

PERBANDINGAN TEKNIK PENYEMBUNYIAN DATA DALAM DOMAIN SPASIAL DAN DOMAIN FREKUENSI PADA *IMAGE WATERMARKING*

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

Makalah ini membahas studi pertandingan teknik penyembunyian data yang dapat dilakukan pada sebuah proses *watermarking* untuk sebuah citra dalam dua domain yang berbeda, yaitu domain spasial dan domain frekuensi. Proses penyembunyian atau penyisipan informasi dalam *watermarking* memang dapat menggunakan bermacam-macam teknik. Teknik-teknik tersebut dikategorikan berdasarkan pemanfaatan domain dalam sebuah citra.

Dalam penggunaan domain spasial, teknik-teknik yang digunakan adalah LSB (*Least Significant Bit*) metode adaptif, dan *patchwork*. Teknik-teknik penyisipan informasi *watermark* tersebut dilakukan dengan melakukan perubahan bit-bit data secara langsung pada data spasial citra penampungnya. Teknik-teknik yang memanfaatkan domain frekuensi, atau dapat juga disebut domain transformasi, menggunakan koefisien transformasi, seperti DCT (*Discrete Cosine Transform*), FFT (*Fast Fourier Transform*), dan DFT (*Discrete Fourier Transform*). Dalam penggunaan domain frekuensi, penyisipan informasi *watermark* dilakukan dengan cara melakukan transformasi pada data penampung, kemudian perubahan dilakukan terhadap koefisien transformasi.

Penggunaan teknik penyisipan informasi *watermark* dengan memanfaatkan teknik-teknik dalam domain spasial maupun domain frekuensi memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Namun, yang terpenting dalam sebuah proses *image watermarking* adalah informasi dapat disisipkan ke dalam sebuah citra tanpa merusak citra aslinya sehingga keberadaan letak *watermark* di dalam citra dapat tersamar dan tidak terlihat oleh indera.

Kata kunci : *image watermarking*, domain spasial, domain frekuensi, metode adaptif, *Discrete Cosine Transform*, *watermark*, citra digital.

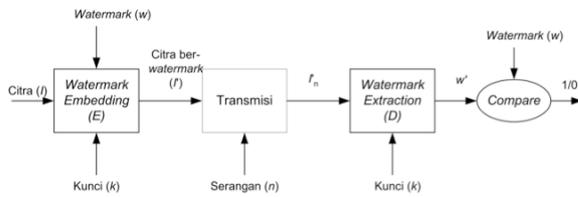
1. Pendahuluan

Teknologi pertama yang digunakan untuk mengatasi masalah penyalahgunaan sebuah citra digital, seperti pengambilan hak cipta, distribusi ilegal, dsb, adalah kriptografi. Kriptografi sangat umum digunakan dimanamana. Namun, kriptografi memiliki kelemahan, yaitu ketika kuncinya telah didekripsi maka sudah tidak ada lagi proteksi pada suatu media atau citra.

Oleh karena itu, sangat dibutuhkan adanya cara alternatif atau pelengkap kriptografi, teknologi yang mampu memproteksi isi media bahkan setelah didekripsi. *Watermarking* memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan ini karena peletakan informasi *watermark* dalam isi yang tidak dapat diambil dalam penggunaan normal.

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.



Gambar 1. Skema *image watermarking*.

Gambar di atas menunjukkan skema dalam sebuah proses penyisipan *watermark* pada citra digital sekaligus pengujian ekstraksi *watermark*.

Terlihat, ketika terjadi serangan pada sebuah citra, kemudian *watermark* diekstraksi. Dari hasil ekstraksi *watermark* inilah nantinya akan diketahui apakah citra tersebut telah dimanipulasi. Jika memang citra tersebut telah dimanipulasi oleh pihak-pihak tertentu, maka *watermark* yang diekstraksi akan rusak.

Dalam *watermarking*, terdapat dua proses penting, yaitu enkripsi dan dekripsi. Enkripsi dalam hal ini berarti proses penyisipan pesan atau informasi ke dalam suatu citra digital.

Teknik penyisipan *watermark* ke dalam sebuah citra dapat dibedakan berdasarkan ranah penyisipannya, yaitu :

1. Ranah spasial

Penyisipan *watermark* dilakukan dengan melakukan perubahan bit-bit data secara langsung pada data spasial citra penampungnya. Contohnya adalah penyisipan *watermark* pada LSB (*Least Significant Bit*).

2. Ranah frekuensi

Penyisipan *watermark* dilakukan dengan cara melakukan transformasi pada data penampung, kemudian perubahan dilakukan terhadap koefisien transformasinya. Contohnya adalah penyisipan *watermark* di ranah frekuensi dengan terlebih dahulu melakukan transformasi DCT (*Discrete Cosine Transform*).

3. Ranah *feature*

Penyisipan *watermark* dilakukan dengan menggunakan *feature point extraction* untuk menentukan daerah yang akan disisipi *watermark*. Metode ini termasuk metode baru di bidang *watermarking*. Namun, penyisipan *watermark* tetap dilakukan pada ranah spasial dan ranah frekuensi.

Dalam makalah kali ini, akan dijelaskan penggunaan metode adaptif untuk domain spasial dan penggunaan DCT (*Discrete Cosine Transform*) untuk domain frekuensi untuk nanti akan dibandingkan sehingga dapat dilihat

kelebihan dan kekurangan masing-masing penggunaannya.

2. Metode Adaptif dalam Domain Spasial

Metode adaptif dalam proses *watermarking* memanfaatkan sensitifitas dari sistem penglihatan manusia dengan memodifikasi tingkat intensitas dari piksel-piksel dari suatu blok citra digital secara adaptif.

Selain tetap menjaga tingkat transparansi *watermark* pada citra digital, teknik ini juga dapat diandalkan dalam menghadapi pengolahan citra digital pada umumnya seperti *cropping*, *scaling*, *rotation*, *low-pass filtering* ataupun *lossy compression* (JPEG).

Sebenarnya, penyisipan informasi *watermark* pada bit-bit yang paling tidak signifikan (LSB) dari sebuah piksel citra tidak menyebabkan perbedaan dalam penginderaan dengan mata manusia. Akan tetapi, *watermark* tidak memiliki ketahanan yang cukup dan mudah rusak ketika menghadapi operasi pemrosesan citra digital yang dilakukan, seperti pemfilteran *low-pass*.

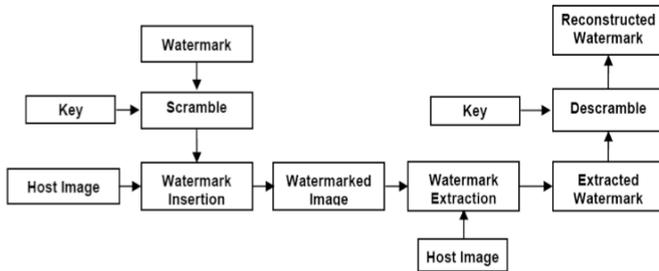
Oleh karena itu, untuk membuat *watermark* lebih kokoh terhadap serangan, *watermark* sebaiknya ditanamkan pada bit-bit yang lebih signifikan. Hal ini menimbulkan semacam *trade-off* karena citra ber-*watermark* yang dihasilkan akan terlihat banyak distorsi dan bertentangan dengan kebutuhan tak terlihat oleh indera mata. Untuk memenuhi syarat kekokohan dan transparansi, maka *watermark* disisipkan secara adaptif dengan memodifikasi intensitas pada piksel tertentu sebesar-besarnya dan tidak terlihat oleh mata manusia.

Host image atau *cover image* adalah citra yang akan disisipi *watermark* melalui proses penyisipan. Proses pengacakan *watermark* atau dapat disebut *scramble*, dilakukan sebelum penyisipan ditujukan untuk mencegah *tempering* dan penyalahgunaan akses *watermark*.

Posisi piksel-piksel dalam sebuah *watermark* akan teracak dan kemudian dicatat ke dalam *key* sehingga dapat disusun kembali setelah proses ekstraksi. Setelah *watermark* berhasil disisipkan dalam sebuah citra, citra ber-*watermark* tersebut akan disimpan dengan *key*. Dalam proses pengekstraksian *watermark* dari citra, dibutuhkan citra asal sebagai acuan dan pembanding. Proses akhir yang dilakukan adalah rekonstruksi (*descramble*) yang

bertujuan untuk menyusun kembali *watermark* setelah diacak.

Proses penyisipan *watermark* dengan metode adaptif secara umum dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Diagram blok algoritma adaptive watermarking.

2.1 Penyisipan Watermark

Setelah label *watermark* diacak, setiap bit piksel-pikselnya disisipkan ke dalam blok-blok piksel pada citra *host*. Ukuran dan banyaknya blok-blok piksel tergantung kepada ukuran citra *host* dan *watermark*. Citra yang akan disisipkan *watermark* ini dibagi menjadi $N \times M$ blok dengan setiap bloknya disisipkan satu bit *watermark*. Misalkan sebuah *host image* A , berukuran $W \times H$ piksel akan disisipkan *watermark* B dengan ukuran $N \times M$, maka *host image* akan dibagi menjadi $N \times M$ blok dengan jumlah piksel setiap bloknya

$$\frac{W}{N} \times \frac{H}{M}.$$

Misalkan dengan ukuran *host image* 800×600 piksel dan *watermark* 200×200 piksel, maka *host image* dibagi menjadi 200×200 blok dengan ukuran 4×3 piksel. Lalu, setiap bit *watermark*-nya disisipkan pada 40.000 yang berukuran 4×3 .

Setelah diacak, lalu bit-bit *watermark* bw_{ij} disisipkan pada blok B_{ij} dengan langkah-langkah sebagai berikut (Lee dan Lee, 1999):

1. Bit-bit *watermark* bw_{ij} akan disisipkan berurutan sesuai dengan bloknya B_{ij} .
2. Hitung intensitas rata-rata (y_{avg}), maksimum (y_{max}), dan minimum (y_{min}) dari blok B_{ij} .
3. Hitung intensitas rata-rata m_H (intensitas tinggi) dan m_L (intensitas rendah).

$$m_H = \frac{(y_{max} + y_{avg})}{2},$$

$$m_L = \frac{(y_{avg} + y_{min})}{2} \quad (1)$$

4. Dengan nilai bit *watermark* bw_{ij} , modifikasi nilai intensitas piksel-piksel pada blok B_{ij} dengan aturan berikut:

- a. $bw_{ij} = 1$:
 - $y' = y_{max}$ jika $y > m_H$
 - $y' = y_{avg}$ jika $m_L \leq y < y_{avg}$
 - $y' = y + \delta$ lainnya;
- b. $bw_{ij} = 0$:
 - $y' = y_{min}$ jika $y < m_L$
 - $y' = y_{avg}$ jika $y_{avg} \leq y < m_H$
 - $y' = y - \delta$ lainnya;

dengan y' adalah intensitas yang baru dan δ adalah sebuah nilai acak yang kecil, yaitu suatu nilai *offset* yang diatur untuk mengubah sedikit nilai intensitas. Batasan nilai delta tersebut merupakan parameter yang nantinya akan menentukan tingkat ketahanan dan transparansi gambar.

Dengan demikian, intensitas piksel dimodifikasi dalam *range* yang ditentukan oleh nilai kontras dari blok. Jika nilai kontras besar, maka intensitas piksel-piksel akan dimodifikasi lebih besar daripada jika kontras yang ada relatif kecil. Jadi, piksel-piksel dimodifikasi secara adaptif menurut nilai kontras dari blok bersangkutan.

Hasilnya, jika bit *watermark* yang disisipkan $bw = 1$, maka jumlah nilai intensitas piksel dari blok tersebut akan lebih besar daripada blok citra tersebut. Sebaliknya, jika bit *watermark* $bw = 0$, jumlah nilai intensitas piksel pada blok tersebut akan lebih kecil daripada blok citra asli. Dengan menggunakan *offset* δ , piksel-piksel yang dimodifikasi akan memiliki komponen *random noise* yang kecil. Akan tetapi dengan menggunakan nilai *random*, akan menolong untuk mencegah terjadinya efek *blocking* pada citra. Hal ini juga memberikan kontribusi pada kekokohan *watermark* menghadapi beberapa algoritma proses pemfilteran yang berusaha mengurangi *blocking*.

2.2 Ekstraksi Watermark

Proses pengestrasian *watermark* mirip dengan proses penyisipan *watermark* tetap dalam arah sebaliknya. Algoritma pengestrasian *watermark* membutuhkan *original host image* atau citra asal.

Proses ekstraksi dilakukan dengan menghitung jumlah nilai intensitas piksel blok-blok dari citra asal dan citra ber-*watermark*. Bit-bit *watermark* bw didapat kembali dengan aturan berikut:

$$bw_{ij} = 1 \text{ jika } Sw_{ij} > So_{ij}$$

$$bw_{ij} = 0 \text{ jika } Sw_{ij} \leq So_{ij}$$

dengan Sw_{ij} adalah jumlah intensitas piksel blok B_{ij} dari citra ber-watermark dan So_{ij} adalah jumlah intensitas piksel blok B_{ij} dari citra asal. Setelah bit-bit bw diperoleh, lalu disusun kembali menjadi watermark awal menggunakan inversi dari proses pengacakan.

3 Penggunaan DCT dalam Domain Frekuensi

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 $0 \leq u \leq N-1$. (2)

$C(u)$ 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:

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{untuk } u = 0; \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{untuk } 1 \leq u \leq N-1. \end{cases}$$
 (3)

Transformasi balikan yang memetakan himpunan hasil transformasi DCT ke himpunan bilangan semual 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 $0 \leq x \leq N-1$. (4)

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:

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

sedangkan transformasi balikannya dinyatakan dengan

$$f(x,y) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(u,v) \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2M}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right]$$
 (4)

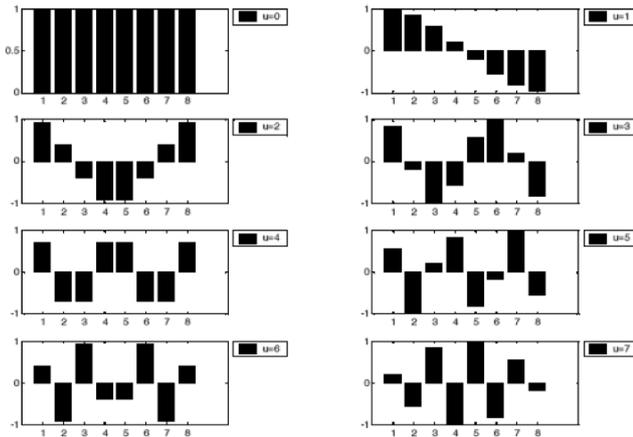
Fungsi basis DCT satu dimensi untuk $N=8$ dapat dilihat pada Gambar 3. Koefisien DCT ke- n menyatakan amplitudo dari fungsi basis untuk $u=n-1$. Pada DCT dua dimensi, fungsi basisnya adalah hasil perkalian antara fungsi basis yang berorientasi horisontal dengan fungsi basis yang berorientasi vertikal, sehingga koefisien-koefisien DCT dua dimensi biasa disajikan dalam bentuk matriks.

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.

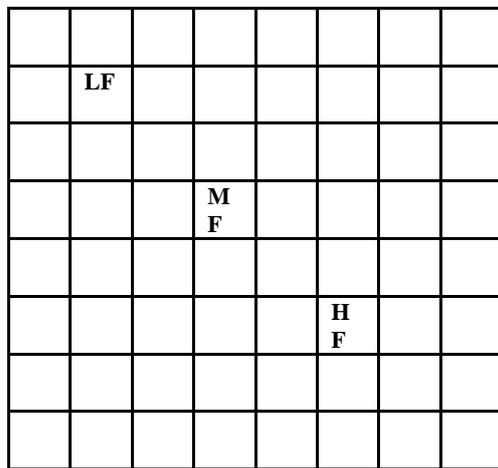
Transformasi DCT dapat dilakukan secara langsung maupun dengan membagi menjadi blok-blok kecil terlebih dahulu. Transformasi kemudian dilakukan secara terpisah untuk masing-masing blok. Pembagian ini dapat memudahkan dalam melakukan komputasi.

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 4. LF menyatakan daerah koefisien frekuensi rendah. MH menyatakan daerah koefisien

frekuensi menengah dan HF menyatakan daerah koefisien frekuensi tinggi.



Gambar 3. Fungsi basis DCT satu dimensi untuk $N=8$



Gambar 4. Pembagian frekuensi koefisien DCT untuk ukuran blok 8×8

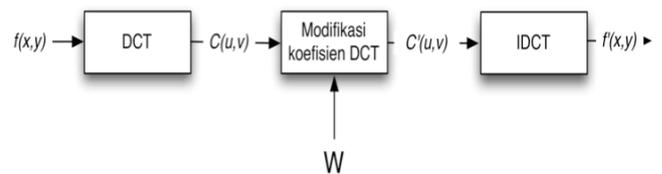
Transformasi DCT dua dimensi sering digunakan dalam pemrosesan citra digital. Ukuran blok yang banyak digunakan pada pemrosesan citra adalah ukuran blok kecil, misalnya 8×8 seperti pada kompresi JPEG. Untuk citra digital, fungsi basis dari DCT adalah sekumpulan citra yang disebut citra basis.

Citra basis diumpamakan sebagai gabungan dari dua buah gelombang kosinus pada sumbu tegak lurus di bidang dua dimensi dengan frekuensi yang menyatakan frekuensi perubahan derajat keabuan antara gelap dan terang. Pada citra berwarna, DCT dilakukan terhadap setiap kanal warna. Dalam hal ini, masing-masing kanal dapat dipandang sebagai sebuah citra *grayscale*.

Jika ukuran panjang atau lebar citra tidak habis dibagi oleh ukuran panjang atau lebar blok, maka dilakukan *padding* dengan cara melakukan penambahan piksel pada dimensi panjang dan lebar citra. Setelah dilakukan transformasi balikan, hasil *padding* tersebut dibuang.

3.1 Watermarking di dalam Ranah DCT

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. *Watermarking* di ranah DCT dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Watermarking* citra di ranah DCT

I 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 I' melambangkan matriks nilai piksel sesudah penyisipan *watermark*.

Salah satu cara modifikasi koefisien-koefisien DCT adalah dengan cara yang dikembangkan oleh Cox et al. Koefisien DCT dimodifikasi menurut persamaan di bawah ini:

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

c_i' adalah koefisien DCT setelah dimodifikasi, c_i merupakan koefisien DCT sebelum dimodifikasi, dan w_i adalah nilai bit *watermark* yang disisipkan. Nilai w_i adalah -1 jika bit yang akan disisipkan adalah 0, dan 1 jika bit yang disisipkan adalah 1.

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 memiliki frekuensi rendah)

lebih kokoh terhadap modifikasi citra, tetapi 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. Karena itu, sebagai *trade off* terhadap *fidelity* dan *robustness*, banyak skema *watermarking* yang melakukan penyisipan *watermark* pada koefisien berfrekuensi menengah.

Kekuatan penyisipan *watermark* juga mempengaruhi *fidelity* dan *robustness*. Nilai α yang besar membuat *watermark* lebih kokoh, tetapi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan atau terlihat pada citra.

Ekstraksi *watermark* dapat dilakukan dengan cara membandingkan koefisien DCT citra ber-*watermark* dengan koefisien DCT citra yang asli. 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:

$$BER(S, S') = \frac{\sum p_i}{N} \quad (5)$$

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

$$p_i = 1 \text{ untuk } w_i \neq w_i' \\ p_i = 0 \text{ untuk } w_i = w_i' \quad (6)$$

Cara lain untuk melakukan perbandingan *watermark* adalah dengan menghitung koefisien korelasi. Koefisien korelasi dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$C(W, W') = \frac{\sum w_i w_i'}{\sqrt{\sum w_i^2} \sqrt{\sum w_i'^2}} \quad (7)$$

Untuk menentukan kemiripan *watermark*, koefisien korelasi dibandingkan dengan nilai batas tertentu. Jika koefisien korelasi lebih besar dari nilai batas tersebut, maka dapat

disimpulkan bahwa *watermark* yang diekstraksi dari citra yang diuji memiliki kemiripan dengan *watermark* asli.

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam pembuatan makalah kali ini adalah:

1. Inti dari sebuah proses penyisipan *watermark* pada sebuah citra digital adalah agar citra ber-*watermark* tersebut tidak dapat dilihat perubahannya atau dengan kata lain, *watermark* yang disisipkan tidak kasat mata dan tidak dapat dipersepsi.
2. Proses *watermarking* dapat dilakukan dengan memanfaatkan domain spasial dan domain frekuensi.
3. Metode adaptif ditujukan untuk menjaga kekokohan dan transparansi penyisipan *watermark* pada sebuah citra. Hal ini berguna untuk meminimalisasi *trade off* yang mungkin terjadi, seperti *watermark* cukup kokoh namun mudah dipersepsi oleh mata manusia dan sebaliknya, tidak dapat dipersepsi namun *watermark* yang disisipkan rentan dan mudah rusak.
4. Dalam penyisipan *watermark* dengan metode adaptif, bit-bit *watermark* terlebih dahulu diacak lalu disisipkan ke dalam blok-blok piksel pada citra. Ukuran dan banyaknya blok piksel ditentukan oleh ukuran citra dan *watermark*.
5. Konsep utama dari metode adaptif adalah penyesuaian modifikasi intensitas piksel terhadap nilai kontras dari blok. Jika nilai kontras besar, maka intensitas piksel-piksel akan dimodifikasi lebih besar daripada nilai kontras kecil.
6. Secara umum, *watermarking* dengan metode adaptif dapat menyisipkan sebuah label *watermark* ke dalam sebuah citra dengan baik dan tanpa terpersepsi indera manusia.
7. *Adaptive watermarking* ini juga relatif cukup bertahan terhadap proses-proses pengolahan citra yang umum.
8. Transformasi DCT dapat dipermudah dengan terlebih dahulu membagi blok-blok untuk kemudian dilakukan transformasi pada masing-masing blok tersebut. Cara ini dapat mempercepat komputasi.
9. Pada transformasi DCT, dikenal istilah koefisien frekuensi rendah, sedang, dan tinggi. Hal ini berkaitan dengan frekuensi gelombang pada fungsi basis DCT. Jika fungsi basis kecil, dapat dipastikan bahwa koefisien yang berkorespondensi berfrekuensi rendah.

10. Jika pada citra, ukuran panjang dan lebar tidak habis dibagi ukuran blok, maka akan dilakukan *padding*. *Padding* dilakukan dengan menambahkan piksel pada panjang atau lebar citra.
11. Penyisipan *watermark* pada citra di ranah DCT dilakukan terlebih dahulu dengan melakukan transformasi DCT terhadap citra.
12. *Watermarking* pada ranah DCT sebaiknya dilakukan pada koefisien frekuensi menengah untuk tetap menjaga karakteristik *fidelity* dan *robustness*.
13. Jika dibandingkan antara penggunaan domain spasial dan domain frekuensi untuk *image watermarking*, berikut adalah konklusi yang dapat diambil:
 - Penggunaan domain spasial lebih mudah diimplementasikan namun *watermark* yang disisipkan mudah rusak dan relatif tidak kokoh terhadap pemrosesan citra secara umum. Hal ini dikarenakan, bit-bit *watermark* disisipkan langsung pada bit-bit citra sehingga segala bentuk serangan pada sebuah citra akan langsung menimbulkan efek pula pada *watermark*. Secara otomatis, serangan tersebut juga mengubah koefisien piksel-piksel *watermark*.
 - Penggunaan domain frekuensi memang jauh lebih rumit untuk diimplementasikan karena harus dilakukan transformasi citra menjadi domain transformasi sebelum *watermark* disisipkan. Akan tetapi, ini akan sangat berpengaruh kepada kekokohan *watermark* terhadap berbagai macam serangan pemrosesan citra yang umum. Hal ini disebabkan, seperti ada proteksi berlapis dengan diubah terlebih dahulu menjadi domain transformasi. Jadi, serangan yang mungkin dilakukan terhadap citra, tidak akan langsung berpengaruh atau berefek besar kepada *watermark* yang tersimpan dalam sebuah citra.
14. Penggunaan domain spasial dan domain frekuensi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Namun, penggunaan tersebut dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan pemilik citra.

5. Daftar Pustaka

- [BRU95] Bruyndonckx, O., Quisquater, J.-J. and Macq, B. 1995. "*Spatial method for copyright labeling of digital images*", Proceedings of IEEE Nonlinear Signal Processing Workshop, pp. 456-459.
- [COX08] Cox, Ingemar J, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, Jessica Fridrich, Ton Kalker. 2008. *Digital Watermarking and Steganography*. Morgan Kaufmann Publisher.
- [DAN08] Setiadikarunia, Daniel, Yohanes Danandy. 2008. Teknik *Adaptive Watermarking* pada Domain Spasial untuk Penyisipan Label pada Citra Digital.
- [FAH07] Fahmi. 2007. Studi dan Implementasi *Watermarking* Citra Digital dengan Menggunakan Fungsi Hash.
- [LEE99] Lee, C.H. and Lee, Y.K. 1999. "*An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection*," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.45, no.4, pp.1005-1015.
- [RIN03] Munir, Rinaldi. 2003. *Kriptografi*. Diktat Kuliah IF5054 Kriptografi Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.