

BLIND WATERMARKING ADAPTIF PADA CITRA DIGITAL BERDASARKAN NOISE VISIBILITY FUNCTION DALAM DOMAIN DWT-DCT

Daniel Setiadikarunia¹⁾, Dian Eriani Surbakti²⁾

^{1), 2)} Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha
Jl. Suria Sumantri 65 Bandung 40164 Indonesia
Email : daniel.sk@ieee.org¹⁾

Abstrak

Digital watermarking adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk melindungi hak cipta suatu media digital seperti citra, audio dan video. Dalam artikel ini dibahas mengenai teknik blind watermarking adaptif pada citra digital dalam domain DWT-DCT. Watermark disisipkan pada koefisien DCT sub-band LH hasil DWT level 1 citra host. Level penyisipan watermark secara adaptif disesuaikan dengan nilai NVF (Noise Visibility Function) koefisien DWT sub-band LH. Untuk daerah yang bertekstur watermark akan disisipkan lebih kuat daripada daerah yang datar. Dari hasil uji coba dengan $S_d = 3$, $S_t = 5$ dan $\alpha = 5$ diperoleh kualitas citra ber-watermark mempunyai rata-rata nilai PSNR > 30 dB, dan nilai BCR 99%-100%. Watermark masih tahan terhadap kompresi JPEG dengan faktor kualitas $Q = 3$, penambahan noise Gaussian sampai 10% dan uniform sampai 15%, cropping sampai 25%, dan scaling 50%, tetapi tidak tahan terhadap rotasi.

Kata kunci: *Blind Watermarking Adaptif, Discrete Wavelet Transform, Discrete Cosine Transform, Noise Visibility Function.*

1. Pendahuluan

Teknologi *watermarking* saat ini semakin berkembang dan penting untuk melindungi hak cipta seiring dengan meningkatnya dan mudahnya pertukaran media digital melalui Internet. Media digital ini dapat berupa citra, video, maupun audio. *Watermarking* digital adalah penyisipan informasi yang biasa disebut *watermark* ke dalam multimedia digital yang nantinya dapat diekstraksi kembali untuk digunakan sebagai bukti hak cipta atau keaslian dari multimedia tersebut. Dalam *watermarking* citra digital, informasi (*watermark*) disisipkan ke dalam citra digital yang biasa disebut citra *cover/host*. [1] Informasi (*watermark*) yang disisipkan hendaknya tidak memberikan perubahan secara visual pada citra *host* dan harus tahan terhadap berbagai pemrosesan sinyal.

Penyisipan *watermark* pada citra digital dapat dilakukan dalam domain spasial atau domain transformasi (frekuensi). Dalam domain spasial, *watermark* langsung disisipkan dengan mengubah nilai intensitas piksel dari citra digital, biasanya yang paling sederhana adalah

dengan mengubah LSB (*Least Significant Bit*) dari intensitas piksel [2][3]. Dalam domain transformasi, *watermark* disisipkan dengan mengubah koefisien-koefisien transformasi. Transformasi yang umum digunakan adalah DCT (*Discrete Cosine Transform*) [4][5] dan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) [6][7]. Teknik *watermarking* dalam domain transformasi lebih efektif untuk mencapai tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang dibutuhkan dari suatu algoritma *watermarking* dibandingkan dengan teknik *watermarking* dalam domain spasial. [8][9].

Pada domain DCT, komponen frekuensi rendah dari citra terletak pada ujung kiri atas, sedangkan komponen frekuensi tinggi terletak pada ujung kanan bawah dari matrik koefisien DCT. Koefisien-koefisien frekuensi rendah mempunyai nilai yang besar, yang merepresentasikan bagian terbesar dari energi citra. Mata manusia sangat sensitif terhadap komponen frekuensi rendah, sehingga modifikasi pada daerah ini akan mudah terlihat. Koefisien frekuensi tinggi mempunyai nilai yang sangat kecil dan mata manusia tidak sensitif terhadap komponen frekuensi tinggi. Komponen-komponen frekuensi tinggi ini biasanya hilang karena kompresi atau pemrosesan sinyal. Oleh karena itu, bila *watermark* disisipkan pada frekuensi tinggi dari citra, maka *watermark* cenderung tidak tahan terhadap pemrosesan citra, tetapi perubahan pada citranya tidak terlihat. Sedangkan jika disisipkan pada frekuensi rendah, maka *watermark* cenderung lebih tahan terhadap pemrosesan citra, tetapi perubahan pada citranya lebih terlihat. [10]

DWT mendekomposisi citra menjadi empat *sub-band* yaitu LL, LH, HL, dan HH pada level 1. Pada setiap level berikutnya, masing-masing *sub-band* akan didekomposisi menjadi empat *sub-band* lagi. *Sub-band* LL mengandung koefisien DWT frekuensi rendah, *sub-band* LH dan HL mengandung koefisien frekuensi menengah, sedangkan *sub-band* HH mengandung koefisien frekuensi tinggi. DWT memiliki sifat lokalisasi spasial dan multi resolusi yang sangat baik, sehingga sangat cocok digunakan untuk mengidentifikasi daerah mana dari citra yang dapat disisipkan *watermark* secara efektif. [11] Oleh karena itu DWT banyak digunakan dalam aplikasi *watermarking* citra.

Koefisien-koefisien DWT pada *sub-band* frekuensi rendah mempunyai nilai yang besar, sedangkan pada *sub-band* lain nilainya relatif kecil, sehingga sebagian besar energi citra terkonsentrasi pada *sub-band* frekuensi rendah. Oleh karenanya *watermark* yang disisipkan pada *sub-band* frekuensi rendah dapat lebih tahan terhadap *lossy compression* dan pemrosesan citra yang mempunyai karakteristik seperti pemfilteran *low-pass*, tetapi kualitas citra mungkin dapat turun secara signifikan.[11] Hal sebaliknya terjadi jika *watermark* disisipkan pada *sub-band* HH. Oleh karena itu untuk mendapatkan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang baik dari teknik *watermarking* berbasis DWT banyak yang menyisipkan *watermark* pada *sub-band* LH dan atau HL.

Dalam literatur diketahui terdapat beberapa teknik *watermarking* dengan menggabungkan DWT dan DCT [9][11][12][13] dalam rangka untuk mengatasi kelemahan masing-masing teknik, sehingga diperoleh kinerja *watermarking* yang lebih baik. Chuang dkk. [13] menggunakan teknik gabungan DWT dan DCT untuk *watermarking* citra digital. *Watermark* disisipkan pada koefisien DCT dari *sub-band* LL hasil DWT.

Dalam artikel ini diusulkan suatu algoritma digital *watermarking* adaptif menggunakan DWT dan DCT. Dalam *watermarking* adaptif ini, level kekuatan atau intensitas penyisipan *watermark* disesuaikan dengan citra *host/cover* yang digunakan. Besarnya level penyisipan *watermark* ditentukan berdasarkan *noise visibility function* (NVF) [14]. Perbedaan antara metode Chuang dkk. dengan metode yang diusulkan adalah dalam pemilihan *sub-band* DWT yang digunakan untuk penyisipan *watermark*, persamaan besarnya distorsi yang diijinkan, dan citra *host* yang digunakan. Pada metode yang diusulkan digunakan *sub-band* LH atau HL agar diperoleh tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang baik dengan citra *host* yang digunakan adalah citra berwarna RGB.

2. Blind Watermarking Adaptif Berdasarkan Noise Visibility Function

Ditinjau dari prosedur ekstraksi *watermark*, teknik *watermarking* dapat dikategorikan sebagai *blind*, dan *non-blind watermarking*. Dalam *non-blind watermarking*, citra *host* dibutuhkan untuk ekstraksi *watermark*, sedangkan pada *blind watermarking* tidak dibutuhkan citra *host* untuk ekstraksi.

2.1 Noise Visibility Function

Noise Visibility Function memberikan ciri atau sifat pada daerah lokal suatu citra. Nilai NVF daerah lokal suatu citra bervariasi antara 0 dan 1. Untuk daerah yang datar (*flat*) NVF bernilai 1 dan untuk daerah yang sangat bertekstur bernilai 0. [15].

Dengan asumsi suatu citra mempunyai distribusi Gaussian non-stasioner, maka NVF pada tiap posisi piksel mempunyai bentuk:[14]

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)} \quad (1)$$

dengan

$$\sigma_x^2(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L [x(i+k, j+l) - \bar{x}(i, j)]^2 \quad (2)$$

$$\bar{x}(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L x(i+k, j+l) \quad (3)$$

$\sigma_x^2(i, j)$ adalah variansi lokal dari citra dalam suatu jendela berukuran $(2L+1)^2$ yang berpusat pada piksel dengan koordinat (i, j) , dan $\bar{x}(i, j)$ adalah nilai rata-rata total pusat jendela.

Dengan mengetahui nilai NVF, maka dapat diperoleh besarnya distorsi yang diijinkan pada tiap piksel, yaitu:[16]

$$\Delta(i, j) = [1 - NVF(i, j)] \cdot S_t + NVF(i, j) \cdot S_d \quad (4)$$

dengan S_t adalah distorsi piksel maksimum yang diijinkan pada daerah bertekstur dan S_d pada daerah datar. Biasanya nilai S_t bisa sampai maksimum 30, sementara S_d biasanya sekitar 3.

Pada daerah-daerah datar nilai NVF cenderung 1, sehingga suku pertama dari persamaan (4) cenderung 0. Akibatnya distorsi yang diijinkan pada piksel adalah maksimum sebesar S_d yang nilainya kecil. Sedangkan pada daerah-daerah bertekstur nilai NVF cenderung 0, sehingga distorsi yang diijinkan bergantung pada nilai S_t yang nilainya besar. Hal ini berarti bahwa pada daerah-daerah datar distorsi cenderung terlihat, sehingga distorsi yang diijinkan kecil, sedangkan pada daerah-daerah bertekstur distorsi kurang terlihat, sehingga distorsi yang diijinkan dapat besar. Pada *watermarking*, *watermark* yang disisipkan dapat dianggap sebagai *noise* yang memberikan distorsi pada citra *host*.

2.2 Algoritma Penyisipan Watermark

Penyisipan *watermark* dimulai dengan melakukan DWT level 1 pada citra *host*. Lakukan DCT pada *sub-band* LH. Kemudian sisipkan *watermark* pada koefisien DCT. Prosedur penyisipan *watermark* adalah sebagai berikut:

1. Pada citra *host* dilakukan DWT level 1, menghasilkan *sub-band* LL, LH, HL, dan HH.
2. Ambil *sub-band* LH dan bagi menjadi blok-blok *non-overlap* berukuran 8×8 piksel.
3. Hitung $D(z)$, besarnya distorsi yang diijinkan dalam blok (8×8 piksel) ke- z menggunakan persamaan (5)

$$D(z) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 \Delta(i, j)}{64} \quad (5)$$

dengan $\Delta(i, j)$ dihitung menggunakan persamaan (4).

4. Lakukan DCT pada masing-masing blok 8×8 piksel.

5. Menyisipkan 8 piksel *watermark* pada koefisien DCT setiap blok 8×8 piksel. Gambar 1 menunjukkan tabel kuantisasi JPEG untuk menentukan posisi penyisipan *watermark*. Delapan pasang dari koordinat koefisien DCT dengan kualitas kuantisasi yang hampir sama dipilih sebagai posisi penyisipan *watermark*. Pasangan koordinatnya dinotasikan sebagai (M_u, N_u) dan (P_u, Q_u) dengan u adalah bilangan bulat 1 sampai 8.[13]

X \ Y	1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	11	10	16	24	40	51	61 ¹
2	12	12	14	19	26	58	60 ¹	55 ²
3	14	13	16	24	40	57 ³	69 ²	56
4	14	17	22	29	51 ³	87	80	62
5	18	22	37	56 ⁴	68 ⁵	109	103	77
6	24	35	55 ⁴	64 ⁵	81	104	113	92
7	49	64 ⁵	78 ⁷	87 ⁸	103	121	120	101
8	72 ⁶	92 ⁷	95 ⁶	98	112	100	103	99

Gambar 1. Tabel Kuantisasi JPEG dengan 8 pasang lokasi penyisipan *watermark*

6. Jika bit *watermark* = 1, maka:

$$I_z(M_u, N_u) = \bar{I}_z - \alpha \cdot D(z) \quad (6)$$

$$I_z(P_u, Q_u) = \bar{I}_z + \alpha \cdot D(z) \quad (7)$$

Jika bit *watermark* = 0, maka:

$$I_z(M_u, N_u) = \bar{I}_z + \alpha \cdot D(z) \quad (8)$$

$$I_z(P_u, Q_u) = \bar{I}_z - \alpha \cdot D(z) \quad (9)$$

dengan $\bar{I}_z = \frac{I_z(M_u, N_u) + I_z(P_u, Q_u)}{2}$ adalah rata-rata nilai koefisien DCT pada koordinat (M_u, N_u) dan (P_u, Q_u) dari blok (8×8 piksel) ke-z, dan α adalah faktor kekuatan penyisipan *watermark*.

7. Lakukan inversi DCT pada semua blok yang sudah disisipi *watermark*.

8. Lakukan inversi DWT, sehingga diperoleh citra *host* yang sudah diberi *watermark*.

2.3 Algoritma Ekstraksi *Watermark*

Proses ekstraksi adalah proses kebalikan dari proses penyisipan. Pada algoritma ini, untuk proses ekstraksi tidak diperlukan citra *host*, sehingga teknik *watermarking* ini termasuk dalam kategori *blind watermarking*. Prosedur ekstraksi *watermark* adalah sebagai berikut:

1. Pada citra yang sudah diberi *watermark* dilakukan DWT level 1, menghasilkan *sub-band* LL, LH, HL, dan HH.
2. Ambil *sub-band* LH dan bagi menjadi blok-blok *non-overlap* berukuran 8×8 piksel.
3. Lakukan DCT pada masing-masing blok 8×8 piksel.

4. Setelah itu lakukan proses ekstraksi dengan kondisi: Jika $I_z(M_u, N_u) < I_z(P_u, Q_u)$, maka bit *watermark* = 1, selain dari pada itu, maka bit *watermark* = 0.
5. Diperoleh *watermark* hasil ekstraksi.

3. Hasil Uji Coba dan Pembahasan

Dalam uji coba, citra *host* yang digunakan adalah citra RGB 512×512 “Lena.bmp” seperti ditunjukkan pada Gambar 2.a dan citra *watermark* adalah citra hitam putih 90×90 “ukm.bmp” seperti ditunjukkan pada Gambar 2.b.



Gambar 2 (a) citra *host* “Lena.bmp”, (b) citra *watermark* “ukm.bmp”

Untuk mengukur kualitas citra yang telah disisipi *watermark*, digunakan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dalam dB yang didefinisikan oleh persamaan (10)

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (10)$$

dengan MSE adalah *Mean Square Error* yang definisikan oleh persamaan (11)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(R_{ij} - R'_{ij})^2 + (G_{ij} - G'_{ij})^2 + (B_{ij} - B'_{ij})^2]}{3MN} \quad (11)$$

Untuk mengukur ketahanan *watermark* digunakan *Bit Correct Ratio/Rate* (BCR) yang diberikan oleh persamaan (12)

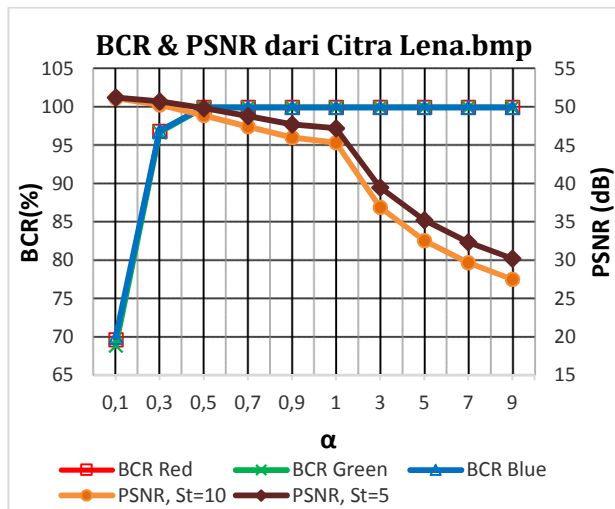
$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^{P \times P} w_i \oplus w'_i}{P \times P} \times 100\% \quad (12)$$

dengan $P \times P$ adalah ukuran *watermark*, w adalah *watermark* asli, dan w' adalah *watermark* hasil ekstraksi.

Nilai PSNR citra hasil penyisipan dan nilai BCR hasil ekstraksi *watermark* dengan citra *host* Lena.bmp terhadap nilai α untuk nilai $S_t = 5$ dan 10, sedangkan $S_d = 3$, ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan kurva BCR dan PSNR terhadap perubahan faktor kekuatan penyisipan *watermark* α . Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar α , *watermark* yang disisipi akan semakin tahan, tetapi kualitas citra hasil penyisipan semakin menurun. Hal tersebut dapat dilihat ketika nilai α membesar, maka nilai BCR untuk masing-masing warna (R, G, dan B)

membesar, tetapi nilai PSNR mengecil. Dari kurva PSNR dapat dilihat juga bahwa nilainya lebih kecil untuk nilai S_r yang lebih besar. Hal ini jelas bahwa dengan S_r yang lebih besar berarti level penyisipan watermark lebih besar, sehingga citra *host* mengalami distorsi yang lebih besar.



Gambar 3. Kurva nilai BCR dan PSNR terhadap α dari citra Lena.bmp



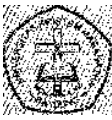













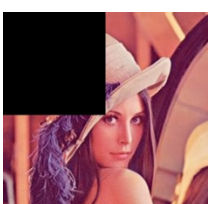



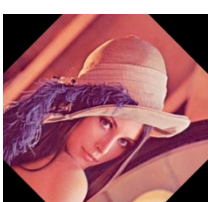



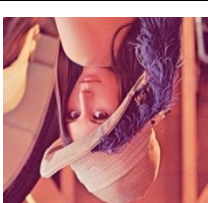



Untuk $S_r = 5$, penyisipan yang menghasilkan PSNR lebih besar dari 30 dB dan nilai BCR hasil ekstraksinya yang mendekati 100% terjadi pada α antara 0,3 – 7. Untuk mendapatkan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang tinggi dipilih nilai $\alpha = 5$. Dengan $\alpha = 5$, kualitas citra *host* yang telah disisipkan watermark masih dalam kondisi baik dan saat dilakukan proses ekstraksi, citra watermark masih jelas.

Untuk menguji ketahanan watermark, beberapa pemrosesan citra dilakukan terhadap citra *host* yang sudah disisipkan watermark. Pemrosesan citra yang dilakukan adalah kompresi JPEG, penambahan noise, scaling, cropping, dan rotasi.

Tabel 1 menunjukkan hasil ekstraksi watermark dari citra ber-watermark yang telah diberi “serangan” berupa pemrosesan citra. Watermark disisipkan ke dalam citra *host* dengan nilai $S_d = 3$, $S_r = 5$ dan $\alpha = 5$.

Tabel 1. Hasil Ekstraksi Watermark dan Nilai BCR

Pemrosesan Citra	Watermark Hasil Ekstraksi dan nilai BCR (%)		
	RED	GREEN	BLUE
 tanpa pemrosesan	 100,00	 100,00	 100,00

 Kompresi JPEG $Q=3$	 85.9136	 85.5185	 86.1111
 + Gaussian Noise 10%	 82.6790	 82.5926	 82.1728
 + Uniform Noise 15 %	 85.9506	 86.284	 86.3704
 Scaling 50%	 86.9877	 86.9877	 86.9259
 Cropping 25%	 94,2222	 94,2222	 94,2222
 Rotasi 45°	 54.1235	 54.4198	 54.4568
 Rotasi 180°	 54.3580	 54.2593	 54.2222

Hasil pada Tabel 1, menunjukkan bahwa watermark yang disisipkan masih dapat diekstraksi dengan baik walaupun sudah dilakukan pemrosesan citra berupa kompresi JPEG dengan faktor kualitas yang rendah ($Q = 3$), penambahan

noise Gaussian 10% maupun *uniform* 15%, *scaling* 50%, *cropping* 25%. Hasil ekstraksi menunjukkan nilai BCR yang besar (lebih dari 80%) dan secara visual citra *watermark* hasil ekstraksi masih terlihat jelas. Ini berarti *watermark* yang disisipkan mempunyai ketahanan (*robustness*) yang baik. *Watermark* tahan khususnya terhadap kompresi JPEG. *Watermark* masih tahan walaupun pada citra ber-*watermark* dilakukan kompresi dengan ratio kompresi yang tinggi (sekitar 16 atau faktor kualitas $Q = 3$). Hal ini dapat tercapai karena penyisipan dilakukan pada posisi-posisi dengan kualitas kuantisasi yang hampir sama dari tabel kuantisasi JPEG.

Untuk rotasi 45° dan 180°, nilai BCR lebih kecil dari 55% dan secara visual citra *watermark* hasil ekstraksi tidak begitu jelas. Ini berarti *watermark* tidak tahan terhadap rotasi.

1. Kesimpulan

Teknik *watermarking* dalam artikel ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan *noise visibility function* dalam mengatur besarnya level penyisipan dapat memberikan tingkat *imperceptibility* yang baik. Dengan menggabungkan DWT dan DCT, yaitu penyisipan pada *sub-band* LH dan penyisipan pada posisi-posisi dengan kualitas kuantisasi yang hampir sama pada tabel kuantisasi JPEG serta penyisipan yang adaptif berdasarkan nilai NVF memberikan tingkat *robustness* yang tinggi dari *watermark*.

Hasil uji coba dengan $S_d = 3$, $S_t = 5$ dan $\alpha = 5$ menunjukkan bahwa citra yang sudah diberi *watermark* mempunyai kualitas yang baik (PSNR > 30 dB). Penyisipan *watermark* pada citra *host* tidak mengakibatkan perubahan yang terlihat oleh mata (tingkat *imperceptibility* yang tinggi). *Watermark* dapat diekstraksi kembali dengan baik dengan nilai BCR 99% - 100%. *Watermark* tahan terhadap kompresi JPEG sampai faktor kualitas $Q = 3$, penambahan *noise* Gaussian sampai 10% dan *uniform* sampai 15%, *cropping* sampai 25%, dan *scaling* 50%, tetapi tidak tahan terhadap rotasi.

Daftar Pustaka

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, *Digital Watermarking and Steganography*, Morgan Kaufmann, 2008.
- [2] C. Chan, and L. Cheng, "Hiding data in images by simple LSB substitution", *Pattern Recognition*, 37(3):469-474, 2004.
- [3] M. El-Gayyar and J. von zur Gathen, "Watermarking techniques spatialdomain," University of Bonn Germany, *Tech. Rep.*, 2006.
- [4] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piya, "A DCT domain system for robust image watermarking", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(3), 1998.
- [5] S. Lin, and C. Chin, "A Robust DCT-based watermarking for copyright protection", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 46(3): 415-421, 2000.
- [6] P. Tao, and A.M. Eskicioglu, "A robust multiple watermarking scheme in the discrete wavelet transform domain", in *Symposium on Internet Multimedia Management Systems*, Philadelphia, PA, October 25-28, 2004.
- [7] A. Reddy and B. Chatterji, "A new wavelet based logo-watermarking scheme", *Pattern Recognition Letters*, 26(7): 1019-1027, 2005.

- [8] V. Potdar, S. Han and E. Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques", in *Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 709-716, Perth, Australia 2005.
- [9] S.K. Amirgholipour, A.R. Naghsh-Nilchi, "Robust Digital Image Watermarking Based on Joint DWT-DCT", *Proceedings of International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 3, num. 2, June 2009.
- [10] J.R. Hernandez, M. Amado, and F.P. Gonzalez, "DCT-Domain Watermarking Techniques for Still Images: Detector Performance Analysis and a New Structure", in *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, pp 55-68, Jan. 2000.
- [11] A. Al-Haj, "Combined DWT-DCT Digital Image Watermarking" *Journal of Computer Science*, 3(9):740-746, 2007.
- [12] L.P. Feng, L.B. Zheng, P. Cao, "A DWT-DCT Based Blind Watermarking Algorithm for Copyright Protection", *Proceeding of 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, pp. 455-458, 2010.
- [13] C.P. Chuang, C.H. Liu, Y.T. Liao, H.W. Chi, "A Robust Digital Watermarking with Mixed Transform Technique for Digital Image", *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, March 2012.
- [14] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking", *Proceedings of the Third International Workshop on Information Hiding*, pp.211-236, Sep. 1999.
- [15] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, V. Iquise, and T. Pun, "Attack modelling: Towards a second generation benchmark", *Signal Processing*, vol. 81(6), pp. 1177-1214, 2001.
- [16] S. Pereira, S. Voloshynovskiy, and T. Pun, "Optimal transform domain watermark embedding via linear programming", *Signal Processing, Special Issue: Information Theoretic Issues in Digital Watermarking*, 2001.

Biodata Penulis

Daniel Setiadikarunia, setelah lulus pendidikan sarjana Teknik Elektro, bekerja pada perusahaan swasta di Bandung. Pendidikan S3 berhasil diselesaikannya pada tahun 2006. Saat ini bekerja sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha.

Dian Eriani Surbakti, adalah alumnus Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha tahun 2014, saat ini bekerja pada salah satu perusahaan swasta di Indonesia.

