

Perbandingan *Watermarking* Citra dengan Alihragam *Wavelet* dan *Discrete Cosine Transform*

B. Yudi Dwiandiyanta

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 43, Yogyakarta 55281, Indonesia

E-mail: yudi-dwi@mail.uajy.ac.id

Abstract. *Comparison of Image Watermarking with the Wavelet Variety Packs and Discrete Cosine Transform.* Watermarking is one method of copyright protection to combat the spread of the work of someone illegally. In this study, we compare watermarking algorithm in wavelet region and Discrete Cosine Transform (DCT). Color image is used as the host image, while the watermark image is used as a binary image of size 1 / 16 image of the host. Embedding process is based on Human Visual System (HVS), so hopefully gained an invisible watermark (invisible watermark). Embedding process performed by the additive algorithm. In both variety packs developed, the watermark is inserted in the high frequency components of the image. Wavelet used is the wavelet db4. DCT 4x4 blocks are used, which is expected to reduce the computational load. Tests showed that the two watermarking algorithms are generally resistant to granting noise, geometric image operations and image processing operations. Watermarking algorithm that was developed less defend against attacks-down pass filter and median filter, but has a very good performance against an attack-pass filter above.

Keywords: *image watermarking, wavelet, Discrete Cosine Transform (DCT), Human Visual System (HVS)*

Abstrak. *Watermarking* merupakan salah satu metode proteksi hak cipta untuk menanggulangi penyebaran karya seseorang secara ilegal. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan algoritma *watermarking* pada kawasan *wavelet* dan *Discrete Cosine Transform* (DCT). Citra warna digunakan sebagai citra *host*, sedangkan sebagai citra *watermark* digunakan citra biner berukuran 1/16 citra *host*. Proses *embedding* dilakukan berdasarkan *Human Visual System* (HVS), sehingga diharapkan diperoleh *watermark* yang tidak kelihatan (*invisible watermark*). Proses *embedding* dilakukan dengan algoritma aditif. Pada kedua alihragam yang dikembangkan, *watermark* disisipkan pada komponen frekuensi tinggi citra. *Wavelet* yang digunakan adalah *wavelet* db4. Sedangkan alihragam DCT yang digunakan adalah operasi blok 4x4, yang diharapkan dapat mengurangi beban komputasi. Pengujian menunjukkan bahwa kedua algoritma *watermarking* secara umum tahan terhadap pemberian derau, operasi geometris citra dan operasi-operasi pengolahan citra. Algoritma *watermarking* yang dikembangkan kurang bertahan terhadap serangan-serangan tapis lolos-bawah dan tapis median, namun mempunyai unjuk kerja yang sangat baik terhadap serangan tapis lolos-atas.

Kata Kunci: *watermarking* citra, *wavelet*, *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Human Visual System* (HVS)

1. Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan teknik pengolahan citra sudah sangat pesat. Perkembangan

itu didukung pula oleh komputer dengan kapasitas memori yang besar, sehingga memungkinkan untuk melakukan komputasi dalam waktu yang relatif singkat. Banyak aplikasi yang terdapat dalam teknik pengolahan citra, diantaranya adalah peningkatan citra (*image enhancement*), pemulihan citra (*image restoration*), analisis citra (*image analysis*), sistem kompresi data citra (*image compression*), dan sistem keamanan data citra.

Diantara sekian banyak aplikasi pengolahan citra, bidang yang banyak menarik perhatian adalah sistem keamanan data citra. Metode pengamanan data yang telah banyak dilakukan antara lain adalah steganografi, enkripsi, dan *fingerprint*. Saat ini, seiring dengan berkembangnya teknologi informasi, publikasi elektronik, dan sistem distribusi video/citra digital melalui internet, maka diperlukan suatu teknik yang dapat digunakan untuk melakukan proteksi terhadap hak cipta. *Watermarking* merupakan salah satu metode proteksi hak cipta yang bertujuan untuk menanggulangi penyebaran karya seseorang secara ilegal. Pada dasarnya, *watermarking* adalah proses penandaan suatu citra dengan pesan hak cipta atau *signature* yang secara rahasia disisipkan dalam citra namun tidak terlihat perbedaan antara citra asli dengan citra yang telah ditandai. Pesan hak cipta yang disisipkan dapat berupa nomor register (seperti UPC: *Universal Producer Number*) yang sering dijumpai dalam CD, pesan teks, gambar atau logo perusahaan, citra tanda tangan atau sidik jari seseorang ataupun citra foto seseorang.

Teknik *watermarking* yang berkembang saat ini masih memiliki kekurangan dalam hal ketahanan terhadap operasi-operasi pengolahan citra (misalnya penapisan, operasi modifikasi aras keabuan), ketahanan terhadap serangan derau, ketahanan terhadap operasi-operasi geometris (misalnya pemotongan, penyekalaan dan rotasi citra), dan ketahanan terhadap operasi kompresi citra.

2. Tinjauan Pustaka

Istilah steganografi atau menyembunyikan informasi sejarahnya telah dimulai sejak jaman Yunani kuno ketika seorang raja hendak mengirimkan pesan rahasia yang harus melewati daerah musuh. Raja tersebut memanggil budak kepercayaannya untuk kemudian mentato pesannya di atas kulit kepala. Begitu rambut budak tersebut tumbuh, budak tersebut kemudian dikirim hingga ke tujuannya. Teknik demikian terus berkembang hingga pada abad ke-20, ketika tentara Jerman menyembunyikan informasi dengan cara menulis pesan dengan tinta yang tidak bisa dilihat. Begitu sampai di tujuan, pesan tersebut diolah sedemikian rupa hingga tulisannya muncul.

Saat ini, seiring dengan kemajuan komputer, teknik steganografi berkembang ke arah bentuk menempelkan logo dalam informasi yang dapat dilihat (*watermarking* tampak), atau logo yang tidak dapat dilihat (*watermarking* tidak tampak) yang disimpan dalam citra digital. *Watermarking* dapat digunakan sebagai bukti kepemilikan dalam persidangan (Langelaar, 2000).

Berdasarkan kawasan penyisipan *watermark*, terdapat dua cara untuk melakukan *watermarking*, yaitu *watermarking* pada kawasan spasial dan *watermarking* pada kawasan frekuensi (Meerwald, 2001). *Watermarking* pada kawasan spasial [3, 4, 5, 6] mudah diimplementasikan dan tidak memerlukan citra asli (*host*) untuk mendeteksi *watermark*. Keunggulan penggunaan *watermarking* pada kawasan spasial adalah beban komputasi yang relatif lebih sedikit, sehingga dapat diimplementasikan untuk aplikasi *real time*. Kelemahan penggunaan *watermarking* pada kawasan spasial adalah kegagalan untuk mendeteksi *watermark* apabila citra telah diolah misalnya dengan penapisan, operasi geometris (*cropping*, penyekalaan citra), dan kompresi. Kelemahan yang lain adalah terjadinya penurunan kualitas citra karena *watermarking* diterapkan langsung pada piksel citra (Wang, 1998).

Watermarking pada kawasan frekuensi dapat dilakukan pada kawasan *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Discrete Fourier Transform* (DFT), dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Cox et al. (Cox, 1997) dan Koch et al. (Koch, 1994) telah melakukan penelitian *watermarking* yang dilakukan pada kawasan DCT. Ramkumar et al. (Ramkumar, 1999) melakukan penelitian *watermarking* yang dilakukan pada kawasan DFT. Penelitian *watermarking* pada kawasan

DWT telah banyak dilakukan. Penggunaan keluarga *wavelet* Daubechies dan kode Hamming membuat citra yang telah disisipi *watermark* lebih tampak seperti aslinya (Wang, 1998). Kanai et al. (Kanai, 1998) menggunakan citra poligon sebagai citra *host*, sehingga dapat digunakan untuk melakukan proteksi hak cipta terhadap model-model geometris 3-dimensi. Pereira et al. (Pereira, 1999) menitikberatkan pada optimisasi proses *embedding* dengan menggunakan *linear programming*. *Watermarking* pada kawasan DWT dapat juga dilakukan dengan menggabungkan dengan algoritma kompresi HS (*Hierarchical Segmentation*) dan menggunakan citra medis ROI (*Region of Interest*) sebagai citra *host* (Wakatani, 2002). *Watermarking* dapat digunakan untuk tujuan *image authentication* dengan menggunakan teknik kuantisasi optimal (Paquet, 2002).

Watermarking pada kawasan frekuensi secara umum memberikan perlindungan yang lebih terhadap pengolahan terhadap citra yang telah disisipi *watermark* (Meerwald, 2001). Akan tetapi *watermark* pada kawasan frekuensi umumnya membutuhkan citra asli (*host*) untuk mendeteksi *watermark*.

Diantara ketiga jenis kawasan transformasi tersebut, kawasan DWT memiliki kelebihan dalam hal ketelitian analisis terhadap isyarat transformasi (Meerwald, 2001). Koefisien transformasi hasil DWT selanjutnya digabungkan dengan data *watermark* yang telah dipersiapkan guna penggabungan.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan algoritma *watermarking* yang dilakukan pada kawasan *wavelet* dan DCT. Diharapkan akan diperoleh perbandingan kedua algoritma terhadap operasi-operasi pengolahan citra, serangan derau, operasi-operasi geometris citra. Proses *embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT dilakukan berdasarkan *Human Visual System* (HVS) dengan obyek berupa citra warna, sehingga diharapkan diperoleh *watermark* yang tidak kelihatan (*invisible watermark*).

2.1. Alihragam Wavelet

Alihragam *wavelet* mempunyai penerapan yang luas pada aplikasi pengolahan isyarat dan pengolahan citra. Ide dasar alihragam *Discrete Wavelet Transform* (DWT) 1-dimensi adalah seperti berikut. Isyarat dibagi menjadi dua bagian, frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Bagian frekuensi rendah dibagi lagi menjadi isyarat frekuensi tinggi dan rekuensi rendah. Proses ini diulang sampai isyarat tidak dapat didekomposisikan lagi atau sampai pada level yang telah ditentukan pengguna. Beberapa aplikasi pengolahan citra secara umum tidak memerlukan lebih dari 5 level dekomposisi (Meerwald, 2001). Isyarat asli dapat dipulihkan dengan menerapkan invers DWT (IDWT) pada isyarat yang telah didekomposisi.

Secara matematis, DWT dan IDWT dapat dijelaskan seperti berikut. Diberikan tapis lolos-bawah $H(\omega)$, dengan

$$H(\omega) = \sum_k h_k e^{-jk\omega} \quad (1)$$

dan tapis lolos-atas $G(\omega)$, dengan

$$G(\omega) = \sum_k g_k e^{-jk\omega} \quad (2)$$

Isyarat $F(n)$ dapat didekomposisi secara rekursif sebagai

$$f_{j-1}^{low}(k) = \sum_n h_{n-2k} f_j(n) \quad (3)$$

dan

$$f_{j-1}^{high}(k) = \sum_n g_{n-2k} f_j(n) \quad (4)$$

dengan $j = J+1, J, \dots, J_0$ dan $f_{J+1}(k) = F(f)$, $k \in Z$. $J+1$ adalah indeks resolusi tertinggi dan

J_0 adalah indeks level resolusi terendah. Koefisien

$$f_{J_0}^{low}(k), f_{J_0}^{high}(k), f_{J_0+1}^{high}(k), \dots, f_J^{high}(k) \quad (5)$$

disebut dengan DWT atas isyarat $F(n)$, dengan $f_{J_0}^{low}(k)$ adalah resolusi terendah (*approximation*) dan $f_j^{high}(k)$ adalah detail isyarat pada tiap bidang frekuensi. Isyarat $F(n)$ dapat direkonstruksi berdasarkan koefisien DWT secara rekursif dengan

$$f_j^{low}(n) = \sum_k h_{n-2k} f_{j-1}^{low}(k) + \sum_k g_{n-2k} f_{j-1}^{high}(k) \quad (6)$$

Pada DWT dan IDWT diperlukan kondisi ortogonal antara tapis $H(\omega)$ dan $G(\omega)$, sehingga

$$|H(\omega)|^2 + |G(\omega)|^2 = 1 \quad (7)$$

Sebagai contoh $H(\omega)$ dan $G(\omega)$ diberikan sebagai

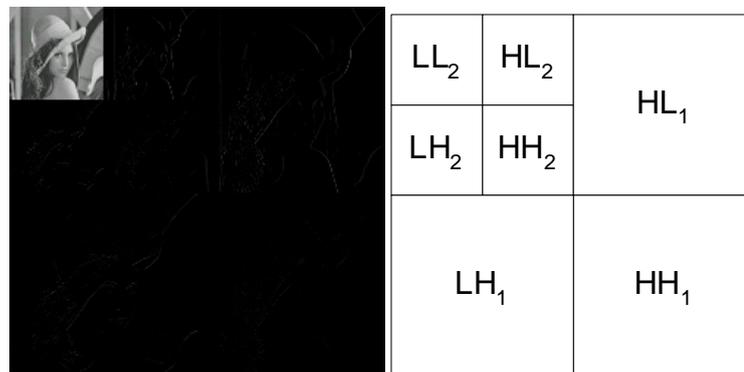
$$H(\omega) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-j\omega} \quad (8)$$

dan

$$G(\omega) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-j\omega} \quad (9)$$

yang sering disebut dengan tapis *wavelet* Haar. Tapis lain yang sering digunakan dalam pengolahan citra adalah keluarga Daubechies (D-4, D-6, D-8, D-10, D-12) dan tapis biortogonal (B-5/3, B-7/9).

DWT dan IDWT isyarat 2-dimensi $F(m,n)$ dapat diperoleh dengan menerapkan DWT dan IDWT 1-dimensi pada tiap dimensi m dan n secara terpisah, sehingga menghasilkan struktur piramid seperti terlihat pada contoh pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh Dekomposisi Citra.

2.2 Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform merupakan salah satu jenis transformasi yang sering digunakan dalam pengolahan citra. DCT pada dasarnya akan merepresentasikan suatu citra menjadi jumlahan dari gelombang sinusoidal yang berbeda frekuensi dan magnitudo. Transformasi DCT banyak digunakan terutama dalam kompresi citra. Transformasi ini digunakan sebagai dasar pengembangan kompresi JPEG yang digunakan dewasa ini. Alihragam DCT dirumuskan sebagai:

$$DCT(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} pixel(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right]$$

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{jika } x = 0 \\ 1 & \text{jika } x > 0 \end{cases} \quad (10)$$

2.3 Watermarking pada Citra

Watermarking citra merupakan suatu cara untuk menanamkan data *watermark* pada suatu citra *host*. Dalam penelitian ini digunakan beberapa istilah seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Istilah dalam proses watermarking

Istilah	Keterangan
Citra <i>host</i>	Citra asli yang akan disisipi pesan hak cipta/ <i>signature</i>
Citra <i>watermark</i>	Citra yang berupa pesan hak cipta/ <i>signature</i>
Citra <i>stego</i>	Citra <i>host</i> yang telah disisipi dengan pesan hak cipta/ <i>signature</i>
Embedding	Proses penyisipan citra <i>watermark</i> dalam citra <i>host</i>
Ekstraksi	Proses penguraian citra <i>watermark</i> atas citra <i>stego</i>

2.3.3 Embedding dengan Algoritma Aditif

Pada *watermarking* dengan algoritma aditif, data *watermark* disisipi ke dalam citra *host* dengan menggunakan persamaan:

$$f'(m, n) = f(m, n)(1 + \alpha w_i) \quad (11)$$

dengan $f(m, n)$ adalah koefisien data *host* yang sudah dimodifikasi, α adalah faktor *embedding strength*, $f(m, n)$ adalah koefisien citra *host*, dan w_i adalah citra *watermark*. Alternatif yang lain, *embedding* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$f'(m, n) = f(m, n) + \alpha w_i \quad (12)$$

Ekstraksi *watermark* dapat dilakukan dengan menggunakan informasi citra *host* dan informasi citra *stego* yang ada. Ekstraksi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$w_i^* = \frac{f^*(m, n) - f(m, n)}{\alpha f(m, n)} \quad (13)$$

dengan w_i^* adalah citra *watermark* hasil ekstraksi dan $f^*(m, n)$ adalah citra yang diterima.

3. Hasil Penelitian

Pada simulasi komputer digunakan citra *host* berupa citra warna dengan ukuran 512x512 dan citra *watermark* berupa citra biner dengan ukuran 128x128. Penggunaan citra biner sebagai *watermark* karena citra biner umumnya berukuran kecil dan dapat dengan mudah disisipi ke citra *host* secara tak terlihat. Informasi mengenai logo perusahaan, logo universitas, tandatangan, ataupun *barcode* sudah sangat mencukupi jika direpresentasikan menggunakan citra biner.

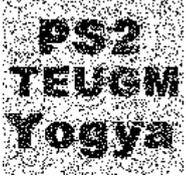
Citra biner juga lebih tahan terhadap serangan yang ingin melemahkan atau membuang *watermark*. Citra biner yang mengalami kehilangan informasi, secara pola masih dapat dikenali.

Berbeda kalau digunakan teks sebagai *watermark*, perubahan yang terjadi hanya pada satu bit teks akan mengubah informasi *watermark* secara signifikan. Beberapa contoh hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Contoh Hasil Watermarking menggunakan Alihragam Wavelet.

Jenis Serangan	Citra Stego	Citra Watermark Hasil Ekstraksi
Derau <i>Salt and Pepper</i> dengan densitas 0,01		
Derau Gaussian dengan varians derau 0,005		
Pemotongan sebesar 25%		
Tapis Lolos-Atas		
Perubahan nilai <i>brightness</i> sebesar +50		
Perentangan Kontras menggunakan <i>Histogram Equalization</i>		

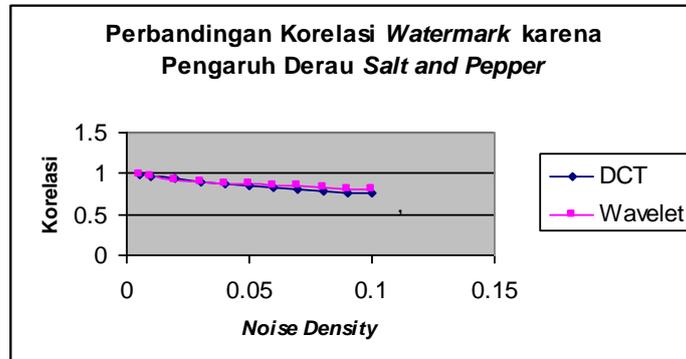
Tabel 3. Contoh Hasil *Watermarking* menggunakan Alihragam DCT.

Jenis Serangan	Citra Stego	Citra <i>Watermark</i> Hasil Ekstraksi
Derau <i>Salt and Pepper</i> dengan densitas 0,01		
Derau Gaussian dengan varians derau 0,005		
Pemotongan sebesar 25%		
Tapis Lolos-Atas		
Perubahan nilai <i>brightness</i> sebesar +5		
Perentangan Kontras menggunakan <i>Histogram Equalization</i>		

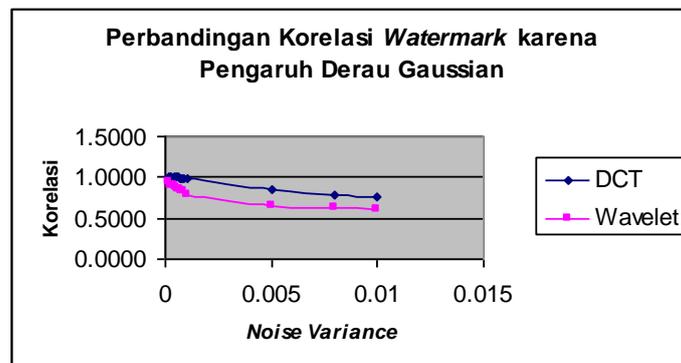
4. Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa persamaan karakteristik antara strategi *embedding* yang dilakukan pada subbidang detail citra *wavelet* dan DCT. Berdasarkan grafik pada Gambar 2, *embedding* yang dilakukan pada kawasan *wavelet* lebih kebal terhadap derau *salt and pepper*. Sebaliknya (Gambar 3) *embedding* dilakukan pada kawasan DCT lebih kebal terhadap derau Gaussian. Jumlah level dekomposisi akan

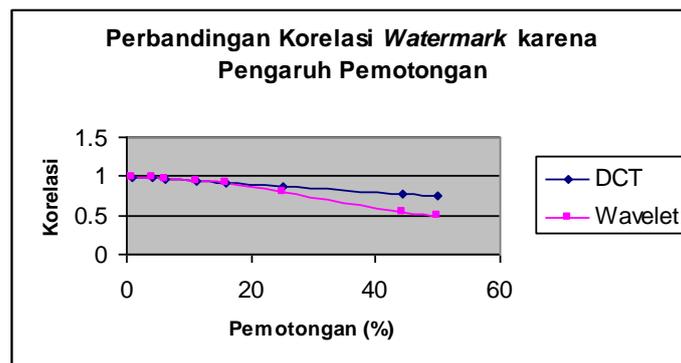
berpengaruh terhadap ketahanan sistem *watermarking* terhadap derau Gaussian dan *salt and pepper*. Pada *embedding* yang dilakukan pada subbidang detail citra, pemilihan *embedding strength* dapat dipilih dengan nilai yang lebih besar, sehingga diperoleh *watermarking* yang lebih tahan terhadap serangan derau.



Gambar 2. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh derau *salt and pepper*.



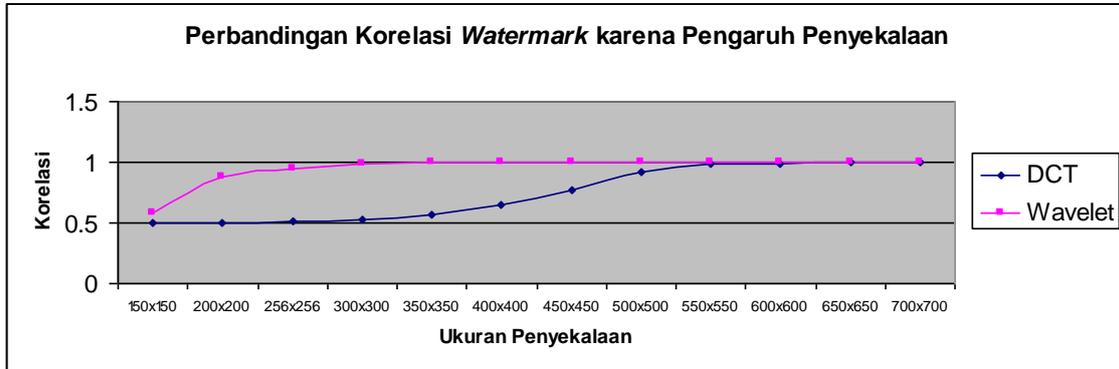
Gambar 3. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh derau Gaussian.



Gambar 4. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh pemotongan citra.

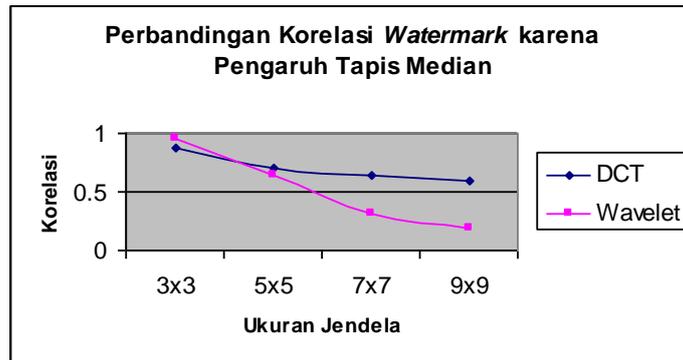
Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa semakin besar pemotongan citra maka akan semakin kecil korelasi *watermark* yang diperoleh. Hal ini disebabkan proses pemotongan citra akan menghilangkan informasi *watermark* yang ada. Pada *embedding* yang dilakukan pada subbidang detail citra, pemotongan yang dilakukan pada daerah yang halus akan menghasilkan korelasi *watermark* yang lebih baik dibandingkan pemotongan yang dilakukan pada daerah yang tajam/detail citra. Hal ini disebabkan sifat *embedding* yang dilakukan pada frekuensi tinggi

akan menyembunyikan informasi *watermark* pada detail citra. Jika pemotongan dilakukan pada detail citra, maka akan banyak menghilangkan informasi *watermark*, sehingga diperoleh korelasi *watermark* yang lebih rendah.

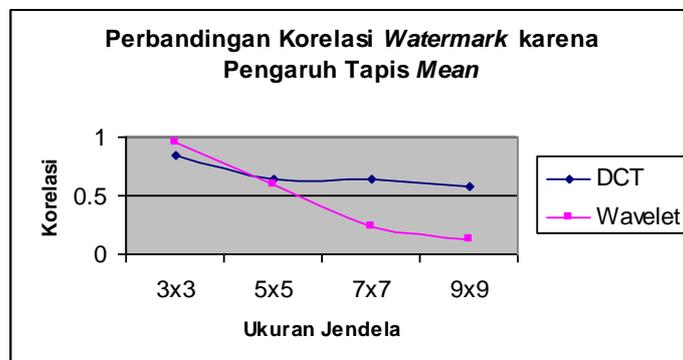


Gambar 5. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh penyekalaan citra.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa semakin besar perbedaan ukuran penyekalaan terhadap citra asli maka akan semakin kecil korelasi *watermark* yang diperoleh. Hal ini disebabkan proses penyekalaan akan menghilangkan informasi *watermark* yang ada. Terhadap penyekalaan citra, terlihat penyisipan pada kawasan *wavelet* lebih unggul dibandingkan dengan penyisipan yang dilakukan pada kawasan DCT.



Gambar 6. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh tapis median.



Gambar 7. Grafik perbandingan korelasi *watermark embedding* pada kawasan *wavelet* dan DCT karena pengaruh tapis mean.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dan 7, *embedding* yang dilakukan pada kawasan DCT lebih kebal terhadap serangan tapis *mean* dan tapis median. Rendahnya nilai korelasi *watermark* disebabkan penyisipan *watermark* dilakukan pada frekuensi tinggi atau bagian detail citra, sedangkan sifat tapis median adalah menghaluskan citra atau menghilangkan titik-titik yang terisolasi yang kebanyakan berkontribusi komponen frekuensi tinggi citra. Dengan berkurangnya komponen frekuensi tinggi citra, maka informasi *watermark* yang disisipkan pada kawasan frekuensi tinggi citra secara otomatis akan berkurang juga.

3. Kesimpulan

Operasi-operasi pengolahan citra (penapisan, perubahan *brightness* dan penyamaan histogram) akan menyebabkan turunnya nilai korelasi *watermark* yang diurai. *Watermarking* citra yang dilakukan dengan alihragam *wavelet* dan DCT mempunyai keunggulan lebih kebal terhadap serangan-serangan tapis lolos-atas, perubahan *brightness* dan penyamaan histogram, namun kurang dapat bertahan terhadap serangan-serangan tapis lolos-bawah dan tapis median.

Pemberian derau terhadap citra *stego* akan menyebabkan turunnya nilai korelasi *watermark* yang diurai. Semakin banyak derau akan semakin turun nilai korelasi *watermark* yang diperoleh. *Embedding* yang dilakukan pada kawasan *wavelet* lebih kebal terhadap derau *salt and pepper*. Sebaliknya *embedding* dilakukan pada kawasan DCT lebih kebal terhadap derau Gaussian.

Proses pemotongan dan penyekalaan citra akan menyebabkan turunnya nilai korelasi *watermark* yang diurai. Semakin besar pemotongan citra maka akan semakin turun nilai korelasi *watermark* yang diperoleh. Semakin berbeda ukuran penyekalaan terhadap ukuran citra asli maka nilai korelasi *watermark* yang diperoleh juga akan semakin turun. Terhadap penyekalaan citra, terlihat penyisipan pada kawasan *wavelet* lebih unggul dibandingkan dengan penyisipan yang dilakukan pada kawasan DCT.

Referensi

- Langelaar, G.C., 2000, *Real Time Watermarking Techniques for Compressed Video Data*, Master Thesis, Delft University of Technology, Universal Press, Veenendaal.
- Meerwald, P., 2001, *Digital Image Watermarking in the Wavelet Transform Domain*, Master Thesis, Computer Science, University of Salzburg, Austria.
- Tirkel, A.Z., C.F. Osborne, and R.G. Schyndel, 1996, *Image Watermarking a Spread Spectrum Technique*, IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Vol. II, pp. 785-789.
- Yeung, M.M. and F. Mintzer, 1997, *An Invisible Watermarking Techniques for Image Verification*, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 1997), Vol. II, pp. 680-683.
- Bartollini, F., A. Tefas, M. Barni, and I. Pitas, 2001, *Image Authentication Techniques for Surveillance Application*, Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 10, pp. 1403-1418.
- Queluz, M.P. and P. Lamy, 2000, *Spatial Watermark for Image Verification*, SPIE Conference on security and Watermarking of Multimedia Contents II, Vol. 3971, pp. 120-130.
- Wang, Houngh-Jyh Mike, Su, Po-Chyi and C. Jay Kuo, 1998, *Wavelet-based Digital Image Watermarking*, Department of Electrical Engineering-Systems University of Southern California, Los Angeles.
- Cox, I.J., J. Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoan, 1997, *Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia*, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687.
- Koch, E., J. Rindfrey, and J. Zhao, 1994, *Copyright Protection for Multimedia Data*, Proc. Int. Conf. Digital Media and Electronic Publishing.
- Ramkumar, M., A.N. Akansu, and A.A. Alatan, 1999, *A Robust Data Hiding Scheme for*

- Images Using DFT*, in Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Image Processing ICIP 99, pp. 211-215.
- Kanai, S., H. Date, and T. Kishinami, 1998, *Digital Watermarking for 3D Polygon using Multiresolution Wavelet Decomposition*, Department of Systems Engineering, Hokkaido University, Sapporo, Japan.
- Pereira, S., S. Voloshynovskiy, and T. Pun, 1999, *Optimized Wavelet Domain Watermark Embedding Strategy Using Linear Programming*, University of Geneva – CUI, Geneva, Switzerland.
- Wakatani, Akiyoshi, 2002, *Digital Watermarking for ROI Medical Images by using Compressed Signature Image*, Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences.
- Paquet, A.H. and R.K. Ward, 2002, *Wavelet Based Digital Watermarking for Image Authentication*, University of British Columbia, Department of Electrical and Computer Engineering, Canada.