

HYBRID DWT-DCT WATERMARKING CITRA DIGITAL MENGUNAKAN METODE COMPARISON-BASED CORRELATION EMBEDDING

Erwin Yudi Hidayat¹, Fajriam Nur Adnan²

^{1,2}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro 50131
E-mail: erwin@research.dinus.ac.id; fajriam@research.dinus.ac.id

ABSTRAK

Selama beberapa tahun terakhir, watermarking telah banyak dikembangkan untuk mengatasi masalah perlindungan hak cipta pada data multimedia. Dengan keunggulan karakteristik yang dimiliki, Transformasi Wavelet Diskrit (DWT) dan Transformasi Kosinus Diskrit (DCT) sangat banyak digunakan pada watermarking domain transformasi. Namun, pada setiap teknik watermarking domain transformasi selalu muncul ketimpangan antara robustness dan imperceptibility. Makalah ini menyajikan hybrid DWT-DCT watermarking menggunakan teknik comparison-based correlation embedding. Metode yang diusulkan menggunakan dua buah pseudorandom sequence PN_0 dan PN_1 yang tidak memiliki korelasi, untuk menyisipkan dan mengekstrak watermark penyisipan dilakukan pada bagian frekuensi tengah dari blok 4x4 DCT, setelah transformasi DWT pada citra asli dilakukan sampai 3 level. Pengukuran hasil eksperimen dilakukan menggunakan PSNR dan NC. Meskipun attack berupa kompresi JPEG, Salt & Pepper noise, dan additive random noise dilakukan, hasil menunjukkan bahwa imperceptibility yang tinggi dapat dicapai tanpa mengabaikan robustness. Terlebih lagi, dibandingkan dengan penelitian yang pernah dilakukan menggunakan teknik serupa, metode yang diusulkan mampu mengungguli pencapaian dalam hal imperceptibility.

Kata kunci : Watermarking, hybrid, DWT, DCT, pseudorandom sequence

1. PENDAHULUAN

Perkembangan metode perlindungan hak cipta citra digital yang efektif telah menjadi sektor yang penting dalam industri multimedia. Hal ini disebabkan karena keaslian objek digital dapat dengan mudah dimanipulasi dan direproduksi. Teknologi baru pada digital watermarking telah diinisialisasikan oleh banyak peneliti dan ahli, sebagai solusi terbaik pada masalah perlindungan hak cipta multimedia. Digital watermarking diharapkan mampu mencakup aplikasi secara luas seperti pada kamera digital, citra medis, basis data citra, dan sistem video-on-demand.

Watermarking citra digital dikatakan efektif jika memenuhi persyaratan *robustness*, *imperceptibility*, dan *security* dari citra asli [1]. (1) *Robustness* berarti ketahanan watermark terhadap upaya untuk menghilangkan watermark, dan ketahanan watermark terhadap operasi citra atau attack. (2) *Imperceptibility*: penyisipan watermark tidak menimbulkan kecurigaan terhadap pengamatan indera penglihatan manusia.. (3) *Security*: Penyisipan watermark sebaiknya tidak dapat dideteksi dengan analisis statistik atau metode lainnya [1].

Secara umum, metode watermarking dapat dibagi ke dalam beberapa kelompok. Berdasarkan kenampakan, watermark terdiri dari *visible* dan *invisible* watermark [2]. Sedang menurut domain aplikasi, watermark terbagi atas domain spasial dan domain transformasi [3].

Banyak teknik watermarking yang telah ditemukan oleh peneliti. Publikasi pertama tentang watermarking tercatat pada tahun 1979, menggunakan teknik domain spasial yang disebut *Least Significant Bit* (LSB) [4]. Contoh dari teknik LSB ini terdapat pada [5] dan [6]. Apostol [7] mengusulkan digital watermarking menggunakan PWLCM, *chaotic-feedback*, dan penyisipan LSB. Meski sederhana, teknik LSB sangat rapuh terhadap banyak *attack* [8].

Berdasarkan kelemahan teknik LSB, peneliti berupaya untuk menemukan teknik yang lebih menjanjikan. Adalah teknik watermarking pada domain transformasi atau frekuensi, yang terbukti mampu mengatasi tantangan tersebut. Dalam domain transformasi, teknik yang banyak digunakan menggunakan Transformasi Kosinus Diskrit (DCT) [9], dan Transformasi Wavelet Diskrit (DWT) [10]. DCT dapat membagi citra menjadi beberapa bagian. Namun, teknik ini memerlukan waktu yang lama untuk operasionalnya [11]. Di sisi lain, DWT telah banyak pula digunakan pada watermarking karena kemampuan multiresolusi yang dimilikinya [12]. Meski demikian, DWT pun memiliki kekurangan, seperti *shift sensitivity* dan *poor directionality* [13].

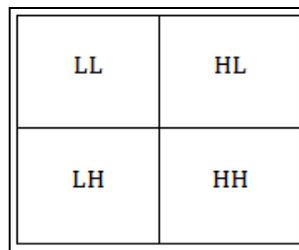
Teknik hibrid DWT dan DCT dapat ditemukan di [14]. Gagasan utamanya dari hibrid DWT dan DCT adalah bahwa menggabungkan kedua teknik ini dapat menutupi kekurangan masing-masing, sehingga skema watermarking lebih efektif [15].

Pada watermarking domain transformasi, perselisihan selalu muncul antara *robustness* dan *imperceptibility*. Jika watermark disisipkan pada bagian frekuensi rendah, skema yang dihasilkan akan *robust*, tapi tidak dapat mencapai hasil *imperceptibility* yang tinggi. Di sisi lain, jika watermark disisipkan pada bagian frekuensi tinggi, skema yang terbentuk dapat memperoleh hasil yang *imperceptible* tetapi tidak *robust*. Dengan demikian, teknik yang paling bagus yaitu melakukan penyisipan watermark adalah pada bagian frekuensi tengah [16].

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Transformasi Wavelet Diskrit (DWT)

Transformasi Wavelet Diskrit memiliki kemampuan untuk menganalisis citra dalam domain waktu dan frekuensi. Dalam bidang citra digital, tujuan utama penerapan DWT adalah mendekomposisi citra menjadi empat bagian yang berbeda. Bagian tersebut terbagi terdiri atas satu bagian frekuensi rendah, dinotasikan dengan LL, dan tiga bagian frekuensi tinggi yang disebut dengan horizontal (HL), vertikal (LH), dan diagonal (HH) seperti pada gambar 1. Sebagai sebuah fungsi dalam matematika, DWT sangat tepat digunakan dalam watermarking. Hal ini disebabkan karena DWT dapat mengidentifikasi bagian citra asli yang cocok untuk menyisipkan watermark secara efektif [15].



Gambar 1: Komponen citra dengan dekomposisi DWT

2.2. Transformasi Kosinus Diskrit (DCT)

Transformasi Kosinus Diskrit merupakan transformasi linear yang paling umum digunakan dalam pengolahan sinyal. Transformasi ini mengubah citra dari domain spasial ke dalam domain frekuensi. DCT memiliki karakteristik unggul dalam kompresi citra, sehingga digunakan sebagai standar kompresi JPEG. Bidang aplikasi yang memanfaatkan DCT antara lain kompresi data, pengenalan pola, dan pengolahan citra.

Secara umum, DCT 2-dimensi diimplementasikan pada blok citra dengan ukuran 8x8 piksel. Operasi ini akan mengubah 8x8 blok piksel menjadi 64 koefisien DCT yang berbeda, seperti pada gambar 2. Metode ini banyak digunakan pada proses penyisipan watermark, di mana watermark bisa disisipkan ke dalam citra asli dengan baik [17]. Untuk melakukan proses ekstraksi, Inverse DCT diperlukan. Rumus DCT dan Invers DCT dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F(u, v) = \frac{4C(u)C(v)}{n^2} \times \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} f(j, k) \cos \frac{(2j+1)u\pi}{2n} \cos \frac{(2k+1)v\pi}{2n} \quad (1)$$

$$f(j, k) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} \left(C(u)C(v)F(u, v) \cos \frac{(2j+1)u\pi}{2n} \times \cos \frac{(2k+1)v\pi}{2n} \right) \quad (2)$$

$$C(w) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & \text{untuk } w = 0 \\ 1 & \text{untuk } w \neq 0 \end{cases}$$

$f(j, k)$ = data pada domain spasial

$F(u, v)$ = data pada domain frekuensi

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

Gambar 2: Susunan zigzag koefisien DCT pada blok 8x8 [19]

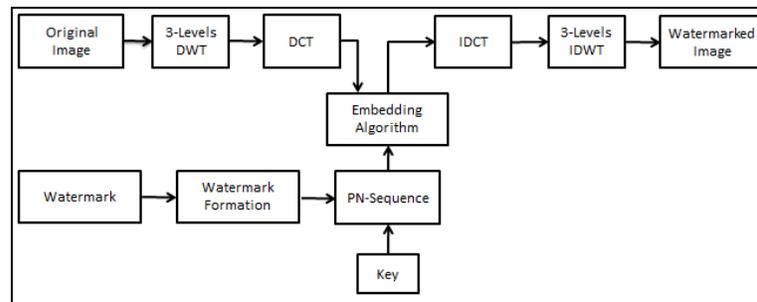
Transformasi Kosinus Diskrit membagi citra asli menjadi bagian-bagian frekuensi yang berbeda. Transformasi ini memudahkan penyisipan watermark ke dalam bagian citra asli yang dikehendaki. Bagian yang paling tepat untuk menyisipkan watermark adalah bagian frekuensi tengah, sebab bagian ini tahan terhadap kompresi JPEG, sekaligus meminimalkan efek penyisipan pada citra asli. Frekuensi tengah seperti pada gambar 2 adalah koefisien antara nomor 6-27. Sedangkan koefisien nomor 0-2 melambangkan frekuensi rendah. Frekuensi tinggi dinotasikan oleh koefisien nomor 28-63.

3. ALGORITMA WATERMARKING

Komponen algoritma dasar dalam watermarking citra digital terdiri atas citra asli, skema watermarking, algoritma penyisipan, dan algoritma ekstraksi.

3.1. Prosedur Penyisipan

Untuk menyisipkan watermark ke dalam citra asli, algoritma penyisipan diperlukan. Secara rinci, algoritma ini ditampilkan pada gambar 3 dan penjelasan berikut:



Gambar 3: Prosedur Penyisipan

1. Dekompresi citra asli menggunakan DWT untuk memperoleh empat bagian berbeda: LL_1 , HL_1 , LH_1 and HH_1
2. Pilih HL_1 dan terapkan DWT untuk memperoleh LL_{12} , HL_{12} , LH_{12} dan HH_{12}
3. Pilih HL_{12} , dan manfaatkan DWT untuk mendekomposisi citra menjadi LL_{13} , HL_{13} , LH_{13} dan HH_{13} , kemudian pilih HL_{13} seperti pada gambar 4



Gambar 4: Prosedur Penyisipan

4. Bagi HL_{13} menjadi blok dengan ukuran 4×4
5. Terapkan DCT pada tiap blok, untuk memperoleh DCT domain frekuensi. Tahap ini dimaksudkan untuk memperoleh keseimbangan antara imperceptibility dan robustness
6. Watermark formation kemudian diterapkan pada watermark untuk mentransformasi watermark ke dalam vector nol dan satu, yang disebut dengan watermark bit 0 dan watermark bit 1
7. Sisipkan watermark bit 0 menggunakan pseudorandom sequence (PN_0), dan sisipkan watermark bit 1 dengan pseudorandom sequence PN_1. Dua sequence ini tidak memiliki korelasi satu sama lain. Jumlah elemen dari tiap-tiap pseudorandom sequence ini sama dengan elemen bagian frekuensi tengah dari DCT pada bagian DWT yang bersangkutan
8. Sisipkan PN_0 and PN_1 dengan weighting factor (α). Misal Z adalah matrik koefisien frekuensi tengah transformasi blok DCT, sisipkan watermark bit 0 dengan persamaan (3), dan sisipkan watermark bit 1 persamaan dengan (4).

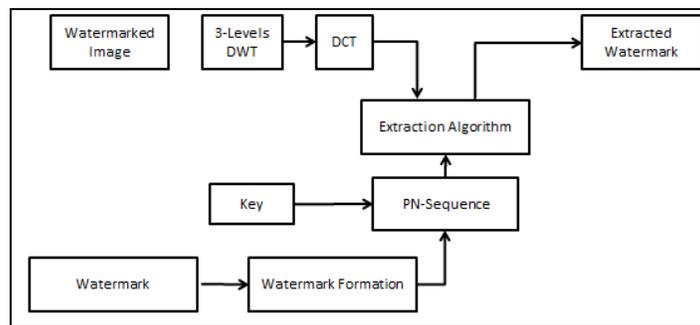
$$Z' = Z + \alpha * PN_0 \quad (3)$$

$$Z' = Z + \alpha * PN_1 \quad (4)$$

9. Terapkan Inverse DCT dan Inverse DWT untuk memperoleh citra terwatermark.

3.2. Algoritma Ekstraksi

Prosedur ini digunakan untuk melakukan ekstraksi watermark dari citra terwatermark. Langkah-langkahnya dijelaskan pada gambar 5 dan deskripsi seperti di bawah ini:



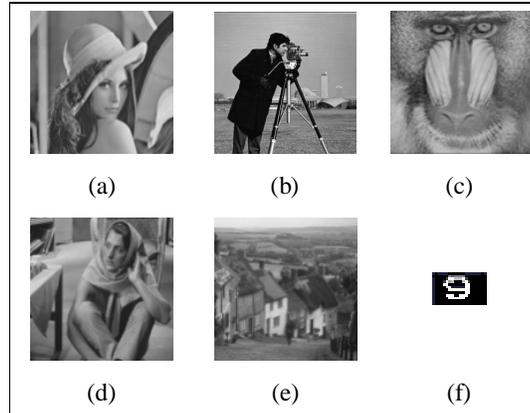
Gambar 5: Prosedur Ekstraksi

1. Terapkan DWT untuk mendekomposisi citra terwatermark menjadi LL_1 , HL_1 , LH_1 dan HH_1
2. Pilih HL_1 dan terapkan DWT untuk memperoleh LL_{12} , HL_{12} , LH_{12} and HH_{12}
3. Pilih HL_{12} dan terapkan DWT untuk memperoleh LL_{13} , HL_{13} , LH_{13} dan HH_{13} , dan pilih HL_{13}
4. Bagi HL_{13} menjadi 4×4 blok
5. Terapkan DCT pada tiap blok pada HL_{13} , dan ekstrak koefisien frekuensi tengah dari blok citra yang ditransformasi dengan DCT.
6. Bangkitkan kembali PN_0 dan PN_1 menggunakan kunci yang sama pada prosedur penyisipan
7. Pada tiap blok HL_{13} , hitung korelasi antara koefisien bagian tengah dengan PN_0 and PN_1. Jika korelasi dengan PN_0 lebih besar daripada korelasi dengan PN_1, maka watermark bit yang terekstrak bernilai 0, di lain sisi yang berlawanan, watermark dianggap bernilai 1
8. Susun ulang watermark dengan watermark bit yang diekstrak, dan hitung kemiripan antara watermark asli dengan watermark hasil ekstraksi

4. ESPERIMEN

Pada eksperimen yang dilakukan, lima citra berukuran 512×512 piksel digunakan sebagai citra asli, seperti pada gambar 6: (a) Lena, (b) Cameraman, (c) Baboon, (d) Goldhill, dan (e) Barbara. Sedang citra berukuran 20×12 pada gambar 6 (f) digunakan sebagai watermark.

Untuk melakukan pengukuran *robustness* dan *imperceptibility*, *Normalized Correlation* (NC) pada persamaan (5) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) pada persamaan (6) digunakan.



Gambar 6: Citra asli: (a) Lena, (b) Cameraman, (c) Baboon, (d) Barbara, (e) Goldhill; dan (f) the watermark

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w_{(i,j)} w'_{(i,j)}}{\sum_i \sum_j [w_{(i,j)}]^2} \quad (5)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log \left(\frac{MAX_i^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log \left(\frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (6)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n |I_{(i,j)} - K_{(i,j)}|^2$$

Notasi m dan n melambangkan panjang dan lebar citra asli (dalam piksel), (i,j) sebagai koordinat tiap-tiap piksel, I berarti intensitas citra asli, K adalah intensitas citra terwatermark. Satuan PSNR adalah desibel (dB), di mana MAX_i mewakili nilai maksimum piksel.

Pertama-tama, watermark disisipkan ke dalam lima citra asli satu-persatu dengan *weighting factor* (α) 50. Kemudian penghitungan PSNR dilakukan pada tiap-tiap citra terwatermark. Tiga *attack* dalam watermarking citra digital yang digunakan meliputi kompresi JPEG (Q=50), penambahan *Salt & Pepper noise* (0,05), dan penambahan *random noise* (0,1). *Attack* tersebut dilakukan terhadap citra terwatermark, untuk kemudian watermark diekstrak guna mengetahui nilai NC.

Setelah penyisipan dilakukan, lima citra terwatermark didapatkan. Proses berikutnya yaitu pengukuran PSNR dari citra terwatermark dan NC dari watermark yang diekstrak. Nilai PSNR dan NC tersebut ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1: Nilai PSNR dan NC hasil percobaan

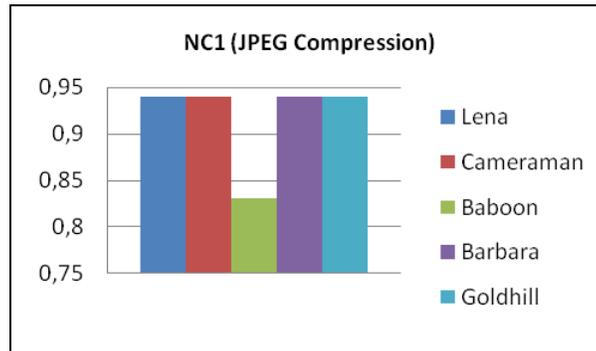
Citra Asli	PSNR	NC1	NC2	NC3
Lena	59.404	0.9401	0.9386	0.9401
Cameraman	59.140	0.9401	0.9177	0.9401
Baboon	58.596	0.8314	0.7114	0.8306
Barbara	59.155	0.9401	0.9177	0.9401
Goldhill	59.155	0.9401	0.9232	0.9401

5. PEMBAHASAN HASIL PERCOBAAN

Untuk mengevaluasi ketahanan skema watermarking terhadap kompresi JPEG, terhadap citra terwatermark dilakukan kompresi JPEG dengan *quality factor* 50. Gambar 7 memperlihatkan nilai NC dari watermark yang diekstrak setelah kompresi JPEG diterapkan.

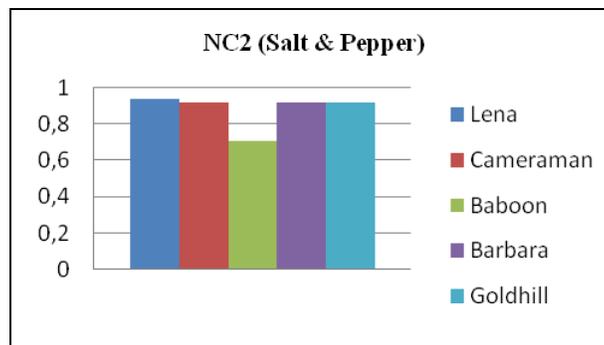
Empat nilai yang sama dihasilkan dari watermark yang diekstrak dari Lena, Cameraman, Barbara, dan Goldhill dengan nilai 0.9401. Semakin besar NC berarti semakin mirip watermark dengan watermark asli sebelum disisipkan. Menurut [20]

nilai NC ideal adalah 1, tetapi nilai 0.75 juga berarti bisa diterima. Terlebih lagi, robustness secara keseluruhan mencapai nilai yang tinggi, berdasar table persyaratan robustness oleh [21]



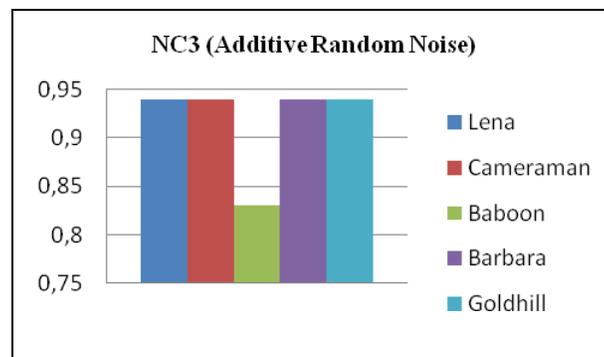
Gambar 7: Nilai NC terhadap Kompresi JPEG

Lima nilai NC dari watermark terhadap *Salt & Pepper noise* yang diekstrak ditampilkan pada gambar 8. Nilai NC watermark yang diekstrak dari Lena, Cameraman, Barbara, dan Goldhill, NC lebih besar dari 0.900. Hal ini menunjukkan metode yang dirancang mampu meraih *robustness* tinggi terhadap penambahan *Salt & Pepper noise*. Sedangkan nilai NC watermark yang diekstrak dari Baboon berkisar pada angka 0.711.



Gambar 8: Nilai NC terhadap Kompresi JPEG

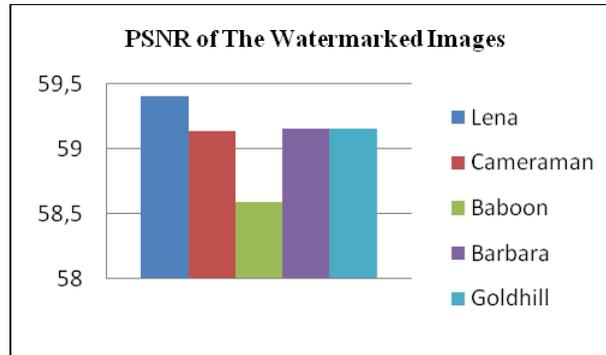
Pada eksperimen yang dilakukan, *random noise* yang digunakan sebesar 10 persen dari ukuran citra terwatermark. Hasil yang ditampilkan pada gambar 9 memperlihatkan bahwa Lena, Cameraman, Barbara, dan Goldhill menghasilkan nilai NC pada kisaran 0.9401. Noise memiliki pengaruh yang sangat besar pada bagian frekuensi tinggi dengan magnitudo kecil. Oleh karena watermark disisipkan pada bagian frekuensi tengah, efek yang ditimbulkan sangat kecil.



Gambar 9: Nilai NC terhadap Penambahan Random Noise

Nilai PSNR dari Lena pada gambar 10 mencapai 59.403 dB, merupakan yang tertinggi di antara yang lain. Barbara dan Goldhill menghasilkan nilai yang sama, yaitu 59.155 dB, sementara citra Cameraman menghasilkan 59.139 dB. PSNR

terendah diraih oleh Baboon dengan 58.596 dB. Semua nilai PSNR yang dihasilkan berada di atas 58 dB, yang berarti bahwa perbedaan antara citra asli dengan citra terwatermark termasuk *imperceptible*. Pada [22] juga menyatakan bahwa jika PSNR berada di atas 30 dB, manusia tidak dapat menemukan perubahan yang terjadi pada suatu citra.



Gambar 10: Nilai PSNR Citra Terwatermark

Hasil yang diperoleh dari Lena dan Cameraman juga mengungguli penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [24]. Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai PSNR antara metode yang diusulkan dengan metode sejenis yang pernah dirancang sebelumnya.

Tabel 2: Perbandingan Nilai PSNR dengan Penelitian Sebelumnya

Image Name	PSNR (dB)	
	Metode oleh[24]	Metode yang dirancang
Lena	47.7707	59.4037
Cameraman	48.7107	59.1398

6. KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan hibrid DWT-DCT watermarking citra digital dengan metode *comparison-based correlation embedding*. Metode yang didesain memanfaatkan kelebihan dari DWT dan DCT, yang mendasarkan pada penggabungan dua transformasi tersebut bisa menimpali kelemahan satu sama lain, untuk memperoleh *robustness* yang tinggi, tanpa mengorbankan faktor *imperceptibility*. Menggunakan dua *pseudorandom sequence* PN_0 dan PN_1 yang tidak memiliki korelasi, watermark disisipkan pada bagian citra asli yang paling *robust* dan *imperceptible*. Penyisipan watermark dilakukan pada bagian frekuensi tengah yaitu koefisien HL dari citra asli yang ditransformasi menggunakan DWT sampai 3 tingkat (HL₁₃), diikuti dengan menerapkan 4x4 blok DCT pada DWT yang bersangkutan. Proses ekstraksi dilakukan dengan prosedur yang sama seperti proses penyisipan. Bit-bit watermark diekstrak dengan membandingkan korelasi antara PN-*sequence* dengan koefisien yang bersangkutan.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa *imperceptibility* dari citra terwatermark mencapai nilai yang tinggi, sekaligus meraih *robustness* yang bagus. Metode yang dirancang diuji menggunakan *attack* citra digital seperti kompresi JPEG, penambahan *Salt & Pepper noise*, dan penambahan *additive random noise*. Dibandingkan dengan teknik DWT-DCT yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, metode yang diusulkan lebih unggul dalam hal *imperceptibility*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Zhi-Ming, L. Rong-Yan, and W. Lei, "Adaptive Watermark Scheme with RBF Neural Networks," *International Conference on Neural Networks and Signal Processing*, pp. 1517-1520, 2003.
- [2] C. Shieh, H. Huang, F. Wang, and J. Pan, "Genetic Watermarking Based on Transform-domain Techniques," *Journal of Pattern Recognition*, vol. 37, no. 3, pp. 555-565, Mar. 2004.
- [3] M. Rafigh and M. E. Moghaddam, "A Robust Evolutionary Based Digital Image Watermarking Technique in DCT Domain," *2010 Seventh International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, pp. 105-109, Aug. 2010.
- [4] S. Hajjara, M. Abdallah, and A. Hudaib, "Digital Image Watermarking Using Localized Biorthogonal Wavelets," *European Journal of Scientific Research*, vol. 26, no. 4, pp. 594-608, 2009.
- [5] A. Bamatraf and R. Ibrahim, "Digital Watermarking Algorithm Using LSB," *2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, pp. 155-159, 2010.

- [6] G.-J. Lee, E.-J. Yoon, and K.-Y. Yoo, "A New LSB Based Digital Watermarking Scheme with Random Mapping Function," *2008 International Symposium on Ubiquitous Multimedia Computing*, pp. 130-134, Oct. 2008.
- [7] C.-gabriel Apostol, "Digital Watermarking Secured with PWLCM , Chaotic-feedback and LSB Data Hiding," *The 8th International Conference on Communication COMM 2010*, pp. 439-442, 2010.
- [8] S. P. Maity and M. K. Kundu, "Robust and Blind Spatial Watermarking in Digital Image," *Tech. Rep., Dept. of Electronics and Telecomm., India*, 2001.
- [9] S. P. Mohanty, K. R. Ramakrishnan, and M. S. Kankanhalli, "A DCT Domain Visible Watermarking Technique for Images," *2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000.*, pp. 1029-1032, 2000.
- [10] J.-bin Zheng and S. H. A. Feng, "A Color Image Multi-Channel DWT Domain Watermarking Algorithm for Resisting Geometric Attacks," *2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, no. July, pp. 1046-1051, Jul. 2008.
- [11] M. Alam, W. Badawy, and J. Graham, "A new time distributed DCT architecture for MPEG-4 hardware reference model," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 15, no. 5, pp. 726-730, May 2005.
- [12] M. A. Mohamed, M. E.-D. A. Abou-Soud, and M. S. Diab, "Fast Digital Watermarking Techniques for Still Images," *International Conference on Networking and Media Convergence*, pp. 122-129, Mar. 2009.
- [13] F. C. A. Fernandes, R. L. C. van Spaendonck, and C. S. Burrus, "A New Framework for Complex Wavelet Transforms," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no. 7, pp. 1825-1837, Jul. 2003.
- [14] S. K. Amirgholipour and A. R. Naghsh-Nilchi, "Robust Digital Image Watermarking Based on Joint DWT-DCT," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 42-54, 2009.
- [15] A. Al-Haj, "Combined DWT-DCT Digital Image Watermarking," *Journal of Computer Science*, vol. 3, no. 9, pp. 740-746, 2007.
- [16] C.-chin Lai, W.-shun Wang, and C.-fong Jhan, "Improved DCT-Based Watermarking through Particle Swarm Optimization," *Proceedings of the Second International Conference on Computational Collective Intelligence*, pp. 21-28, 2010.
- [17] A. N. Al-Gindy, A. Tawfik, H. A. Ahmad, and R. A. Qahwaji, "A New Blind Image Watermarking Technique for Dual Watermarks Using Low-Frequency Band DCT Coefficients," *14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 538-541, 2007.
- [18] A. G. Bor and I. Pitas, "Image Watermarking Using Block Site Selection and DCT Domain Constraints," *Optical Society of America*, vol. 3, no. 12, pp. 190- 194, 1998.
- [19] C.-yu Yang, W.-chih Hu, and J.-yuan Lai, "DCT-based Watermarking By Quotient-Embedding Algorithm," *The 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control*, pp. 3-6, 2008.
- [20] B. L. Gunjal and S. N. Mali, "Strongly Robust and Highly Secured DWT-SVD Based Color Image Watermarking : Embedding Data in All Y , U , V Color Spaces," *International Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 3, no. April, pp. 1-7, 2012.
- [21] F. A. P. Petitcolas, "Watermarking Schemes Evaluation," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 58-64, 2000.
- [22] T. Sun, X. Shao, and X. Wang, "A Novel Binary Image Digital Watermarking Algorithm Based on DWT and Chaotic Encryption," *International Conference for Young Computer Scientists*, pp. 2797-2802, Nov. 2008.
- [23] K. Naoe and Y. Takefuji, "Damageless Information Hiding Using Neural Network on YCbCr Domain," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 8, no. 9, pp. 81-86, 2008.
- [24] A. M. Kothari, A. C. Suthar, and R. S. Gajre, "Performance Analysis of Digital Image Watermarking Technique-Combined DWT - DCT over individual DWT," *International Journal of Advanced Engineering & Applications*, pp. 177-182, 2010.