehingga setiap bilangan real w_i bersifat independen terhadap bilangan real yang lain. Koefisien *DCT* dimodifikasi menurut persamaan:

$$c_i' = c_i(1 + \alpha w_i)$$

dimana c_i' adalah koefisien *DCT* setelah dimodifikasi, c_i merupakan koefisien *DCT* sebelum dimodifikasi, dan w_i adalah nilai *bit watermark* yang disisipkan. Dalam implementasi metode ini, nilai bilangan real acak yang dihasilkan berada antara 0 dan 1 agar tidak terlalu jauh mengubah citra asli namun tetap kokoh terhadap pengolahan atau manipulasi.

Nilai α dapat bernilai bilangan bulat positif berapa pun. Namun, yang perlu diperhatikan adalah penggunaan nilai α yang besar dapat membuat citra lebih rapuh terhadap pengolahan lanjutan dibandingkan penggunaan nilai α yang kecil. Lebih dari itu, nilai α yang besar dapat mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan atau terlihat pada citra.

Pada gambar D yang akan disisipi *watermark*, diambil koefisien-koefisien $C = c_1, \dots, c_n$ dimana *watermark* $W = w_1, \dots, w_n$ akan disisipkan yang nantinya akan menghasilkan koefisien-koefisien termodifikasi $C' = c_1', \dots, c_n'$. C' akan dimasukkan kembali ke lokasi yang bersesuaian untuk menghasilkan gambar ber-*watermark* D' .

Panjang n menunjukkan sejauh mana *watermark* akan disebar kepada komponen koefisien yang relevan dari sebuah gambar. Pada beberapa kasus tertentu, panjang n disesuaikan dengan banyaknya *bit* dari sebuah berkas *watermark* yang akan disisipkan, misalnya teks atau logo.

Ada beberapa cara dalam menentukan lokasi penyisipan *watermark*. Yang perlu diperhatikan adalah pemilihan posisi penyisipan *watermark* dapat berpengaruh terhadap *fidelity* dan *robustness*. Penyisipan

pada koefisien yang bernilai tinggi (biasanya koefisien yang berasosiasi dengan frekuensi rendah) lebih kokoh terhadap modifikasi citra, tetapi relatif lebih mudah mengakibatkan perubahan yang dapat dilihat. Sebaliknya, penyisipan pada koefisien bernilai kecil (frekuensi tinggi) tidak mengakibatkan perubahan yang terlalu besar, tetapi kurang kokoh terhadap modifikasi citra. Oleh karena itu, untuk menunjang karakteristik *fidelity* dan *robustness*, *watermark* akan disisipkan ke dalam koefisien-koefisien tertinggi dari matriks transformasi namun tidak termasuk komponen *DC*.

Ekstraksi *watermark* dapat dilakukan dengan cara membandingkan koefisien *DCT* citra ber-*watermark* dengan koefisien *DCT* citra yang asli. Perubahan koefisien akan terjadi pada matriks transformasi dari sebuah citra ber-*watermark* tersebut. Oleh karena itu, perbandingan antara kedua matriks koefisien *DCT* tersebut akan menunjukkan koefisien mana yang berubah dan mana yang tidak. Koefisien *DCT* citra ber-*watermark* yang berbeda dari koefisien citra asli menunjukkan adanya modifikasi dari koefisien tersebut sehingga pelacakan *bit watermark* dapat dilakukan terhadap koefisien tersebut.

Data *watermark* yang diekstraksi tersebut kemudian dibandingkan dengan data *watermark* asli. Salah satu cara untuk melakukan perbandingan *watermark* adalah dengan menghitung *bit error rate (BER)*, yaitu perbandingan antara *bit* yang salah dengan banyaknya *bit* secara keseluruhan. Persamaan *BER* dijabarkan sebagai berikut:

$$BER(W, W') = \frac{\sum p_i}{N}$$

w adalah *watermark* asli dan w' adalah *watermark* yang diekstraksi. N adalah banyaknya *bit* dan nilai p_i didefinisikan sebagai berikut:

$$p_i = 1 \text{ untuk } w_i \neq w'_i$$

$$p_i = 0 \text{ untuk } w_i = w'_i$$

d. Digital Watermarking

Teknik digital *watermarking* pada prinsipnya memiliki prinsip yang sama dengan *watermarking* pada media selain citra. Secara umum, *watermarking* terdiri dari dua tahapan, yaitu penyisipan *watermark* dan ekstraksi atau pendeteksian *watermark* [MUN06].

Pengekstraksian dan pendeteksian sebuah *watermark* sebenarnya tergantung pada

algoritma yang digunakan untuk *watermarking*. Pada beberapa algoritma *watermarking*, *watermark* dapat diekstraksi dalam bentuk yang eksak, sedangkan pada algoritma yang lain, hanya dapat dilakukan pendeteksian *watermark* pada citra.

Mutu dari digital *watermarking* meliputi beberapa parameter utama, yaitu :

c. Fidelity

Penyisipan suatu *watermark* pada citra seharusnya tidak mempengaruhi nilai citra tersebut. *Watermark* pada citra idealnya tidak dapat dipersepsi oleh indera dan tidak dapat dibedakan dengan citra yang asli.

d. Robustness

Watermark dalam citra digital harus memiliki ketahanan yang cukup terhadap pemrosesan digital yang umum.

e. Security

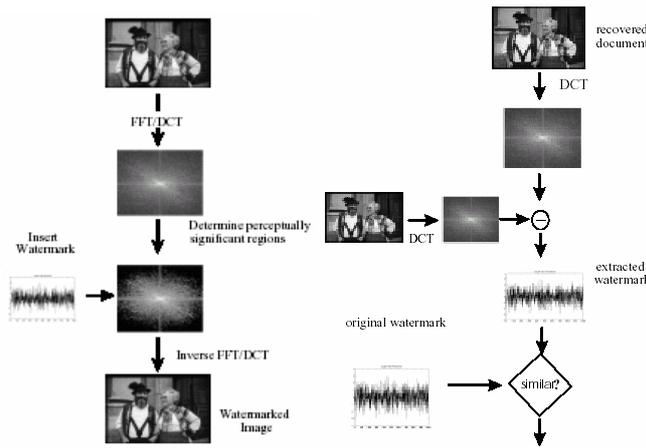
Watermarking memiliki daya tahan terhadap usaha sengaja untuk memindahkan *watermark* dari suatu citra ke citra yang lain.

Dari ketiga kriteria mutu digital *watermarking* di atas, *fidelity* merupakan kriteria yang menjadi prioritas.

e. Metode Spread Spectrum

Metode ini diperkenalkan oleh Ingemar J. Cox dan kawan-kawan. Metode *spread spectrum* ini memanfaatkan domain frekuensi dari suatu citra digital. Langkah yang pertama kali dilakukan dalam *watermarking* dengan metode *spread spectrum* ini adalah mentransformasikan citra ke domain frekuensi. Selanjutnya, *bit watermark* disipkan pada koefisien transformasi (misalnya koefisien *DCT*, *FFT*, atau *DWT*).

Gambar 5 menunjukkan tahap-tahap yang harus dilalui dalam proses digital *watermarking* dengan metode *spread spectrum* yang diperkenalkan oleh Cox. Pada gambar sebelah kiri terdapat tahapan proses untuk menyisipkan berkas *watermark* sedangkan pada gambar sebelah kanan ditunjukkan proses ekstraksi *watermark* dari sebuah citra ber-*watermark*.



Gambar 5. Teknik watermarking dengan metode spread spectrum

Teknik watermarking dengan metode *spread spectrum* ini dapat dianalogikan dengan komunikasi *spread spectrum*, yaitu watermark disebar di antara banyak komponen frekuensi. Secara umum, watermarking dengan metode *spread spectrum* ini menghasilkan watermark yang lebih kokoh terhadap serangan, seperti kompresi, *cropping*, dan teknik *editing* umum lainnya.

3. Analisis Masalah

a. Proses Enkoding

Menurut metode yang dikembangkan oleh Cox et al [COX97], berkas informasi watermark yang akan disisipkan ke dalam berkas citra digital terdiri dari bilangan-bilangan *real* sehingga dalam penyisipan logo biner sebagai berkas watermark, logo biner tersebut harus terlebih dahulu ditransformasikan menjadi sebuah deretan bilangan *real*.

Transformasi berkas watermark berupa logo biner menjadi bilangan *real* dimulai ketika mengganti *bit* 0 untuk sebuah piksel berwarna hitam dan *bit* 1 untuk piksel berwarna putih. Berikut diberikan contoh hasil pembacaan sebuah berkas watermark biner berukuran 4×4 bit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

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

Gambar 6. Contoh matriks watermark logo biner

Setelah matriks watermark terbentuk, untuk mempermudah logika penyisipan, dibuat sebuah deret bilangan biner yang berbentuk seperti larik (*array*) yang ditunjukkan pada Gambar 7.

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

Gambar 7. Deretan bilangan biner dari contoh berkas watermark

Berkas watermark yang akan disisipkan dinotasikan dengan $W = w_1, \dots, w_n$. n merupakan jumlah *bit* watermark yang akan disisipkan. *Bit-bit* watermark tersebut akan disisipkan ke dalam citra ($C = c_1, \dots, c_n$) sehingga menghasilkan citra yang mengandung watermark ($C' = c'_1, \dots, c'_n$). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa koefisien *DCT* pada citra yang akan diubah sejumlah dengan banyaknya *bit-bit* watermark yang akan disisipkan.

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, koefisien *DCT* dimodifikasi menurut persamaan (2.6) $c'_i = c_i(1 + \alpha w_i)$ dimana c'_i adalah koefisien *DCT* setelah dimodifikasi, c_i merupakan koefisien *DCT* sebelum dimodifikasi, α merupakan parameter skala yang menentukan sejauh mana W mengubah C , dan w_i adalah nilai *bit* watermark yang disisipkan.

Nilai w_i akan diubah menjadi -1 jika *bit* yang akan disisipkan adalah 0 atau 1 jika *bit* yang disisipkan adalah 1. Perubahan nilai w_i akan membentuk deretan bilangan biner termodifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1
----	---	---	----	----	---	---	---	---	---	----	---	----	---	---	----

Gambar 8. Deretan bilangan biner dari contoh berkas watermark hasil perubahan bit

Algoritma pembangkitan bilangan acak semu dipergunakan untuk membuat deretan bilangan *real* sebanyak jumlah *bit* watermark yang akan disisipkan. Setiap bilangan *real* acak yang dibuat akan dikalikan dengan koefisien hasil perubahan *bit* $\{-1,1\}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar III-3. Dengan membangkitkan bilangan acak, setiap bilangan *real* watermark yang dihasilkan saling lepas antara satu dengan yang lain. Bilangan *real* acak yang dihasilkan harus berkisar antara 0 dan 1 sehingga perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan dan tidak dapat dipersepsi.

Deretan bilangan *real* acak yang telah dikalikan dengan koefisien perubahan *bit* $\{-1,1\}$ akan menjadikan *bit* watermark yang akan disisipkan pada matriks koefisien *DCT* citra asal.

Gambar 9 menunjukkan sebuah contoh matriks hasil transformasi *DCT* dari sebuah citra. Selanjutnya, *bit-bit* watermark yang telah

dihasilkan dan dimodifikasi akan disisipkan ke dalam koefisien-koefisien tertinggi pada matriks koefisien *DCT* tersebut.

Transformasi *DCT* pada citra digital memanfaatkan tabel nilai *cosine* 8 x 8 untuk relatif mempercepat waktu pemrosesan karena lebih efisien untuk mengambil sebuah nilai dalam tabel dibandingkan dengan memanggil fungsi *cos* untuk mengevaluasi sebuah argumen.

0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536
0.4904	0.4157	0.2278	0.0975	-0.0975	-0.2778	-0.4157	-0.4904
0.4619	0.1913	-0.1913	-0.4619	-0.4619	-0.1913	0.1913	0.4619
0.4157	-0.0975	-0.4904	-0.2778	0.2778	0.4904	0.0975	-0.4157
0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536	0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536
0.2278	-0.4904	0.0975	0.4157	-0.4157	-0.0975	0.4904	-0.2778
0.1913	-0.4619	0.4619	-0.1913	0.1913	0.4619	-0.4619	0.1913
0.0975	-0.2778	0.4157	-0.4904	0.4904	-0.4157	0.2778	-0.0975

Gambar 9. Contoh matriks koefisien *DCT* sebuah citra digital

Penentuan koefisien-koefisien tertinggi yang terdapat pada matriks koefisien *DCT* dilakukan dengan melakukan penelusuran pada masing-masing blok. Koefisien-koefisien tersebut tidak termasuk *DC* atau koefisien pertama pada matriks koefisien *DCT*. Semua nilai koefisien yang ditelusuri dimutlakkkan sehingga tanda minus tidak mempengaruhi besar kecilnya nilai. Penelusuran matriks koefisien *DCT* untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien tertinggi dapat dilihat pada Gambar 10.

0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536
0.4904	0.4157	0.2278	0.0975	-0.0975	-0.2778	-0.4157	-0.4904
0.4619	0.1913	-0.1913	-0.4619	-0.4619	-0.1913	0.1913	0.4619
0.4157	-0.0975	-0.4904	-0.2778	0.2778	0.4904	0.0975	-0.4157
0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536	0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536
0.2278	-0.4904	0.0975	0.4157	-0.4157	-0.0975	0.4904	-0.2778
0.1913	-0.4619	0.4619	-0.1913	0.1913	0.4619	-0.4619	0.1913
0.0975	-0.2778	0.4157	-0.4904	0.4904	-0.4157	0.2778	-0.0975

Gambar 10. Skema penelusuran matriks koefisien *DCT*

Untuk implementasi pada sebuah citra dengan ukuran tertentu, citra asal dibagi menjadi blok-blok berukuran 8 x 8. Pembagian matriks koefisien citra menjadi blok-blok ini bertujuan untuk mengurangi jumlah total operasi pengalihan dan penambahan yang dibutuhkan dan mengeliminasi kebutuhan untuk

menghitung nilai *cosine* dari banyak argumen yang berbeda. Pada akhirnya, proses transformasi yang dilakukan dapat lebih cepat dan efisien.

Nilai α yang digunakan pada persamaan dapat memiliki beberapa nilai atau terdapat satu parameter skala untuk setiap *bit watermark* yang akan disisipkan. Namun, pada implementasi Tugas Akhir ini, digunakan nilai parameter skala tunggal dengan rentang antara 0 sampai 1. Nilai α merupakan bilangan *real* positif.

Penentuan nilai α ini mempertimbangkan sensitivitas citra digital nantinya jika mengalami pengolahan. Nilai α yang besar membuat citra akan rapuh terhadap pengolahan citra atau perubahan tertentu. Oleh karena itu, pemilihan nilai α yang relatif kecil dapat dikatakan membuat *watermark* menjadi lebih kokoh.

0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536	0.3536
c_1'	0.4157	0.2278	0.0975	-0.0975	-0.2778	-0.4157	c_2'
c_3'	0.1913	-0.1913	c_4'	c_5'	-0.1913	0.1913	c_6'
0.4157	-0.0975	c_7'	-0.2778	0.2778	c_8'	0.0975	-0.4157
0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536	0.3536	-0.3536	-0.3536	0.3536
0.2278	c_9'	0.0975	0.4157	-0.4157	-0.0975	c_{10}'	-0.2778
0.1913	c_{11}'	c_{12}'	-0.1913	0.1913	c_{13}'	c_{14}'	0.1913
0.0975	-0.2778	0.4157	c_{15}'	c_{16}'	-0.4157	0.2778	-0.0975

Gambar 11. Matriks koefisien *DCT* hasil penyisipan *watermark*

Setelah *bit-bit watermark* tersebut disisipkan ke dalam matriks koefisien *DCT* dari suatu citra digital, maka akan dilakukan invers *DCT* untuk mendapatkan kembali sebuah visualisasi citra yang ber-*watermark*. Citra yang telah mengandung *watermark* nantinya tidak dapat dipersepsi berbeda dengan citra asal oleh panca indra.

b. Proses Dekoding

Proses dekoding *watermark* dilakukan untuk mengambil kembali (ekstraksi) berkas informasi *watermark* yang terdapat pada sebuah citra yang telah mengandung *watermark*.

Untuk melakukan operasi ekstraksi *watermark*, diperlukan citra uji (ber-*watermark*), citra asal, dan berkas *watermark* asal. Dengan melakukan transformasi *DCT* pada kedua citra, maka dapat diketahui koefisien *DCT* per blok untuk setiap citra.

Perbandingan koefisien *DCT* antara kedua citra tersebut dilakukan untuk dilacak keberadaan *bit-bit watermark* yang telah disisipkan. Perbedaan atau selisih nilai pasti akan terdapat pada sejumlah koefisien jika memang telah terjadi proses penyisipan *watermark* pada citra tersebut.

Pada Gambar III-8 terlihat pada matriks termodifikasi, terdapat koefisien-koefisien $DCT(C' = c_1', c_2', c_3', \dots, c_{16}')$ yang telah mengalami perubahan atau modifikasi karena penyisipan bilangan *watermark*. Dalam proses ekstraksi ini, setiap koefisien-koefisien dari citra asal dan citra uji dibandingkan satu per satu hingga menemukan koefisien yang berbeda nilai. Jumlah koefisien yang berbeda atau memiliki selisih nilai menunjukkan jumlah *bit watermark* yang telah disisipkan. Proses perbandingan tersebut akan terus dilakukan hingga koefisien terakhir pada masing-masing citra.



Gambar 12. Perbandingan matriks koefisien DCT citra asal dan citra ber-watermark

Skema proses ekstraksi berkas *watermark* dari sebuah citra digital secara umum diilustrasikan pada Gambar 12. Jika sebuah koefisien *DCT* pada citra uji atau ber-*watermark* lebih besar daripada koefisien *DCT* pada citra asal berarti pada koefisien tersebut disisipkan *bit* 1. Hal ini dikarenakan penyisipan *bit* positif 1 menyebabkan koefisien termodifikasi bernilai lebih besar daripada koefisien awal. Namun, jika suatu nilai koefisien *DCT* citra uji lebih kecil dari koefisien *DCT* citra asal berarti pada koefisien tersebut disisipkan *bit* 0 karena penyisipan *bit* 0 akan mengurangi nilai koefisien citra asal.

Untuk memastikan *watermark* hasil ekstraksi terbentuk dengan baik, dibutuhkan *watermark* yang telah disisipkan. Hal ini diperuntukkan sebagai dasar pembentukan kembali *watermark* dengan ukuran panjang dan lebar yang pasti. Selain itu, adanya *watermark* asal juga berguna untuk perhitungan *bit error rate (BER)* dengan memanfaatkan persamaan (2.7) yang dihasilkan dengan cara membandingkan masing-masing *bit* dari kedua *watermark*

tersebut. Hasil perbandingan kedua *watermark* ini dapat memperlihatkan sejauh mana *watermark* hasil ekstraksi mirip atau serupa dengan berkas *watermark* asal.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, perangkat lunak yang memiliki fungsi menyisipkan dan mengekstraksi berkas *watermark* berupa logo biner berhasil dibangun. Proses selanjutnya adalah pengujian untuk memeriksa apakah perangkat lunak yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dan *watermark* yang disisipkan bersifat kokoh.

Perangkat lunak yang dibangun diberi nama WatermarkingCo. Untuk menguji kebenaran perangkat lunak ini, dilakukan pengujian dengan melakukan penyisipan dan ekstraksi berkas *watermark* pada citra *JPEG* serta uji ketahanan *watermark*.

a. Penyisipan *Watermark*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah citra yang telah disisipi *watermark* tidak dipersepsi berbeda dengan citra asal.

Tabel 1. Proses penyisipan watermark

PROSES PENYISIPAN		
Logo	Nama File	optic.jpg
	Ukuran	4 KB (3326 bytes)
	Dimensi	82 x 82
Citra	Preview	
	Nama File	lena.jpg
	Ukuran	56 KB (56506 bytes)
Citra Ber-watermark	Dimensi	256 x 256
	Preview	
	HASIL	
Citra Ber-watermark	Nama File	lena-optic.jpg
	Ukuran	16 KB (12404 bytes)
	Dimensi	256 x 256
	Waktu	25,83 detik

	Preview	
--	---------	---

Dari hasil pengujian, terbukti bahwa WatermarkingCo mampu menyisipkan berkas watermark berupa logo biner pada citra digital dengan format *JPEG* tanpa merusak citra digital tersebut sehingga tidak dapat dibedakan antara citra asal dan citra ber-watermark.

b. Ekstraksi Watermark

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah watermark dapat diekstraksi dari sebuah citra ber-watermark dengan bantuan citra asal.

Tabel 2. Proses ekstraksi watermark

PROSES EKSTRAKSI		
Citra Ber-watermark	Nama File	lena-optic.jpg
	Ukuran	16 KB (12404 bytes)
	Dimensi	256 x 256
	Preview	
Citra Asal	Nama File	lena.jpg
	Ukuran	56 KB (56506 bytes)
	Dimensi	256 x 256
	Preview	
Logo	Nama File	optic.jpg
	Ukuran	4 KB (3326 bytes)
	Dimensi	82 x 82
	Preview	
HASIL		
Watermark Ekstraksi	Nama File	optic-exlena.jpg
	Ukuran	8 KB (5610 bytes)

	Dimensi	82 x 82
	Waktu	25.32 detik
	Preview	
	BER	18 %

Dari hasil pengujian, terbukti bahwa WatermarkingCo mampu mengekstraksi berkas watermark berupa logo biner dari citra ber-watermark. Namun, terdapat noise pada watermark ekstraksi. Hal ini disebabkan pada transformasi domain frekuensi dan kompresi citra *JPEG*, terjadi kehilangan informasi karena sifat kompresi *JPEG* yang *lossy*. Sebagai catatan, tidak mungkin watermark ekstraksi memiliki bentuk yang sama persis dengan watermark asal.

c. Uji Ketahanan Watermark

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana watermark yang disisipkan memiliki ketahanan terhadap pengolahan citra yang umum.

UJI KETAHANAN WATERMARK – JPEG DITHERING		
Citra Ber-watermark Termodifikasi	Nama File	lena-optic-dithering.jpg
	Ukuran	36 KB (35303 bytes)
	Dimensi	256 x 256
	Preview	
Citra Asal	Nama File	lena.jpg
	Ukuran	56 KB (56506 bytes)
	Dimensi	256 x 256
	Preview	
Logo	Nama File	optic.jpg
	Ukuran	4 KB (3326 bytes)
	Dimensi	82 x 82
	Preview	
HASIL		
Watermark Ekstraksi	Nama File	optic-exlenadithering.jpg
	Ukuran	8 KB (7695 bytes)

	Dimensi	82 x 82
	Waktu	25.96 detik
	Preview	
	BER	18 %

Dari hasil pengujian, terbukti bahwa *watermark* yang disisipkan bersifat kokoh terhadap pengolahan citra karena visualisasinya masih baik dan dapat dipersepsi serupa dengan *watermark* asal.

5. Kesimpulan

Berikut, beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pembangunan perangkat lunak beserta pengujiannya:

1. Digital *Watermarking* dengan menggunakan metode *spread spectrum* menurut metode Cox dapat diterapkan pada berkas citra digital.
2. Perangkat lunak *WatermarkingCo* yang mengimplementasikan teknik *non-blind digital watermarking* dengan metode *spread spectrum* berhasil dibangun. Kebutuhan fungsional perangkat lunak, yaitu proses penyisipan dan ekstraksi berkas *watermark* berupa logo biner, sudah dapat dilakukan dengan baik.
3. Kompresi citra digital berformat *JPEG* bersifat *lossy* sehingga memungkinkan adanya informasi yang hilang ketika pemrosesan citra berlangsung.
4. *Watermark* yang disisipkan terbukti cukup kokoh terhadap pengolahan pada citra digital ber-*watermark* karena setelah diekstraksi, visualisasinya masih dapat dipersepsi dengan cukup baik.

6. Daftar Referensi

- [1] *Cabeen, Ken, Peter Grent. 1999. Image Compression and the Discrete Cosine Transform. Math 45, College of the Redwood.*
- [2] *Cox, Ingemar J, Joe Kilian, Tom Leighton, Talal Shamoan. 1997. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. IEEE Trans.*
- [3] *Fahmi. 2007. Studi dan Implementasi Watermarking Citra Digital dengan Fungsi Hash. Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.*
- [4] *Ali Khayam, Sye. 2003. The Discrete Cosine Transform : Theory and Application. Department of Electrical and Computer Engineering, Michigan State University.*

[5] *Meliani, Shanty. 2003. Robust dan Non Blind Watermarking pada Citra Digital dengan Metode Spread Spectrum. Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.*

[6] *Munir, Rinaldi. 2006. Kriptografi. Penerbit Informatika, Bandung.*

[7] *Sirait, Rummi. 2004. Teknologi Watermarking pada Citra Digital.*