

## **HYBRID WATERMARKING CITRA DIGITAL MENGUNAKAN TEKNIK DWT-DCT DAN SVD**

**Erwin Yudi Hidayat<sup>1</sup>, Erika Devi Udayanti<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Fakulti Teknologi Maklumat dan Komunikasi, Universiti Teknikal Malaysia Melaka  
E-mail : [hidayat.erwin@yahoo.com](mailto:hidayat.erwin@yahoo.com), [erikadevi@gmail.com](mailto:erikadevi@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Sebagai salah satu teknik perlindungan data multimedia, watermarking telah banyak dikembangkan. Teknik watermarking dapat dilakukan pada domain transformasi, dengan menggabungkan metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Discrete Cosine Transform (DCT). Watermarking pada citra digital harus memperhatikan tiga kriteria: security, robustness, dan imperceptibility. Dua kriteria terakhir merupakan hal yang paling sering bertentangan pada watermarking domain transformasi. Singular Value Decomposition (SVD) sebagai salah satu metode yang paling populer dari aplikasi aljabar linear telah banyak dimanfaatkan dalam pengolahan sinyal termasuk watermarking. Penggabungan DWT-DCT dan SVD ditujukan untuk mengatasi konflik di antara robustness dan imperceptibility. Nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan Normalized Cross Correlation (NC) yang diperoleh dari percobaan menyatakan bahwa skema hybrid watermarking ini menghasilkan watermark yang tahan terhadap berbagai serangan, serta kualitas yang tinggi dari citra yang disisipi watermark. Hal ini menunjukkan bahwa konflik antara robustness dan imperceptibility yang muncul pada watermarking domain transformasi dapat diatasi.

**Kata kunci :** Watermarking, DWT, DCT, SVD

### **1. PENDAHULUAN**

Pesatnya pertumbuhan internet dan teknologi jaringan pita lebar semakin mempermudah pendistribusian arsip digital dalam ukuran besar. Kemajuan semacam ini telah menyebabkan maraknya tindakan seperti duplikasi dan penyebaran data secara ilegal, serta penyalahgunaan Hak akan Kekayaan Intelektual (HAKI) [1]. Seperti yang dilaporkan oleh Oxford Economics pada 2009, industri perfilman Inggris Raya kehilangan £ 531.000.000 per tahun, sebagai akibat langsung dari pencurian hak cipta. Kelompok industri hak cipta AS, International Intellectual Property Alliance juga menyiratkan bahwa pada tahun 2008, sekitar 2 juta track musik diunduh secara ilegal di Spanyol, dibandingkan dengan 2,2 juta track musik yang dibeli secara legal [2].

Berkenaan dengan hal tersebut, *digital watermarking* digunakan sebagai sebuah cara yang efisien untuk mengatasi masalah HAKI pada data multimedia [3]. *Watermarking* adalah proses penyembunyian informasi [4], untuk menunjukkan kepemilikan atau melacak penyalahgunaan hak cipta pada multimedia data seperti citra *digital*, audio, dan video [5].

Digital *watermarking* harus memenuhi beberapa kriteria: *robustness*, *imperceptibility*, dan *security* [6]. *Robustness* berarti seberapa tangguh *watermark* dapat bertahan dari bermacam serangan untuk menghilangkannya seperti *filtering*, *scaling*, *cropping*, and *compression*. *Imperceptibility* berkenaan dengan keberadaan *watermark* yang tidak boleh tampak oleh mata manusia, serta tidak menimbulkan degradasi pada citra. Sedangkan *security* berarti *watermark* yang disisipkan tidak dapat dideteksi dengan analisis statistik umum atau metode lain [6].

Berdasarkan keberadaan dari *watermark*, teknik *watermarking* terdiri dari *visible watermark* (misalnya logo stasiun televisi di sudut layar pada suatu program acara), dan *invisible watermark* yang lebih *secure* dan *robust* dari teknik sebelumnya [7]. *Watermarking* citra digital secara umum dapat dibagi ke dalam dua kelompok berdasarkan domain aplikasi: domain spasial dan domain transformasi [8].

Teknik *watermarking* pada domain spasial seperti *Least Significant Bit* (LSB) pernah dilakukan oleh [9] yang menggabungkan DWT dan LSB untuk aplikasi bidang biometrik. Skema teknik LSB juga bisa ditemukan pada [10] yang memanfaatkan *Random Mapping Function*, dan [11] yang menggabungkan LSB, PWLCM, dan *chaotic-feedback*. Metode ini memiliki keunggulan dalam kapasitas informasi yang disisipkan, tapi mudah dideteksi oleh beberapa program [17]. Skema ini berdasarkan pada manipulasi nilai LSB dari *cover image* dengan bit-bit pesan yang disisipkan.

Meskipun metode domain spasial terlihat sederhana, teknik *watermarking* domain transformasi lebih tangguh terhadap serangan daripada metode domain spasial. Pada domain transformasi, teknik yang banyak digunakan adalah *Discrete Cosine Transform* (DCT) [12], [13], [14], [15], [16], [17], dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) [18], [19]. Kelemahan dari DCT adalah bahwa proses penyisipan dan ekstraksi *watermark* memakan banyak waktu. Sebagai alternatif lain, DWT dapat menghasilkan empat bagian frekuensi, satu bagian frekuensi rendah dan tiga bagian frekuensi tinggi. Dengan demikian, waktu yang diperlukan dapat direduksi [20]. Teknik kombinasi DCT dan DWT dapat ditemukan pada [21], [22], [23], [24], [25], dan [26]. Ide utama dari teknik ini adalah berkenaan dengan fakta bahwa penggabungan dua transformasi dapat menutupi kelemahan masing-masing teknik [27].

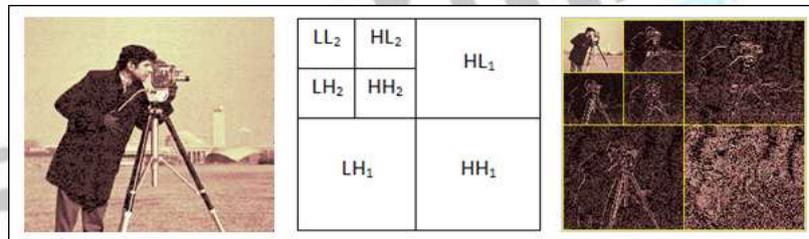
Beberapa tahun yang lalu, transformasi ketiga yang disebut *Singular Value Decomposition* (SVD) telah dieksplorasi untuk keperluan *watermarking*. Gagasan utama di balik pendekatan ini adalah untuk menemukan SVD dari *cover image* atau setiap blok dari *cover image*, dan kemudian memodifikasi *singular values* untuk menyisipkan *watermark* [28]. *Singular Value Decomposition* adalah salah satu metode yang paling populer dari aplikasi aljabar linear dalam pengolahan sinyal termasuk *watermarking* [29].

Masalah utama yang dihadapi pada semua skema teknik *watermarking* domain transformasi adalah adanya kriteria penting yang sering konflik, yaitu *robustness* dan *imperceptibility*. Dengan menggunakan *hybrid* skema DWT-DCT dan SVD, dua kriteria ini dapat diatasi, untuk menghasilkan skema *watermarking* yang lebih efektif

## 2. TEORI DASAR

### 2.1. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Ide dasar dari transformasi DWT dalam pengolahan citra adalah mendekomposisi sebuah citra menjadi 4 bagian frekuensi: satu bagian frekuensi rendah disebut LL, dan tiga bagian frekuensi tinggi disebut HL, LH, dan HH seperti digambarkan dalam gambar 1. Transformasi wavelet memungkinkan rasio kompresi yang tinggi dengan citra hasil rekonstruksi memiliki kualitas yang baik. Transformasi wavelet dapat memberikan informasi waktu dan frekuensi secara bersamaan, sehingga memberikan representasi waktu-frekuensi dari sinyal [30]. *Discrete Wavelet Transform* memiliki kelebihan dalam mengidentifikasi bagian-bagian di *cover image*, di mana *watermark* dapat disisipkan secara efektif [27].



Gambar 1: Transformasi DWT dua level

### 2.2. Discrete Cosine Transform (DCT)

*Discrete Cosine Transform* (DCT) adalah teknik kompresi citra digital ke dalam format JPEG. Pada kompresi JPEG, DCT menerima masukan berupa matriks citra berukuran 8x8, yang kemudian mengubahnya menjadi matriks frekuensi dengan ukuran sama. Perubahan blok 8x8 piksel menjadi 64 koefisien DCT dapat dilihat pada gambar 2. Metode ini juga digunakan secara umum untuk penyisipan *watermark* ke dalam frekuensi tertentu pada *cover image* [31]. Sedangkan proses Invers DCT (IDCT) yang merupakan kebalikan dari DCT, akan mengembalikan koefisien pada matriks frekuensi menjadi matriks citra. Inverse DCT ini digunakan untuk ekstraksi *watermark* dari *cover image*. Persamaan DCT dan IDCT [32] dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2) berikut.

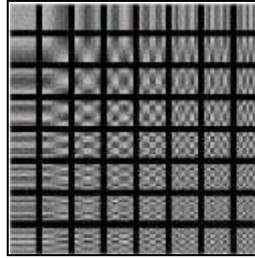
$$F(u, v) = \frac{\Delta(u)\Delta(v)}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \cdot F(i, j) \quad (1)$$

$$F(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 \Delta(u)\Delta(v) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \cdot F(u, v) \quad (2)$$

$$\Delta(\varepsilon) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}; & \text{untuk } \varepsilon = 0 \\ 1; & \text{untuk } \varepsilon \neq 0 \end{cases}$$

$F(i,j)$  = data dalam domain spasial

$F(u,v)$  = data dalam domain transformasi



Gambar 2. Enam puluh empat basis fungsi dari 2-D DCT matriks 8 X 8

### 2.3. Singular Value Decomposition (SVD)

Dalam aljabar linier, SVD adalah sebuah faktorisasi dari matriks bilangan nyata atau kompleks yang berbentuk persegi. Beberapa aplikasi yang memanfaatkan SVD adalah dalam bidang pengolahan sinyal dan statistik. Sebuah teorema yang berkenaan dengan SVD bernama Teorema Spektral menyatakan bahwa matriks normal dapat didiagonalkan (direpresentasikan sebagai matriks diagonal pada beberapa basis) secara uniter menggunakan basis vektor Eigen. SVD dapat dilihat sebagai generalisasi dari Teorema Spektral yang berubah-ubah, tidak harus selalu persegi, dan berbentuk matriks [20].

Misalkan  $M$  adalah matriks berukuran  $m \times n$ . Di dalam matriks tersebut terdapat faktorisasi  $M$  dari  $M = U\Sigma V^T$ , dimana  $U$  adalah matriks uniter  $m \times m$ ,  $\Sigma$  adalah  $m \times n$  dengan nilai non-negatif pada diagonalnya dan nol pada selain diagonal, serta  $V^T$  menunjukkan transpose  $V$  sebuah matriks  $n \times n$ . Faktorisasi seperti ini disebut *Singular Value Decomposition* dari  $M$  [33].

- Matriks  $V$  yang berisi himpunan arah vektor *input* ortonormal untuk matrik  $M$ .
- Matriks  $U$  berisi himpunan arah vektor *output* ortonormal untuk matrik  $M$
- Matriks  $\Sigma$  berisi *singular value*, yang dapat dikatakan sebagai skalar *gain control*, di mana setiap *input* yang terkait saling dikalikan untuk menghasilkan *output* yang sesuai.

## 3. ALGORITMA WATERMARKING

### 3.1. Algoritma Penyisipan

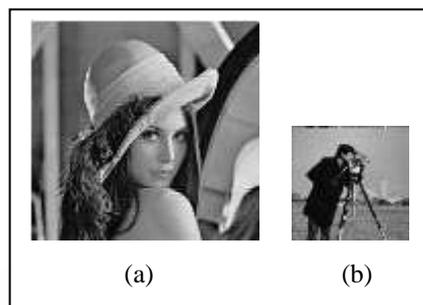
1. Lakukan DWT pada *cover image* untuk mendekomposisi citra menjadi empat bagian frekuensi:  $LL_1$ ,  $HL_1$ ,  $LH_1$  dan  $HH_1$
2. Lakukan kembali DWT pada bagian frekuensi  $LH_1$  untuk mendapatkan 8 bagian frekuensi yang lebih kecil:  $HL_2$ ,  $LH_2$ ,  $HL_2$  dan  $LH_2$
3. Lakukan DCT pada  $LH_2$
4. Terapkan SVD pada bagian frekuensi  $LH_2$  dari *cover image* yang telah ditransformasi menggunakan DCT
5. Lakukan DWT dua level pada *watermark*
6. Terapkan DCT pada bagian frekuensi  $LH_2$  dari *watermark*
7. Terapkan SVD pada bagian frekuensi  $LH_2$  dari *watermark* yang telah ditransformasi menggunakan DCT
8. Modifikasi *singular values* dari *cover image* yang telah ditransformasi, menggunakan *singular value* dari *watermark* yang ditransformasi DCT.
9. Lakukan IDCT
10. Terapkan Invers DWT untuk mendapatkan citra yang telah disisipi *watermark*.

### 3.2. Algoritma Ekstraksi

1. Lakukan DWT dua level pada citra yang telah disisipi *watermark*, untuk mendapatkan  $HL_2$ ,  $LH_2$ ,  $HL_2$  dan  $LH_2$
2. Lakukan DCT pada bagian frekuensi  $LH_2$  dari citra yang telah disisipi *watermark*
3. Setelah DCT dilakukan, terapkan SVD pada bagian frekuensi  $LH_2$  dari citra yang telah disisipi *watermark*
4. Ekstrak *singular values* dari bagian frekuensi yang dipilih
5. Lakukan IDCT
6. Terapkan Invers DWT untuk mendapatkan kembali *watermark*.

## 4. IMPLEMENTASI DAN HASIL

Dalam percobaan ini, citra Lena 512x512 *grayscale* diambil sebagai *cover image* dan gambar Cameraman 256x256 *grayscale* digunakan sebagai *watermark*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3: (a) *cover image* dan (b) *watermark*

Untuk mengukur kualitas citra pada *watermarking*, diperlukan alat ukur yang akan digunakan sebagai parameter. Alat ukur tersebut adalah *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Parameter PSNR menunjukkan perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut [8], diukur dalam satuan desibel (dB). Pada penelitian ini, PSNR digunakan untuk mengetahui kualitas citra yang disisipi *watermark*.

Untuk menentukan PSNR, terlebih dahulu harus diketahui nilai rata-rata kuadrat dari *error* (*Mean Square Error* - MSE). Semakin besar parameter PSNR berarti semakin mirip dengan citra asli. Hal ini juga berarti bahwa skema *watermark* semakin efektif. Citra dengan nilai PSNR >35 dB dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik [25]. Persamaan (3) dan (4) menunjukkan rumus PSNR dan MSE.

$$PSNR = 10 \cdot \log \left( \frac{MAX_i^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n |w_{(ij)} - w'_{(ij)}|^2 \quad (4)$$

Notasi MSE menunjukkan nilai *Mean Square Error* dari citra,  $MAX_i$  menunjukkan nilai maksimum piksel,  $m$  dan  $n$  adalah panjang dan lebar citra (dalam piksel),  $(ij)$  menunjukkan koordinat masing-masing piksel,  $w$  sebagai nilai intensitas *cover image*, dan  $w'$  adalah nilai intensitas citra yang disisipi *watermark*.

Pengukuran *robustness* dari *watermark* dilakukan dengan menggunakan *Normalized Cross Correlation* (NC) pada persamaan (5). Nilainya berkisar antara 0 dan 1. Semakin tinggi nilai NC, semakin mirip kedua citra, semakin efektif pula skema *watermarking*.

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

Berbagai macam serangan dilakukan terhadap citra yang disisipi *watermark*, dan kemudian *watermark* yang disisipkan di ekstrak. Serangan ini berupa beberapa operasi citra untuk membuktikan seberapa efektif skema *watermarking*. Beberapa hasil menunjukkan adanya distorsi pada citra yang disisipi *watermark* dan juga *watermark* itu sendiri. Namun demikian, distorsi ini masih menunjukkan bahwa citra yang disisipi *watermark* dan *watermark* yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Serangan yang dilakukan terdiri dari *Gaussian noise*, *JPEG compression*, *rotation*, dan *cropping*.

*Gaussian noise* merupakan model *noise* yang mengikuti distribusi normal standar dengan rata-rata nol dan standar deviasi 1. Efek dari *Gaussian noise* ini, pada citra muncul titik-titik berwarna yang jumlahnya sama dengan presentase *noise*. Nilai *variance* dari *Gaussian noise* pada percobaan adalah 0,03. *Joint Picture Expert Group* (JPEG) adalah standar kompresi citra, yang apabila operasi ini dilakukan, komponen citra pada frekuensi tinggi akan hilang. *Quality factor* yang digunakan pada *JPEG compression* yang dilakukan sebesar 50. *Rotation* sebesar  $15^{\circ}$  dan *crop* sebesar 25% juga kemudian dilakukan terhadap citra yang disisipi *watermark*.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai PSNR dari citra yang disisipi *watermark* berada di atas kisaran 35 dB. Demikian pula dengan nilai NC dari *watermark* hasil ekstraksi memperlihatkan nilai yang signifikan. Tabel 1 menampilkan hasil percobaan selengkapnya.

Tabel 1: Nilai PSNR dan NC hasil percobaan

| Tanpa serangan  | Gaussian noise (0,03)   | JPEG compression (50)   | Rotation ( $15^{\circ}$ )  | Crop (25%)  |
|---|---|---|--|---|
|   |   |   |   |   |
| PSNR: 41.4631   | PSNR: 36.8678   | PSNR: 37.7488   | PSNR: 39.1383  | PSNR: 36.5290   |
|  |  |  |  |  |
| NC: 1   | NC: 0.9625  | NC: 0.9960  | NC: 0.9857   | NC: 0.9879  |

## 5. KESIMPULAN

Tulisan ini membahas tentang teknik *hybrid watermarking* pada citra *digital* menggunakan DWT-DCT dan SVD. Nilai PSNR dan NC yang diperoleh menunjukkan bahwa skema ini menghasilkan *watermark* yang tahan terhadap berbagai serangan, serta kualitas yang tinggi dari citra yang disisipi *watermark*. Ini berarti bahwa konflik antara *robustness* dan *imperceptibility* yang muncul pada *watermarking* domain transformasi dapat diatasi. Sebagai tahap pengembangan, *hybrid watermarking* DWT-DCT dan SVD dapat di kombinasikan dengan teknik optimisasi seperti algoritma genetika dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Dengan skema yang lebih baik, *watermarking* dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti autentifikasi dan perlindungan HAKI.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Naoe and Y. Takefuji, "Damageless Information Hiding Using Neural Network on YCbCr Domain," *Journal of Computer Science*, vol. 8, 2008, pp. 81-86.
- [2] X. Zhao and A.T.S. Ho, "An Introduction to Robust Transform Based Image Watermarking Techniques," *Intelligence Multimedia Analysis for Security Application*, 2010, pp. 337-364.
- [3] C.-Y. Chang and S.-jyun Su, "The Application of A Full Counterpropagation Neural Network to Image Watermarking," *Proceedings of IEEE Networking, Sensing and Control*, 2005, pp. 993-998.
- [4] Z. Wei, J. Dai, and J. Li, "Genetic Watermarking Based on DCT Domain Techniques," *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06.*, 2006, pp. 2365 - 2368.
- [5] B. Isac and V. Santhi, "A Study on Digital Image and Video Watermarking Schemes using Neural Networks," *International Journal of Computer Application*, vol. 12, 2011, pp. 1-6.

- [6] Z. Zhi-Ming, L. Rong-Yan, and W. Lei, "Adaptive Watermark Scheme with RBF Neural Networks," *International Conference on Neural Networks and Signal Processing, 2003. Proceedings of the 2003*, 2003, pp. 1517-1520.
- [7] C. Shieh, H. Huang, F. Wang, and J. Pan, "Genetic Watermarking Based on Transform-domain Techniques," *Journal of Pattern Recognition*, vol. 37, Mar. 2004, pp. 555-565.
- [8] 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*, Aug. 2010, pp. 105-109.
- [9] 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*, Oct. 2008, pp. 130-134.
- [10] M. Fouad and E. Petriu, "Combining DWT and LSB Watermarking to Secure Revocable Iris Templates," *10<sup>th</sup> International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA 2010)*, 2010, pp. 25-28.
- [11] C.-gabriel Apostol, "Digital Watermarking Secured with PWLCM , Chaotic-feedback and LSB Data Hiding," *The 8<sup>th</sup> International Conference on Communication COMM 2010*, 2010, pp. 439-442.
- [12] Y. Wu, Z. Huang, and M.S. Kankanhalli, "Robust invisible watermarking of volume data using the 3D DCT," *Proceedings. Computer Graphics International 2001*, 2001, pp. 359-362.
- [13] C.-chin Lai, C.-fong Jhan, and W.-shun Wang, "Digital Image Watermarking Using DCT and Z-score Transform," *Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE*, 2010, pp. 11-14.
- [14] W.C. Chu, "DCT-based image watermarking using subsampling," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 5, Mar. 2003, pp. 34-38.
- [15] C.-chin Lai, W.-shun Wang, and C.-fong Jhan, "Improved DCT-Based Watermarking through Particle Swarm Optimization," *ICCI 2010 Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2010, pp. 21-28.
- [16] Q.-chuan Zhong and Q.-xin Zhu, "A DCT Domain Color Watermarking Scheme Based on Chaos and Multilayer Arnold Transformation," *2009 International Conference on Networking and Digital Society*, vol. 1, May. 2009, pp. 209-212.
- [17] M. Habib, S. Sarhan, and L. Rajab, "A Robust-Fragile Dual Watermarking System in the DCT Domain," *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2005, pp. 548-553.
- [18] M. Ketcham and S. Vongpradhip, "Intelligent Audio Watermarking using Genetic Algorithm in DWT Domain," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2007, pp. 336-341.
- [19] C. Yongqiang, Z. Yanqing, and P. Lihua, "A DWT Domain Image Watermarking Scheme Using Genetic Algorithm and Synergetic Neural Network," *Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP'09)*, vol. 2, 2009, pp. 298-301.
- [20] K.A. Navas, M.C. Ajay, M. Lekshmi, T.S. Archana, and M. Sasikumar, "DWT-DCT-SVD Based Watermarking," *2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)*, Jan. 2008, pp. 271-274.
- [21] 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, 2009, pp. 42-54.
- [22] A.A. Abdulfetah, X. Sun, H. Yang, and N. Mohammad, "Robust Adaptive Image Watermarking using Visual Models in DWT and DCT Domain," *Information Technology Journal*, vol. 9, 2010, pp. 460-466.
- [23] M. Jiansheng, L. Sukang, and T. Xiaomei, "A Digital Watermarking Algorithm Based On DCT and DWT," *Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications (WISA'09)*, vol. 8, 2009, pp. 104-107.
- [24] S. Tripathi and R.C. Jain, "Novel DCT and DWT based Watermarking Techniques for Digital Images," *The 18th International Conference on Pattern Recognition*, 2006, pp. 18-21.
- [25] W. Na and W. Yunjin, "A Novel Robust Watermarking Algorithm based on DWT and DCT," *2009 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2009.
- [26] M. Zhao and Y. Dang, "Color Image Copyright Protection Digital Watermarking Algorithm Based on DWT & DCT," *IEEE*, 2008, pp. 1-4.
- [27] A. Al-Haj, "Combined DWT-DCT Digital Image Watermarking," *Journal of Computer Science*, vol. 3, 2007, pp. 740-746.
- [28] C.-C. Lai, C.-C. Tsai, and S.-T. Pan, "An SVD-Based Watermarking Scheme using Improved Micro-Genetic Algorithm," *2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Aug. 2009, pp. 1875-1878.
- [29] V. Aslantas, "SVD and DWT-SVD Domain Robust Watermarking using Differential Evolution," *Advances in Electrical Engineering and Computational Science - Springer Science + Business Media B.V. 2009*, 2009.
- [30] S.S. Bedi, A. Kumar, and P. Kapoor, "Robust Secure SVD Based DCT – DWT Oriented Watermarking Technique for Image Authentication," *International Conference on IT to Celebrate S. Charmonman's 72<sup>nd</sup> Birthday*, 2009, pp. 1-7.
- [31] 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," *Mark 2*, vol. 1, 2007, pp. 538-541.
- [32] A.G. Bor and I. Pitas, "Image Watermarking Using Block Site Selection and DCT Domain Constraints," *Optical Society of America*, vol. 3, 1998, pp. 190- 194.
- [33] S.M. P and P.R. Kumar, "A Robust Digital Image Watermarking Scheme Using Hybrid DWT-DCT-SVD Technique," *Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 10, 2010.